JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

ZBORNIK RADOVA

XX SIMPOZIJUM JDZZ
Tara 99, 3 – 5. Novembar

Beograd
1999.

ZBORNIK RADOVA

XX SIMPOZIJUM JDZZ
Tara , 3 – 5. novembar 1999.

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja

Za izvršnog izdavača:

Dr Ilija Plećaš

Urednik:

Mr Milojko Kovačević

ISBN 86-7306-031-1

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd
Tiraž: 100 primeraka
Štampa završena oktobra 1999.

XX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Tara , 3 – 5. novembar 1999.

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:

Ilija Plećaš
Gordana Pantelić
Snežana Milačić
Perko Vukotić
Ranko Kljajić
Radoman Benderać
Slobodanka Stanković
Srpko Marković
Stanko Dapčević

Redakcioni odbor:

Marko Ninković
Gordana Joksić
Milan Orlić

Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XX Simpozijumu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja koji je održan od 3 do 5 novembra 1999. godine na Tari. Radovi su razvrstani po sekcijama. Deo radova u Zborniku štampan je na engleskom jeziku jer je Organizacioni odbor, po prvi put tražio da se radovi dostavljaju na srpskom ili engleskom jeziku. Želja organizatora je bila da se dobije knjiga koja bi se mogla razmenjivati sa drugim udruženjima u svetu. 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

SADRŽAJ

1. OPŠTI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA 11

JEDAN POGLED NA ZAŠTITU OD ZRAČENJA ..... OD VINČA AKCIDENTA DO DANAS 13
40 GODINA DEKONTAMINACIJE I ODLAGANJA ..... RADIOAKTIVNIH OTPADAKA U INN „VINČA“ 31
ROLF MAKSIMILIJAN SIVERT (1896 - 1966) 35
LUIS HAROLD GREJ (1905 - 1965) 39

2. RADIOEKOLOGIJA 43

PRELIMINARNA PROCENA NIVOA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE ..... OSIROMAŠENIM URANIJUMOM NAKON NATO AGRESIJE NA SRJ 45
KONTROLA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ..... NA LOKALITETIMA PO KOJIMA SU DEJSTVOVALE NATO SNAGE 51
RADIJACIONA SITUACIJA NA TERITIORIJI KRAGUJEVCA..... U TOKU NATO-AGRESIJE 57
»GRAFITNA« VLAKNA 1999 61
^{7}Be U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA 67
SADRŽAJ PRIRODNOG RADIONUKLIDA ^{210}Pb..... U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE 71
IZOTOPSKI SASTAV PADAVINA U OKOLINI BEOGRADA 75
COMPARISON OF THE X-RAY AND α SPECTROMETRIES 79
RADIONUKLIDI U ZEMLJIŠTU I POVRTARSKIM KULTURAMA ..... U OKOLINI NOVOG SADA 83
MEĐUSOBNI ODNOSI RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU 87
GAMASPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE..... NIVOA AKTIVNOSTI ^{137}Cs U HRANI 91
GAMASPEKTROMETRIJSKA ANALIZA ..... REČNIH I PIJAĆIH VODA JUGOSLAVIJE 95
KVALITET VODE ZA PIĆE SA ASPEKTA RADIJACIONE HIGIJENE 99
ISTRAŽIVANJE SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA ..... NA PODRUČJU NIŠKE BANJE 103
BIOHEMIJSKA ANALIZA LIŠAJA ..... KAO PRIRODNIH SAKUPLJAČA RADIONUKLIDA 107
ISPITIVANJE RADIONUKLIDA I TEŠKIH METALA U FOSFOGIPSU 113
MEĐUNARODNA GAMASPEKTROMETRIJSKA INTERKOMPARACIJA..... 117
MEĐUNARODNI REFERENTNI SISTEM 121

JAČINE DOZA GAMA ZRAČENJA U VAZDUHU NA PODRUČJU NIŠKE BANJE 125
"PUFF" ATMOSFERSKI DIFUZIONI MODEL ZA KONTINUALNU I DISKRETNU EMISIJU 129

3. RADON 133

ANALIZA REZULTATA MERENJA RADONA U REPUBLICI SRBIJI 135
ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE ^{222}Rn U ZATVORENIM PROSTORIJAMA . 141
RADON U NEKIM SPECIFIČNIM RADNIM PROSTORIMA 145
SIMULACIJA SKIM – OFF METODE ZA MERENJE KONCENTRACIJE RADONA AKTIVNIM UGLJEM 149
MJERENJE RADIJUMA I RADONA KOINCIDENTNIM METODOM ..... NA SPEKTROMETRU PRIPJAT–2M 155
RASPODELA TRAGOVA NA DETEKTORU CR39 OZRAČENOG RADONOM .. ZA RAZLIČITE FAKTORE RAVNOTEŽE 159
PRIKAZ PROGRAMA LUDEP ZA PRORAČUN DOZE ..... U LJUDSKOM RESPIRATORNOM TRAKTU 163

4. DOZIMETRIJA 167

JEDNAČINE JONIZACIONE KOMORE 169
KALIBRACIJA BRAHITERAPIJSKIH IZVORA ZRAČENJA ..... VISOKIH AKTIVNOSTI 175
KALIBRACIJA JONIZACIONE KOMORE U SNOPU NISKOENERGETSKOG X-ZRAČENJA 179
TRANSPORT PROTONA TEHNIKAMA MONTE KARLO 183
UGAONA RASPODELA NEUTRONA OKO DEBELE METE OD ALUMINIJUMA PRI OZRAČIVANJU SNOPOM PROTONA ENERGIJE 50 MEV 193
PROCENA NEUTRONSKE DOZE U OKOLINI TERAPIJSKIH AKCELERATORA 199
UGAONA RASPODELA NEUTRONA IZ DEUTERIJUMSKOG PLAZMA FOKUSA 203
PROSTORNA ZAVISNOST INTENZITETA DOZE.... NEUTRONSKOG ZRAČENJA IZA SKON–A 207

5. INSTRUMENTACIJA 213

GOVORNE PORUKE PRIDRUŽENE MONITORU GAMA ZRAČENJA PC-RM... 215
MERAČ POVRŠINSKE KONTAMINACIJE BETA ZRAČENJA 221
EPR DOZIMETRIJA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 227
ŠEST–KRISTALNI GAMA SPEKTROMETAR PRIPJAT–2M 231
NISKOFONSKI SISTEM ZA GAMA-SPEKTROMETRIJU ..... U CENTRU ZA EKOTOKSIKOLOŠKA ISPITIVANJA CRNE GORE 237
ENERGIJSKA KOMPENZACIJA MOS DOZIMETRA 241
UPOREDNA ANALIZA RADIJACIONE OTPORNOSTI.... EPROM I EEPROM KOMPONENTI 247
NEKI PROBLEMI U KORIŠĆENJU I ODRŽAVANJU ..... DOZIMETRIJSKE INSTRUMENTACIJE 253

6. ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI 259

PROCENA DOZE ZA PROFESIONALNO IZLOŽENA LICA U OBLASTI INVAZIVNE KARDIOLOŠKE RADIODIJAGNOSTIKE 261
ALGORITAM PROCENE STEPENA OZRAČENOSTI PLODA IN UTERO 265
PROCENA ORGANSKIH I EFEKTIVNIH DOZA ZRAČENJA U PEDIJATRIJI 269
PONOVLJIVOST APSORBOVANE DOZE RENDGENSKOG ZRAČENJA ..... KOD DIJAGNOSTIČKIH GENERATORA..... 273
IRIGOSKOPIJA - IRIGOGRAFIJA ..... METODA PREGLEDA, DOZIMETRIJA I ZAŠTITA..... 277
GENERATOR RENDGENSKOG ZRAČENJA TOSHIBA KXO 50N 281
ZNAČAJ SMANJENJA AP-DIJAMETRA ... U OKVIRU NOVOG NAČINA ZAŠTITE TANKOG CREVA TOKOM RADIOTERAPIJE MALIGNIH TUMORA MATERICE 285
X–ZRAČENJE IZA ZAŠTITNIH ZIDOVA ..... LINEARNIH AKCELERATORA U RADIOTERAPIJI KAO IZVOR RADIJACIONOG RIZIKA 289
GREŠKE U QA KONTROLI DIJAGNOSTIČKIH RENDGENA..... 293
INFORMACIONO POVEZIVANJE ENTITETA ..... U PROGRAMU OSIGURANJA KVALITETA U RADIOLOŠKOJ DIJAGNOSTICI..... 297
PRORAČUN EKVIVALENTNE DOZE PRI SNIMANJU PLUĆA SOFTVERSKIM PAKETOM FOTELP/EM..... 301

7. RADIOBIOLOGIJA 305

PROCENA GENOTOKSIČNOSTI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA..... FISH MIKRONUKLEUSNIM TESTOM 307
UČESTALOST HROMOZOMSKIH ABERACIJA (CA) I MIKRONUKLEUSA (MN) U HUMANIM LIMFOCITIMA OZRAČENIM *IN VITRO* 313
UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA..... NA VIJABILNOST I BROJ ĆELIJA U KULTURI SA MALIGNIM I BENIGNIM KARAKTERISTIKAMA 317
UTICAJ X-ZRAČENJA NA SADRŽAJ DIAZEPAMA I NJEGOVIH METABOLITA U PLAZMI, JETRI I MOZGU PACOVA 323
VREDNOSTI HEMATOLOŠKIH PARAMETARA . KOD OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH ZATVORENIM IZVORIMA ZRAČENJA 327
UTICAJ X-ZRAČENJA NA ĆELIJE MONOCITNO-MAKROFAGNOG SISTEMA ..... I EKSTRACELULARNI MATRIKS: IMUNOHISTOHEMIJSKA ANALIZA 331
ANALIZA HROMOZOMSKOG STATUSA U OSOBA PROFESIJSKI IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆEG ZRAČENJA..... 337
UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA VAGINALNU FLORU U TOKU RADIOTERAPIJE GINEKOLOŠKOG MALIGNOMA POSTOPERATIVNO 343
HEMATO– I GASTROPROTEKTIVNA EFIKASNOST AMIFOSTINA ..... U OZRAČENIH PACOVA 347
DENSITOMETRY OF LOWER RAT JAWS IRRADIATED WITH X-RAYS 351

8. PRIMENA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U NEKIM TEHNOLOGIJAMA ..... I ZAŠTITA OD ZRAČENJA..... 355

PRORAČUN DEBLJINE ZAŠTITNIH ZIDOVA NA KANALU ... ZA PROIZVODNJU RADIOIZOTOPA AKCELERATORSKE INSTALACIJE TESLA 357
EMISIONA TOMOGRAFIJA NUKLEARNIH MATERIJALA 361

RADIONUCLIDIC PURITY OF CYCLOTRON-PRODUCED RADIOISOTOPES.. 365
RADIONUKLIDNA ČISTOĆA RADIOFARMACEUTIKA ^{201}TLCL..... 369
UTICAJ DIJAGNOSTIČKIH ELEMENATA DUŽ TRANSPORTNIH LINIJA SNOPA NA DIZAJNIRANJE ZAŠTITE OD ZRAČENJA NA AI TESLA 373
DOZIMETRIJSKA KONTROLA RENDGEN APARATA ZA PREGLED PRTLJAGA I PISMONOSNIH POŠILJKI BALTOBLOC SPO 200KV/3MA-YU 377
SOFTVERSKI PAKET ZA PRAĆENJE AKTIVNOSTI INDUSTRIJSKIH KOBALTNIH IZVORA 381
APARATURA 3A KONTROLU RASTVARANJA ..... OZRAČENE METE PRI PROIZVODNJI ^{201}TLCL 385

9. RADIOAKTIVNI OTPAD I DEKONTAMINACIJA 389

LASERSKO ZRAČENJE PRIMENA KOD DEKONTAMINACIJE POVRŠINA 391
ČERNOBILSKA HAVARIJA I UBLAŽAVANJE POSLEDICA KONTAMINACIJE 403
STOKIRANJE ^{226}RA TERAPIJSKIH IGALA I TUBUSA POVUČENIH IZ UPOTREBE..... 407
PRIMENA APATITA ZA TRETMAN I ODLAGANJE NUKLEARNOG OTPADA 413
ISPITIVANJE EFIKASNOSTI NOVIH EMULZIONIH SISTEMA PRI RADIOLOŠKOJ DEKONTAMINACIJI METALNIH POVRŠINA 417
TAČKA NULTOG NAELEKTRISANJA ..... I SORPCIJA STRONCIJUMA HIDROKSIAPATITOM..... 421
UKLANJANJE RADIONUKLIDA IZ VODE I VAZDUHA ..... PRIMENOM MEMBRANSKIH SEPARACIONIH PROCESA..... 425
VINMATRIX 1.0 SOFTVER ZA ODREĐIVANJE STABILNOSTI ..... SISTEMA ČVRSTA MATRICA-PRIMESA..... 431

10. NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA 437

IZLOŽENOST LJUDI NEJONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA ..... I MOGUĆE ŠTETNE POSLEDICE PO ZDRAVLJE..... 439
IZLOŽENOST LJUDI STATIČKIM MAGNETSKIM POLJIMA . I OSNOVNE MERE ZAŠTITE 443
UTICAJ NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA ..... SISTEMA MOBILNE TELEFONIJE NA ZDRAVLJE LJUDI 447
MOJ PRIJATELJ - MOBILNI..... 453
IZVORI UV ZRAČENJA ZA VEŠTAČKO TAMNJENJE KOŽE I ZAŠTITA..... 457
ZNAČAJ MERENJA OPTIČKOG ZRAČENJA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE 461
BEZBEDAN RAD SA UREĐAJIMA ZA MAGNETSKU ..... REZONANCU U MEDICINI 467

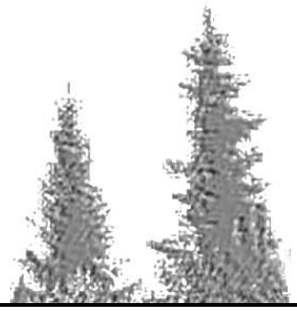
11. REGULATIVA I EDUKACIJA..... 471

EDUCATION IN MEDICAL PHYSICS AS A PART OF OPTIMIZATION ..... IN RADIATION PROTECTION OF THE PATIENT 473
NORMATIVNO REGULISANJE MEDICINSKE PRIMENE ..... JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I ZAŠTITE OD ZRAČENJA U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE... 477
PERCEPCIJA RIZIKA OD ZRAČENJA KOD ZAPOSLENIH U INN „VINČA“ 483

A. INDEX AUTORA 487

1

OPŠTI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA



JEDAN POGLED NA ZAŠTITU OD ZRAČENJA OD VINČA AKCIDENTA DO DANAS

M. M. Ninković
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Polazeći od niza godišnjica u vezi zračenja i zaštite od zračenja, koje su se stekle poslednjih godina, u radu su dati hronološki, kratki osvrti na neke od, po mišljenju autora, ključnih događaja od značaja za zaštitu. Pažnja je najpre, posvećena aktivnostima ICRP od osnivanja do danas. Zatim su dati osvrti na: „Vinča akcident“; profesionalizaciju zaštite od zračenja u Institutu Vinča; Vinča - dozimetrijski eksperiment; Prvi Simpozijum i osnivanje Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja; Francusko-Jugoslovenski kolokvijum; Međunarodne letnje škole i Simpozijum zaštite od zračenja u Jugoslaviji i Međunarodnu interkomparaciju nuklearnih akcidentalnih dozimetara. Potom je dat osvrt na akcidente na Ostrvu Tri Milje i Černobilu, koji su imali presudni uticaj na promenu odnosa prema nuklearnoj energetici i generisanje determinističkih pristupa problemima sigurnosti i zaštite kod nuklearnih postrojenja. Na kraju je ukazano na značaj bioloških indikatora kao neophodnog sredstva za procenu individualnog rizika od izlaganja zračenju.

UVOD

Neposredni povod za ovaj rad je niz godišnjica koje su se stekle u nekoliko prošlih i ove godine, a vezane su za otkriće zračenja i radioaktivnosti, kao i prepoznavanje štetnih efekata zračenja i konačno zasnivanje zaštite od zračenja kao specifične naučne grane i posebne profesionalne orjentacije. Značajan razlog je i činjenica da je ovo zadnji Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja u ovom veku.

Štetno delovanje zračenja i potreba za zaštitom prepoznati su vrlo rano, praktično neposredno po njegovom otkriću [1]. Kao ilustraciju ove tvrdnje navešćemo činjenicu da se 12.decembra 1896.godine u Američkom časopisu "Western Electrician" pojavio članak autora Wolfram Fushs-a u kome su date jednostavne preporuke kako umanjiti efekat opasnog delovanja zračenja [2]. Poruke su glasile:

(1) Skratiti vreme ozračivanja što je moguće više;
(2) Ne prinositi rendgensku cev telu, bliže od 12 inča;
(3) Istrljati kožu nežno vazelinom na delu koji će biti izložen zračenju.

Ne zna se da li je autoru bilo poznato mišljenje Nikole Tesle [3], pri definiciji druge preporuke. Međutim, činjenica je da od ove tri preporuke, iskazane samo godinu dana po otkriću X-zračenja, prve dve i danas predstavljaju osnovne principe zaštite od zračenja.

Pored navedenog postojali su i mnogi drugi primeri ukazivanja na potrebu zaštite od zračenja. Ipak, u prvih tridesetak godina korišćenja zračenja iz rendgenskih uređaja i radijuma,

zaštita od zračenja bila je prepuštena praktično, samo onima koji su koristili zračenje u svakodnevnoj praksi. Drugim rečima bila je neorganizovana. Organizovani pristup zaštiti na međunarodnom nivou, vezan je za osnivanje Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja odnosno njenog prethodnika.

MEĐUNARODNA KOMISIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA - ICRP

U pojedinim razvijenijim zemljama sveta kao što su: Danska, Nemačka, Velika Britanija, Francuska, Sjedinjene države Amerike, Rusija i druge, činjeni su pokušaji regulisanja zaštite od zračenja na različite načine i to počev od prvih godina ovog veka. Međunarodni pristup ovom problemu vezan je za 1925.godinu odnosno, Prvi kongres radiologa održan u Londonu te godine. Na ovom Kongresu osnovano je najpre telo sa nazivom "Međunarodni komitet za jedinicu X-zračenja", koje je kasnije preimenovano u "Međunarodna komisija za radijacione jedinice i merenja" (International Commišion on Radiation Units and Measurements - ICRU). U isto vreme rodila se ideja da se formira i drugo međunarodno telo koje bi se brinulo o zaštiti od zračenja. Ova ideja realizovana je na sledećem Kongresu radiologa, održanom u Štokholmu tri godine kasnije - 1928. Ta godina se smatra godinom osnivanja "Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja" (International Commišion on Radiological Protection - ICRP) iako je zapravo tada osnovan njen direktni prethodnik pod nazivom "Međunarodni komitet za zaštitu od X-zračenja i radijuma". Osnivanje ove Komisije pobudilo je manje interesovanje od osnivanja Komisije za jedinice, što se može zaključiti po broju članova samo 7 prema 24. Iako je idejni tvorac Komisije bio Dr G.W.C.Kaye iz Britanske nacionalne fizičke Laboratorije, za prvog predsednika Komisije izabran je 32-godišnji Švođanin Rolf Sievert, iz obzira prema zemlji domaćinu Kongresa. Pored dva pomenuta naučnika treći glavni pokretač aktivnosti novoosnovane Komisije bio je Lauriston Taylor iz Američkog Nacionalnog biroa za standarde. Novoizabrani članovi Komisije odnosno, Komiteta bili su jednoglasni u stavu da Komisija: a) treba da ima što manji broj članova i, b) članovi treba da budu lica aktivna u zaštiti od zračenja. Prvi kriterijum podseća na neku vrstu ALARA-koncepta, a drugi na profesionalizaciju zaštite od zračenja.

Jedan od prvih rezultata rada Komisije (Komiteta) bila je preporuka dozvoljenog - tolerantnog nivoa izlaganja zračenju od oko 0,2 R/d, što bi danas odgovaralo oko 0,5 Sv/a. Komisija je ovu preporuku usvojila na trećem sastanku održanom u Cirihu 1934. Bila je to vrednost za oko 10-puta niža od do tada korišćene - 600 R/a, koju su nezavisno preporučili Amerikanac Arthur Matcheler 1924 i Sievert 1925. Originalne preporuke Matcheller-a i Sievert-a formulisane su na osnovu praga doze za pojavu crvenila kože pri izlaganju zračenju, nazvanog Skin Erythema Dose (SED). Komisija se sastala još jednom pre Drugog svetskog rata, 1937.godine u Čikagu.

Komisija se ponovo sastaje tek 1950. u Londonu, kada je dobila svoje današnje ime. Istovremeno usvaja novu preporuku pod nazivom "maksimalno dozvoljena doza" od 0,3 R/sedm., umesto stare tolerantne doze od 0,2 R/d iz 1934. Dakle, preporučuje se nov naziv i oko tri puta manja vrednost dopuštenog izlaganja - 150 mSv/a, za profesionalce.

U prvoj polovini pedesetih godina u razvijenim zemljama sveta intenzivno se traga za novim štetnim efektima zračenja. Naglasak je stavljen posebno, na delovanje zračenja na gonade uz nagoveštaje da za to dejstvo nema praga. Imajući u vidu i taj, mada još uvek nerazjašnjen efekat, ICRP na sastanku u Ženevi 1956.godine predlaže dalje snižavanje maksimalno dozvoljene doze za profesionalce, sa 0,3 na 0,1 rem/sedm. Istovremeno, podstaknuta istim razlozima, ICRP po prvi put predlaže i maksimalno dozvoljenu dozu za stanovništvo (neprofesionalno izlaganje) u visini od 1/10 vrednosti za profesionalce, što znači

0,05 rem/sedm. odnosno, 0,5 rem/a. U drugoj polovini pedesetih na međunarodnoj sceni pojavljuju se nova tela i institucije, osnovana pod okriljem Ujedinjenih nacija, kao što su "Naučni komitet Ujedinjenih nacija za efekte atomskih zračenja" (UNSCEAR, 1956) i Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA, 1957), čiji su programi aktivnosti, u potpunosti ili značajnim delom, usmereni na efekte zračenja i zaštitu od zračenja. Te dve zvanične, novonastale institucije postale su od samog početka značajan oslonac za dalji uspešan rad jedne već afirmisane svetske nevladine institucije, kakva je od osnivanja bila ICRP. Ovakav znatno širi pristup problemu zaštite od zračenja na međunarodnom nivou, do koga je došlo posle rata i naročito u drugoj polovini pedesetih, bila je direktna posledica sazrevanja svesti o sve većoj rasprostranjenosti zračenja kao specifičnog štetnog agensa. U vreme osnivanja ICRP bila su prisutna, pojednostavljeno govoreći, samo dva izvora zračenja - radijum i rendgenski uređaji u praktičnoj primeni. Međutim do druge polovine pedesetih već su se desile Hirošima i Nagasaki, veliki broj probnih eksplozija atomskih i hidrogenskih bombi u vazduhu, izgrađeni su brojni nuklearni reaktori istraživački, energetski i sa posebnim namenama itd. Odigrala su se i prva dva veća akcidenta na nuklearnim postrojenjima u Vindskejlu (Engleska) i Kištimu kod Čeljabinska (SSSR), pri kojima je došlo do značajne kontaminacije okoline. Svet je bio detaljno informisan o akcidentu u Vindskejlu (Oktobar, 1957) praktično odmah po nastanku, dok su detalji o akcidentu u Kištimu (Septembar 1957) izneti u javnost tek 1989.godine.

U navedenim uslovima značaj ICRP neprestano je rastao. Njene naučne aktivnosti su bile olakšane zahvaljujući pomoći UNSCEAR-a, u prikupljanju i sistematizaciji podataka o izvorima i efektima zračenja sa jedne strane, i IAEA sa druge strane, kroz razradu i sprovođenje u praksi širom sveta, njenih preporuka. U neprekidnom radu ICRP ipak, posebno se ističu godine 1977 i 1990, kada su izdate ključne - zbirne preporuke, zasnovane na bitno izmenjenim koncepcijama, čemu su posvećeni posebni paragrafi ovog teksta.

U svom trajanju ICRP je nedavno proslavila sedamdesetogodišnjicu na istom mestu gde je i osnovana u Štokholmu. Lars Eric Holm, koji je tom prilikom govorio kao domaćin, direktor Švedskog instituta za zaštitu od zračenja, član ICRP i sledeći Predsednik UNSCEAR-a, izjavio je da očekuje da će ICRP nastaviti da igra značajnu ulogu u zaštiti od zračenja i u 21-om veku [4].

PROFESIONALIZACIJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Većina početnih aktivnosti na polju kontrole nivoa zračenja i zaštite od zračenja odvijale su se na dobrovoljnoj bazi, bez regulisanog pristupa uslovljenog propisima. Na tome se radilo usput, kao sekundarna aktivnost onih koji su radili na izučavanju karakteristika i efekata zračenja, ili su koristili zračenje u nekoj od praktičnih primena, kao što je medicinska dijagnostika, na primer. Na toj osnovi, problemima koji se danas mogu razvrstati u zaštiti od zračenja, bavio se veliki broj u svetu poznatih naučnika kao: W.C.Roentgen, Maria i Pier Curie, A.H.Becquerel, E.Rutherford, A.H.Compton, H.Fricke, L.H.Gray, A.Mutscheller, R.M.Sievert, R.D.Evans, H.M.Parker i mnogi drugi. Međutim, prva grupa ljudi, koja se počela baviti zaštitom od zračenja kao isključivim poslom tj. profesionalno, formirana je na Univerzitetu u Čikagu 1942.godine [5]. Učinio je to Američki naučnik Italijanskog porekla Enrico Fermi u sklopu čuvenog Manhetn projekta odnosno, tokom priprema za puštanje u rad prvog nuklearnog reaktora. Svestan radijacione opasnosti koju može proizvesti jedan dinamički izvor zračenja, kakva je lančana reakcija u nuklearnom reaktoru, Fermi je izdvojio grupu saradnika, među kojima su bili: K.Z.Morgan, H.M.Parker, C.C.Gamertsfelder, J.C.Hart i drugi, i dao im zadatak da u procesu puštanja reaktora u rad isključivo, prate evoluciju nivoa zračenja

u njegovoj okolini i brinu o zaštiti svih učesnika u eksperimentu. Tako su pomenuti naučnici počeli da se bave zaštitom od zračenja i bavili se njome profesionalno do kraja svog radnog a verovatno i životnog veka. Počev od ove male grupe naučnika u Čikagu, zaštita od zračenja, kao specifična naučna i praktična oblast, počela je da profesionalno jača najpre, širom Amerike a potom i celog sveta. Na tom putu juna meseca 1955.godine, na Ohajo državnom Univerzitetu, osniva se kao prvo u svetu Američko društvo za zaštitu od zračenja pod nazivom "Health Physics Society". Slična društva se potom osnivaju širom sveta da bi konačno, u Parizu krajem novembra i početkom decembra 1964.godine, bilo osnovano i Međunarodno društvo za zaštitu od zračenja (International Radiation Protection Ašociation - IRPA). Time je konačno na svetskom nivou bila dostignuta potpuna profesionalizacija zaštite od zračenja.

Zanimljivo je na kraju navesti i prvu definiciju zaštite od zračenja odnosno "Health Physics-a", koju je usvojilo Američko društvo za zaštitu 1959.godine [5]:

"Zaštita od zračenja (Health Physics) je profesija posvećena zaštiti čoveka i njegove okoline od nepoželjnog izlaganja zračenju. Profesionalac zaštite od zračenja (zdravstveni fizičar, u originalu) je lice angažovano na izučavanju problema i razvoju metoda, postupaka i tehnika za obezbeđivanje zaštite od zračenja u praksi. On radi na tumačenju mehanizama radijacionih povreda, razvoju metoda za procenu radijacione opasnosti i obezbeđivanju zaštite čoveka i njegove okoline od štetnog izlaganja zračenju."

Danas, posle četrdeset godina, reklo bi se da nema šta niti da se doda niti oduzme od ove definicije.

VINČA AKCIDENT

Razvoj zaštite od zračenja ili bliže rečeno organizovani pristup ovom problemu u našoj zemlji tesno je vezan za izgradnju nuklearno-fisionih postrojenja. Prvi nuklearni reaktor u Jugoslaviji, reaktor "nulte" snage pod nazivom reaktor RB, izgrađen je u Institutu za nuklearne nauke - Vinča i pušten u rad maja meseca 1958.godine [6]. Nažalost, samo šest meseci posle puštanja u rad na ovom reaktoru desio se akcident na dan 15.oktobra 1958 [7]. Akcident je ubrzo u svetskoj literaturi registrovan kao "Vinča akcident". U ovom akcidentu ozračeno je šest mladih ljudi, studenata i tehničara, i to dozama od oko 2 do oko 4,5 Gy, koje su naknadno procenjene. Jedan od njih Života Vranić, apsolvent fizike na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, koji je upravo izvodio eksperiment na reaktoru u sklopu svog diplomskog rada, umro je mesec dana po akcidentu u bolnici u Parizu, nakon transplatacije koštane srži u procesu lečenja.

Ne ulazeći u analizu tehničkih uzroka akcidenta, koji se inače mogu naći u literaturi [8], jedan od razloga za teške posledice akcidenta sigurno je i nedovoljna pažnja posvećena zaštiti od zračenja kod reaktora u tom trenutku. Inače, ne predstavlja nikakvu posebnu mudrost danas, iskazati sledeću tvrdnju: da je odgovornima za rukovanje sa reaktorom bio poznat pristup zaštitI od zračenja Enrika Fermija iz 1942. akcident na RB-u verovatno ne bi bio izbegnut, ali visoko ozračivanje učesnika u eksperimentu sa fatalnim ishodom, sigurno bi.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U INSTITUTU VINČA

Rad sa izvorima zračenja u Institutu za nuklearne nauke - Vinča, datira nekoliko meseci pre nego što je Institut zvanično i osnovan odnosno, od kraja 1947.godine [9]. Osnovni izvor zračenja bio je radijum i njegovi potomci kao i na njima zasnovani neutronski izvori. Nešto kasnije u periodu 1952-1954, izgrađeni su linearni akceleratori. Inače u Srbiji i

Jugoslaviji rad sa izvorima zračenja datira od pre II svetskog rata, a zasnivao se na korišćenju rendgenskih uređaja i radijuma u medicini. Potreba za zaštitom od zračenja, na osnovu praćenja svetskih iskustava, bila je prepoznata i kod nas. Međutim, u to prvo vreme pre i posle rata, i u samom Institutu sve do akcidenta, radilo se neprofesionalno. Probleme zaštite od zračenja rešavali su lekari i naučnici, koji su u svojoj svakodnevnoj praksi koristili izvore zračenja i na taj način štitili sebe i neposrednu okolinu. Dakle, zaštita od zračenja, kome su bili nesumnjivo izloženi, bila im je usputna, sporedna delatnost.

Akcident na reaktoru RB ukazao je rukovodstvu Instituta da se prema zaštiti ne može odnositi kao prema usputnom poslu. Samo šest meseci posle ovog događaja, krajem aprila 1959.godine [9], uprava donosi odluku da izdvoji jednu grupu mladih istraživača, iz fizičke, hemijske i drugih Laboratorija Instituta, koju su sačinjavali: T.Tasovac, P.S.Bojović, B.Pendić, I.Mirić, A.Matijašić i drugi, i dade im zadatak da počnu da se bave zaštitom od zračenja kao isključivim poslom. Od te grupe istraživača i njihovih saradnika formira se nova Laboratorija u Institutu pod nazivom "Radiološka zaštita". Bio je to potez ravan onome koji je učinio Fermi 1942. Pored akcidenta razlog za ovakve ključne poteze uprave Instituta bila je i činjenica da su pripreme za puštanje u rad novog, snažnijeg istraživačkog reaktora RA snage 6,5 MW, privođene kraju. Pored ovog događaja u Institutu, i jugoslovenska Vlada je reagovala time što je po ubrzanom postupku donela poseban zakon, Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja [10]. Tako je sprovođenje mera zaštite na profesionalnom nivou postala i zakonska obaveza. U tom trenutku Jugoslavija je bila jedna od retkih zemalja u razvoju, koja je zakonski regulisala rad i rukovanje sa izvorima zračenja.

Na ovom mestu osećam potrebu da ukažem na značaj i neophodnost profesionalnog pristupa problematici zaštite od zračenja. Takav pristup po mom mišljenju ne bi trebalo da bude ograničen samo na zaštitu od zračenja, već da se odnosi na zaštitu od svih vrsta štetnih agenasa, čije prisustvo ljudska čula nisu u stanju da otkriju, ili na njih reaguju isuviše kasno.

Profesionalnost u zaštiti od štetnih agenasa podrazumeva, da oni koji se njome bave moraju biti izvan tehnoloških procesa čiji su proizvod agensi od kojih se treba štititi. Taj prvi zahtev profesionalnosti se nažalost, još uvek narušava čak i u oblasti zaštite od zračenja. To su slučajevi kada se "profesionalci" zaštite od zračenja počinju baviti tehnologijama zasnovanim na izvorima zračenja, obično iz komercijalnih razloga. Pri tome se problemi zaštite najčešće zbog profita, potiskuju u drugi plan.

Profesionalni pristup zaštiti od zračenja nije dovoljno zastupljen u nekim oblastima delatnosti sa izvorima zračenja, kao što je medicinska, i to ne samo kod nas. To je vrlo često slučaj čak i u onim medicinskim ustanovama (klinički centri, veći bolnički kompleksi i dr.) u kojima se intenzivno koriste brojni izvori zračenja. Zaštitom od zračenja u ovim ustanovama se obično bave radiološki fizičari ili lekari radiolozi, ali kao sekundarnom delatnošću.

U Laboratoriji za zaštitu od zračenja Instituta Vinča od njenog osnivanja, *pre četrdeset godina*, započeo je sveobuhvatni profesionalni pristup problemima zaštite kroz istraživačke, razvojne i svakodnevne rutinske aktivnosti na ovom polju. U narednom tekstu ukazaćemo samo na neke, po sopstvenom izboru, od ključnih događaja značajnih za razvoj zaštite od zračenja kod nas i u svetu, kao što su: Međunarodni dozimetrijski eksperiment na reaktoru RB u Vinči; Prvi simpozijum i osnivanje Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja; Francusko-Jugoslovenski kolokvijum o zaštiti od zračenja; Međunarodne letnje škole zaštite od zračenja u Jugoslaviji; Međunarodna interkomparacija akcidentalnih dozimetara na reaktoru RB; Nove međunarodne preporuke za zaštitu od zračenja iz 1977.godine; Akcidenti na Ostrvu Tri Milje i Černobilu; Trideset godina zaštite od zračenja u Vinči i Međunarodni simpozijum u Dubrovniku; Dalji razvoj koncepcija zaštite od zračenja i međunarodne preporuke iz 1990.godine i, jedan od ključnih problema zaštite od zračenja na pragu 21. veka.

MEĐUNARODNI DOZIMETRIJSKI EKSPERIMENTI NA REAKTORU RB

Akcident na reaktoru RB, kao što je već rečeno, pobudio je poseban interes naučnika u oblasti zaštite od zračenja iz celog sveta. Ključni problem koji se postavio posle akcidenta bila je procena pojedinačnih doza ozračenih. U tu svrhu pod okriljem Međunarodne agencije za atomsku energiju formiran je dozimetrijski projekat i isplaniran eksperiment na reaktoru RB. Osnovni cilj eksperimenta je bio da se rekonstruiše akcident i odrede što tačnije vrednosti individualnih doza. Radi toga planirana je izrada fantoma, snabdevenih sa tada raspoloživim dozimetrima i detektorima zračenja, i njihovo postavljanje na mesta gde su se nalazili ozračeni tokom akcidenta.

Dozimetrijski eksperiment je izveden krajem aprila 1960.godine u organizaciji IAEA uz angažovanje naučnika iz Francuske, Sjedinjenih američkih država, Velike Britanije i naše zemlje (Vinča). Ugovor o eksperimentu potpisan je u Beču 2.februara 1960.godine, između IAEA i Komisije za nuklearnu energiju Jugoslavije. Vlada Jugoslavije, preko Instituta Vinča, obavezala se da Međunarodnoj agenciji stavi na raspolaganje kompletan reaktor, raspoloživu laboratorijsku opremu i prostor, usluge i naučni, stručni i pomoćni personal. Francuska Komisija za nuklearnu energiju, preuzela je obavezu da rekonstruiše i dogradi sistem za upravljanje i kontrolu rada reaktora i da ponovo pusti reaktor u rad i obezbedi njegovo regularno funkcionisanje tokom eksperimenta. Uprava Velike Britanije za atomsku energiju, preuzela je obavezu da isporuči 6,5 tona teške vode i pruži potrebnu naučnu pomoć. Sjedinjene američke države, prihvatile su da organizuju tim naučnika i stručnjaka iz Oukridžske nacionalne laboratorije sa zadatkom da izvedu planirani eksperiment, korišćenjem sopstvene specijalne opreme, i potom obave analizu i obradu dobijenih rezultata.

Tabela 1. Pojedinačne procenjene doze u Vinča akcidentu, izražene u Gy [11]

Pojedinac	Neutronske doze		Doze spolj. gama zračenja	"Ukupna doza"**
	(n,p)	(n,γ)		
V*	0,89	1,33	2,14	4,36
M	0,87	1,30	2,09	4,26
D	0,91	1,36	1,92	4,19
G	0,90	1,35	1,89	4,14
H	0,66	0,99	1,58	3,23
B	0,45	0,67	0,95	2,07

* Početno slovo prezimena

** Naš komentar: Data je ukupna apsorbovana doza kao prost zbir neutronske i gama doze, mada ove veličine nisu aditivne. Zato je ukupna doza stavljena pod znak navoda. Prevođenje apsorbovanih doza u ekvivalentne pa potom njihovo sabiranje bilo bi ispravnije. Međutim, autori to nisu uradili, jer neutronski težinski faktori za akutno ozračivanje nisu tada, a ni danas, bili dovoljno poznati. Inače, ceni se da su manji nekoliko puta od istih za hronično ozračivanje.

U tabeli 1, reprodukovani su konačni rezultati ovog eksperimenta u obliku parcijalnih i ukupnih doza zračenja kojima je po proceni bilo izloženo šest mladih saradnika u akcidentu. Podaci su dati sa ukupnom greškom od ±15%.

Bio je ovo jedan od prvih međunarodnih dozimetrijskih eksperimenata u kojima je Jugoslavija imala, sticajem slučajnih okolnosti, značajnu ulogu. Bila je to istovremeno prilika za očiglednu afirmaciju IAEA na polju zaštite od zračenja u početnim godinama njenog postojanja.

Među inostranim naučnicima i stručnjacima, učesnicima u ovom eksperimentu, ključnu ulogu je imao Karl Z.Morgan, kao rukovodilac Oukridžskog dozimetrijskog tima.

Od tog trenutka pa u sledećih 20 godina, do kraja svog aktivnog radnog veka, profesor Morgan će biti nesebično spreman da pomogne svojim jugoslovenskim kolegama, kad god bi mu se obratili. Bio je veoma poštovan i visoko cenjen naučnik i stručnjak u celom svetu. Njegov doprinos uspostavljanju i razvoju zaštite od zračenja kao posebne naučne i stručne oblasti je ogroman. Pomenućemo još jednog učesnika u eksperimentu, koji je inače bio i među Francuskim lekarima koji su prihvatili i lečili u Parizu ozračene u akcidentu, Henri Jamet-a. Henri Jamet je bio jedan od vodećih svetskih naučnika koji je aktivno učestvovao u formiranju savremenih koncepcija zaštite od zračenja sumiranih u Preporukama ICRP iz 1977. i 1990. Učestvovao je u svim značajnijim međunarodnim manifestacijama na polju zaštite od zračenja u našoj zemlji. Ostao je prijatelj Jugoslavije i svojih kolega u njoj sve do iznenadne smrti koja ga je zadesila na službenom putu u Libiji 1996.godine.

PRVI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM I OSNIVANJE DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Aktivnosti na polju zaštite od zračenja u Jugoslaviji početkom šestdesetih godina bile su veoma razgranate. Samo posle oko četiri godine od organizovanog pristupa ovoj problematici i njene profesionalizacije, stekli su se uslovi da se održi Prvi skup stručnjaka i naučnika iz ove oblasti - Simpozijum. Kakav se značaj pridavao ovom aktuelnom problemu svedoči činjenica da su se među organizatorima Simpozijuma pojavile i sve tri tada postojeće Akademije nauka - Jugoslovenska, Slovenska i Srpska. Simpozijum je održan u Portorožu od 8-12 oktobra 1963.godine. Bio je to sigurno najmasovniji skup u ovoj oblasti, iako prvi, od 19 do sada održanih. Na njemu su saopštena 163 referata od prijavljenih oko 200 [15], bilo je prisutno 315 učesnika [16] što je oko dva puta više nego na kasnijim skupovima. Ovakva masovnost proistekla je iz veoma raširenog interesovanja za probleme zaštite od zračenja u to vreme, uslovljenog potencijalnim atomskim sukobom Istoka i Zapada. Rad Simpozijuma se odvijao u plenarnim zasedanjima na opšte teme kroz tri paralelne sekcije: Medicinsko-biološka zaštita, Tehnička zaštita i, Radioaktivnost životne sredine. Zbornik radova sa Simpozijuma nije štampan, već samo kratki sadržaji saopštenja [17].

Pretposlednjeg dana Simpozijuma, 12.oktobra 1963.godine, osnovano je Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja. Bilo je to godinu dana pre osnivanja IRPA-e i oko devet godina posle osnivanja Američkog društva. Istovremeno je izabrana privremena uprava u koju su, između ostalih ušli: Toma Tasovac, Zoran Đukić, Milovan Vidmar, Petar Mirić i Dušan Stojanović. Svi oni ostali su u oblasti zaštite od zračenja do kraja svog radnog ili životnog veka.

FRANCUSKO-JUGOSLOVENSKI KOLOKVIJUM U HERCEG NOVOM

Jedan od prvih međunarodnih skupova na polju zaštite od zračenja u našoj zemlji bio je Francusko-Jugoslovenski kolokvijum. Kolokvijum je u organizaciji Komesarijata za atomsku energiju Francuske i Savezne Komisije za nuklearnu energiju Jugoslavije održan u

Herceg Novom od 10-12.oktobra 1966.godine [18]. Na ovom skupu bilo je ukupno 85 učesnika, 22 iz Francuske i 63 iz naše zemlje. Cilj skupa je bio da se razmene iskustva iz rada na polju zaštite od zračenja; definišu područja istraživanja i saradnje koja su moguća i predlože oblici i sadržaji konkretne saradnje. Rad skupa odvijao se kroz paralelne sastanke pet grupa i to za: dozimetriju, spoljnu radiopatologiju, internu radiopatologiju i zaštitu u rudnicima.

Kao lični doprinos i osnovu za moguću saradnju izložio sam, u grupi za dozimetriju, elemente modela odnosno, zaokruženu metodologiju za efikasnu kontrolu internog individualnog izlaganja pri radu u atmosferi potencijalno kontaminiranoj tricijumom [19]. Polazeći od specifičnih karakteristika radionuklida tricijuma, modelom su predviđene tri vrste istovremenih i sukcesivnih kontrolnih merenja i to:

- Kontinualna kontrola sadržaja tricijuma u vazduhu u realnom vremenu i prostoru, radi operativnih intervencija;
- Istovremeno sakupljanje uzoraka vazduha i naknadno merenje sadržaja tricijuma u njima, radi pouzdanije procene očekivanih nivoa interne kontaminacije, i
- Sakupljanje uzoraka urina od izlaganih, njihova laboratorijska obrada i merenje sadržaja tricijuma, radi procene očekivanih internih doza zračenja.

Za praktičnu realizaciju ovog modela, u to vreme, ni u svetu a pogotovu u našim uslovima, nije postojala odgovarajuća oprema (prenosni merni uređaji, oprema za sakupljanje i standardizovana metodologija za obradu uzoraka, laboratorijski merni uređaji itd.). Na primer, za merenje sadržaja tricijuma u uzorcima, u laboratorijskim uslovima, korišćena je metoda prevođenja uzoraka iz parne u tečnu fazu i potom merenje na gasnim brojačima. Danas se to radi neuporedivo lakše i pouzdanije korišćenjem uređaja sa tečnim scintilatorima. Inače, predloženi model u funkciji zaštite od tricijuma ni danas nije izgubio na svojoj snazi. A kao osnovni pristup, primenljiv je i u uslovima rada sa drugim otvorenim izvorima zračenja kao što je jod, na primer.

MEĐUNARODNE LETNJE ŠKOLE ZAŠTITE OD ZRAČENJA U NAŠOJ ZEMLJI

Sredinom šestdesetih godina u mnogim oblastima nauka pa i u zaštiti od zračenja pojavile su se želje za što intenzivnijom, bržom i efikasnijom razmenom znanja na međunarodnom nivou, posebno putem žive reči. U tom cilju posebno mesto i ulogu imali su skupovi koji su organizovani pod nazivom "letnje škole". Nošeni tom idejom, grupa učesnika pomenutog Kolokvijuma u Herceg Novom (Ljubomir Barbarić, Predrag S.Bojović i autor ovog rada) u jednoj od pauza sastanka, složila se da pokrene ideju organizovanja Međunarodnih letnjih škola u našoj zemlji na temu zaštite od zračenja. Treba priznati da ova ideja nije bila odmah prihvaćena, kada je izložena prvi put na Kolegijumu Laboratorije za zaštitu od zračenja Instituta Vinča, nekoliko dana po povratku iz Herceg Novog u Beograd. Smatralo se da (naša) Laboratorija nije još uvek dovoljno afirmisana, niti kadrovski sposobna da prihvati i uspešno izvrši jedan takav zadatak. I pokretači ideje bili su saglasni sa takvom konstatacijom. Međutim, ipak nisu odustali jer su imali na umu elementarnu životnu istinu, da se značajna ostvarenja ne mogu postići ako se izbegava prihvatanje zadataka koji u datom trenutku izgledaju neostvarivi. I, Vinčina Laboratorija za zaštitu od zračenja organizovala je u periodu od 1970. do 1979.godine četiri letnje škole sa sledećim osnovnim temama:

- Dozimetrija zračenja, u Cavtatu 1970 [20].
- Zaštita okoline nuklearnih postrojenja, u Herceg Novom 1973. (Zbornik nije štampan).

- Aktuelni problemi i preokupacije zdravstvenih fizičara, u Herceg Novom 1976 [21].
- Odlaganje otpada i drugi radijacioni problemi u nuklearnoj industriji, u Dubrovniku 1979 [22].

Predavanja na ovim školama držali su u to vreme najistaknutiji svetski naučnici u oblasti zaštite od zračenja od kojih pominjemo samo nekoliko: K.Z.Morgan, W.S.Snyder, N.G.Gusev, Bo Lindel, H.Jammet, D.Beninson i mnogi drugi. Na svakoj školi bilo je po desetak i više istaknutih predavača. Zanimljivo je da su na III školi učestvovali predavači iz SAD D.H.Sliney i R.T.Ham, koji su držali predavanja na teme opasnosti i zaštite od nejonizujućih zračenja, što su bili praktično prvi ozbiljniji pristupi ovom problemu na međunarodnom nivou. Ukupan broj učesnika kretao se od 80 do 90, pri čemu je iz inostranstva bivalo oko 40% i to iz celog sveta od Novog Zelanda preko Azije i Evrope do Amerike. Zbornici održanih predavanja i saopštenja štampani su sa svih sem II škole. Učesnici na školama imali su priliku da čuju iscrpna tumačenja najnovijih saznanja iz oblasti zaštite od zračenja iz usta najpoznatijih svetskih naučnika i stručnjaka. Kao primer navedimo detalj, da je K.Z.Morgan na I školi 1970.godine govorio o razmišljanjima u vezi snižavanja maksimalno dozvoljene doze za profesionalce, pominjući pri tome cifru od 2R, kao moguću novu vrednost. Upravo ta vrednost je i usvojena na međunarodnom nivou, 20 godina kasnije.

MEĐUNARODNA INTERKOMPARACIJA NUKLEARNIH AKCIDENTALNIH DOZIMETARA NA REAKTORU RB

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), u okvirima svojih aktivnosti na polju zaštite od zračenja, započela je tokom 1969.godine realizaciju međunarodno koordiniranog programa istraživanja na području nuklearne akcidentalne dozimetrije. U sklopu ovog programa organizovana su četiri međunarodna multilaboratorijska eksperimenta. Treći eksperiment IAEA je organizovala, na osnovu ugovora sa Vladom Jugoslavije, na reaktoru RB u Vinči u vremenu od 14-25 maja 1973 [23]. Izbor reaktora RB nije bio slučajan, bilo je to podsećanje na "Vinča akcident" i prethodni dozimetrijski eksperiment iz 1960.

Da bi se ovaj eksperiment mogao izvesti bilo je neophodno uraditi nekoliko krupnijih intervencija na reaktoru i njegovim sistemima, kao:

- proširenje opsega kontrolno-regulacionih sistema reaktora kako bi se, reaktor mogao podići i stabilno održavati na snagama do tri reda veličine većim od nominalnih, koje su retko prelazile nekoliko vati;
- ojačavanje zaštitnih ekrana naročito prema pultu upravljanja reaktorom;
- dogradnja eksperimentalnog prostora odnosno, izgradnja platforme u nivou osnove reaktorskog suda za postavljanje dozimetara velikog broja učesnika u eksperimentu, i
- prethodna dozimetrijska merenja radi karakterizacije polja zračenja odnosno, određivanja očekivanih doza gama zračenja i doza i spektra neutrona.

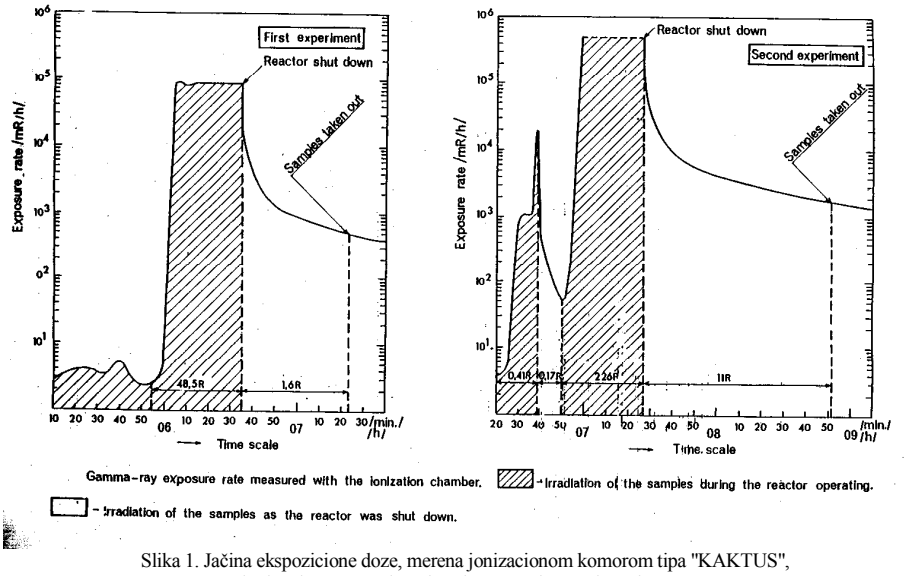
Sve ove intervencije izveli su saradnici Laboratorija Instituta za nuklearnu energetiku i zaštitu od zračenja, bez pomoći spolja izuzev merenja neutrona. U delu standardizacije polja neutrona zatražena je i dobijena pomoć od Francuskih kolega [24].

Eksperiment interkomparacije, u kome je učestvovalo oko 40 eksperimentatora iz 12 zemalja podeljenih u 18 ekipa, uspešno je izveden. Izvršena su dva posebna ozračivanja dozimetara na deklarisanim snagama reaktora od 1,05 i 6,7 kW, u trajanju od po 30 min. Obrada i analiza ukupnih rezultata eksperimenta prikazana je u referenci [23], te se time ovde nećemo baviti.

Ono što je potrebno istaći u vezi interkomparacije, posmatrajući je sa stanovišta operativne zaštite od zračenja, je činjenica da je reaktor za potrebe eksperimenta radio u

nestandardnim uslovima, koji su neminovno praćeni sa višim stepenom rizika u odnosu na standardni režim. Svesna toga, operativna služba zaštite od zračenja kod reaktora, ugradila je dodatni poseban, dozimetrijski kanal sa jonizacionom komorom kao senzorom, isključivo za svoje potrebe. Cilj je bio da se, nezavisno od reaktorskih mernih sistema, prati evolucija nivoa gama zračenja u kontinuitetu od samog startovanja reaktora, rada na zadatoj snazi, zaustavljanja i konačno iznošenja ozračenih dozimetara sa eksperimentalnog prostora. Rezultati ovih merenja prikazani su na slici 1. Pored ove osnovne namene, ovi podaci su poslužili i za određivanje integralne ekspozicione doze, kojoj su dozimetri bili izloženi u eksperimentima.

Eksperiment u celini protekao je bez problema sa stanovišta zaštite od zračenja. Međutim, naknadnom analizom korelacije između deklarisane snage reaktora i izmerenih integralnih doza gama zračenja i neutrona, nesumnjivo je pokazano da su stvarne snage na kojima je reaktor radio u eksperimentu bile veće za oko 2,5 puta [25]. Ta činjenica nije bila značajna za sam eksperiment, jer njegov cilj nije bio da se uspostavi korelacija snage i doza. Ona takođe nije imala značaja ni sa stanovišta zaštite od zračenja, jer su sve mere zaštite preduzimane saglasno merenom intenzitetu doza a ne snazi reaktora. Međutim, ovaj detalj pokazuje da je i pored veoma obimnih priprema i prilagođavanja svih sistema reaktora za rad na većim snagama ipak učinjen ne mali propust. Greška je bila u kalibraciji dela kontrolno-regulacionog sistema koji prati snagu reaktora. Izuzimajući ovaj "detalj", sve ostalo u pogonu reaktora tokom eksperimenta bilo je besprekorno.



Slika 1. Jačina ekspozicione doze, merena jonizacionom komorom tipa "KAKTUS", kod reaktora RB tokom interkomparacionog eksperimenta

NOVE KONCEPCIJE ZAŠTITE OD ZRAČENJA IZ 1977.GODINE

Ključni događaj u evoluciji osnovnih koncepcija zaštite od zračenja predstavljaju preporuke ICRP sumirane u Publikaciji 26 [26], koja se pojavila 1977.godine. Preporuke su došle kao rezultat intenzivnih aktivnosti na polju zaštite od zračenja tokom šestdesetih i prve

polovine sedamdesetih godina, koje su se pod okriljem IAEA, UNSCEAR i ICRP odvijale na međunarodnom nivou. Nesumnjiv značaj, za njihovo relativno ubrzano donošenje, imao je nagli razvoj nuklearne energetike koji se odigravao u istom periodu.

Nove preporuke, zasnovane na linearnoj, bez praga, zavisnosti efekata zračenja od doze (LNT-hipoteza), unele su mnoge nove pojmove i kompletne pristupe zaštiti od zračenja. Uveden je termin "radijaciona zdravstvena štetnost" kao osnova za procenu odnosa cena-korist, u procesu optimizacije zaštite. Jedinica ekvivalentne doze "rem" zamenjena je novom "sivert". Umesto termina "maksimalno dozvoljena doza" uveden je nov izraz "granica doze", iako je pri tome zadržana stara vrednost za ovu veličinu od 50 mSv/a za profesionalno izlaganje. Eksplicitno su definisana tri osnovna polazna stava novih koncepcija kao:

- opravdanje prakse (globalna optimizacija);
- optimizacija zaštite (detaljna uz primenu ALARA), i
- ograničavanje individualnih doza.

Ne ulazeći u detalje ovih preporuka ukazaćemo na, po našem mišljenju, dva bitna elementa koja su imala najznačajniji uticaj na tekuću praksu a to su: novi referentni nivo kontrole zračenja i ALARA-princip. Činjenica, koja možda nije na prvi pogled uočljiva, je da je po novim koncepcijama referentni nivo za sprovođenje mera zaštite u praksi postao prirodni fon, umesto maksimalno dozvoljenog nivoa po starim koncepcijama. Novi referentni nivo uneo je mnoge praktične probleme, ne samo zbog toga što nije jednoznačno definisan, već i što je toliko nizak da je bio na pragu ili ispod granica osetljivosti raspoložive merne dozimetrijske i radijacione instrumentacije. Na primer, donja granica osetljivosti komercijalnih film-dozimetara, koji su do tada bili najčešće korišćeni kao standardni legalni lični dozimetri, bila je za oko dva do tri puta iznad prirodnog ili modifikovanog prirodnog fona [27]. ALARA koncept koji je ovim preporukama opšte prihvaćen na međunarodnom nivou, odigrao je veoma značajnu ulogu u snižavanju nivoa izlaganja zračenju, samim njegovim prihvatanjem i razumevanjem.

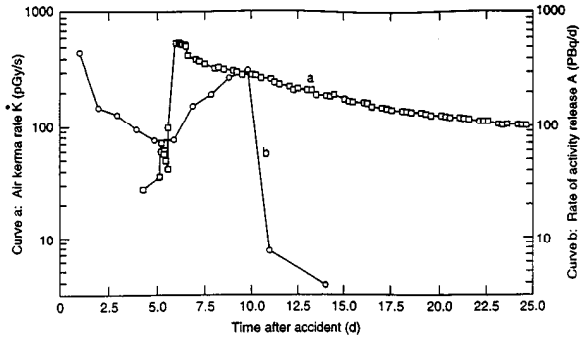
PRVI OZBILJNI AKCIDENTI NA NUKLEARNO-ENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Ubrzana gradnja nuklearno-energetskih objekata tokom sedamdesetih godina, kao direktna posledica naftne krize početkom sedamdesetih, bila je snažno uzdrmana prvim ozbiljnijim nuklearnim akcidentom na elektrani "Ostrvo Tri Milje" u SAD.

U sredu 28. marta 1979. u 4 h i 36 s prestalo je da radi nekoliko pumpi za vodu na II jedinici nuklearne elektrane na Ostrvu Tri Milje, lociranoj oko 20 km jugoistočno od Harisburga u Pensilvaniji [28]. Tako je počeo prvi ozbiljni akcident na nuklearnoj elektrani u svetu. U sledećim minutima, satima i danima serija događaja praćena nedostacima opreme, neodgovarajućim postupcima, ljudskim greškama i neznanjem, proizvela je veliku krizu u domenu zahuktale nuklearne industrije. Iako je ovaj akcident prošao na sreću odnosno, slučajnim sticajem okolnosti, bez težih posledica po okolinu, samo uz veliku materijalnu štetu (preko milijardu dolara), on je izvršio snažan uticaj na dalji razvoj nuklearne energetike. Akcident je najpre pokrenuo opštu antinuklearnu kampanju u Americi i svetu, snažno podržanu od strane industrije klasičnih energetskih postrojenja, koja je bila finansijski ugrožena naglim razvojem nuklearne energetike. On je takođe, veoma ozbiljno uzdrmao i izazvao oštre napade na tada važeće osnovne koncepte sigurnosti i zaštite od akcidenata na nuklearnim postrojenjima, zasnovanim na riziku i verovatnoći. Ti koncepti su prvi put u potpunosti formulisani u čuvenom Rasmusenovom izveštaju [29], i prihvaćeni u celom svetu kao osnovni projektni kriterijumi. Njihova suština sastojala se u sledećoj tvrdnji: svi akcidenti na

nuklearnim postrojenjima, razvrstani po težini u 10 kategorija, su prihvatljivi, s tim što se tehničkim i drugim merama sigurnosti i zaštite verovatnoća njihove pojave smanjuje proporcionalno težini očekivanih posledica.

Sledeći akcident, neuporedivo teži nego na Ostrvu Tri Milje, odigrao se 26 aprila 1996 u 1h i 26 min. u Černobilu [30]. Ovaj akcident, po svom karakteru, obimu i težini posledica, neuporedivo je prevazišao sve do tada teorijski prognozirane akcidente najtežih kategorija na ovim postrojenjima [31]. Bio je to nažalost, neplanirani "eksperiment" koji je, ne samo uzdrmao, već porušio osnove teorije sigurnosti na kojoj je do tog trenutka bilo izgrađeno na stotine nuklearnih postrojenja širom sveta. Saglasno do tada važećim teorijskim predpostavkama, očekivalo se da pri najtežim akcidentima ugroženo može biti samo područje okoline reaktora do maksimalnih rastojanja od oko 100 km. Na osnovu te predpostavke su bile projektima predviđene i planirane sve mere zaštite stanovništva. Međutim, Černobil je ugrozio - kontaminirao celu severnu hemisferu. Odjednom se stotine miliona ljudi, u najrazvijenijim zemljama sveta, našlo u potpuno neočekivanoj situaciji. Problem su bili u datim uslovima i najjednostavniji akcioni nivoi za trijažu kontaminirane hrane. Usvajani su velikom žurbom, bez mogućnosti za značajniju koordinaciju između bar susednih zemalja. Nastala je i trajala, nekoliko dana po akcidentu u pravom smislu, haotična situacija. O akcidentu u Černobilu i njegovim posledicama napisane su hiljade i hiljade stranica. Svakako najviše i najpotpunije u Zborniku radova sa Simpozijuma održanog pre tri godine u Beču povodom desetogodišnjice [32]. Ovaj akcident će sigurno pobuđivati interesovanje naučnika iz oblasti zaštite od zračenja u pedesetak i više narednih godina. Po tome se on verovatno može porediti sa Hirošimom i Nagasakijem. Ono što ovde želimo posebno da naglasimo je činjenica da je sa Černobilom nepovratno završena, nazovimo je tako, klasična faza nuklearne energetike. Sve najrazvijenije zemlje sveta, izuzimajući dalekoistočne, prestale su sa planiranjem i gradnjom planiranih a nezapočetih postrojenja. Neke su čak donele ili su u fazi donošenja odluka o obustavi rada postrojenja koja su već u pogonu.



Slika 2. Rezultati merenja jačine kerme u vazduhu na referentnoj tački kod Instituta Vinča tokom aktivne faze akcidenta u Černobilu (kriva a). Na slici je dat i intenzitet emisije radioaktivnosti u okolinu (kriva b) [35]

Nova era nuklearne energetike, za koju se danas bore samo tzv. nuklearni lobii, još uvek nije na vidiku, ali po tvrđenju mnogih umnih ljudi u svetu [33] ona je neizbežna, da bi budući razvoj civilizacije mogao biti usaglašen sa prirodom na zemlji. Ako se to u budućnosti i dogodi, onda će nova nuklearna postrojenja biti građena na novim, deterministički zasnovanim konceptima sigurnosti. Reaktori budućnosti moraju biti inherentno sigurni i "inteligentni" [34].

Haotično stanje koje je nastalo u svetu posle akcidenta u Černobilu nije mimoišlo ni nas. I to je dobro poznato. Ipak, i pored svih teškoća u Institutu Vinča se uspelo da se

kontinualnim standardnim merenjima, jačine kerme u vazduhu, proprati evolucija globalne radijacione situacije kod Beograda tokom aktivne faze akcidenta i posle njega. Rezultati ovih merenja prikazani su na slici 2 [35]. Detaljnom analizom podataka koje sadrži ova slika može se jasno sagledati sva dramatika razvoja radijacione situacije u danima neposredno po akcidentu. Ovi podaci su bili od neprocenjive vrednosti u tim trenucima. Oni su poslužili kao jedna od bitnih podloga Saveznoj Komisiji za zaštitu od zračenja, koja je tih dana neprekidno zasedala, za donošenje ispravnih operativnih preporuka i mera.

MEĐUNARODNI SIMPOZIJUMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA POVODOM 30 GODINA ZAŠTITE U VINČI

Oslanjajući se na tradiciju letnjih škola, rukovodstvo Laboratorije za zaštitu od zračenja u Institutu Vinča, prihvatilo je, na predlog autora ovog rada, da povodom 30 godina od osnivanja Laboratorije organizuje međunarodni Simpozijum na temu: "Radiation Protection - Selected Topics" [36]. Pripreme za Simpozijum započete su tri godine pre održavanja, jer je bio cilj da se kao pozvani predavači dovedu u tom trenutku u svetu eminentna imena. U tome se najvećim delom i uspelo. Simpozijum je održan oktobra 1989 u Dubrovniku. Na njemu se okupilo oko 150 učesnika, saopšteno je 111 radova od kojih 44 stranih autora. Autori 10 uvodnih predavanja bili su stranci i to: P.Christensen i L.Botter-Jansen iz Danske; H.Krause i J.Erhardt iz Zapadne Nemačke; W.Kraus i B.Dorschel iz Istočne Nemačke; J.A.Bond iz Kanade; M.Delpla iz Francuske i, I.Ivanov i A.A.Bikov iz ŠSR.

Nažalost bio je ovo poslednji Simpozijum za jednog od najpoznatijih Ruskih naučnika u oblasti zaštite od zračenja odnosno dozimetrije - Igora Ivanova. Ispunio je unapred datu obavezu da učestvuje. Došao je na Simpozijum i održao svoje predavanje, iako već teško oboleo i pod protonskom terapijom. Umro je u Moskvi nepunih pet meseci kasnije, februara 1990.

Uporedo sa Simpozijumom organizovana je i Međunarodna izložba dozimetrijske i radijacione opreme na kojoj je, pored domaćih, učestvovalo desetak najpoznatijih proizvođača iz Evrope i Severne Amerike. Bila je to najveća izložba oprema ove vrste održana u bivšoj Jugoslaviji.

REDUKCIJA GRANICA DOZA I DALJA EVOLUCIJA OSNOVNIH KONCEPCIJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Posle objavljivanja preporuka rezimiranih u Publikaciji 26, Međunarodna Komisija za zaštitu od zračenja nastavila je intenzivno da radi na njihovoj implementaciji u praksi, oslanjajući se na međunarodne i regionalne organizacije (IAEA, WHO, FAO, ILO, OECD/NEA i dr.). Posebna pažnja u prvo vreme poklonjena je razradi novouvedenog principa optimizacije zaštite na osnovu ALARA koncepta. Proces optimizacije zahtevao je usvajanje novčane cene jedinice kolektivne doze. To je indirektno značilo da je bilo potrebno odrediti cenu koju treba platiti da bi se spasao ljudski život (u statističkom smislu). Ova činjenica pobudila je interes sa etičke tačke gledišta. Među prvima reagovao je Vatikan, postavljajući pitanje moralne opravdanosti novčanog vrednovanja ljudskog života. Da bi se razrešio ovaj problem morala je da bude formirana posebna ekspertska grupa koja je u svom izveštaju nedvosmisleno zaključila: "Da ne može biti nemoralno ulaganje u zaštiti radi snižavanja izlaganja ispod granica doza i time spašavanja ljudskih života", što je bio osnovni cilj optimizacije gde je korišćena veličina "cena jedinice kolektivne doze" tj. cena ljudskog života.

ICRP takođe, po prvi put osamdesetih godina posvećuje pažnju radonu definišući prve preporuke [37]. Prva merenja radona sa stanovišta zaštite od zračenja vršena su u Švedskoj još 1956.godine [38]. Ovaj problem nameće se ponovo, opet u Švedskoj, početkom sedamdesetih godina vezano sa naftnom krizom. Zbog potrebe štednje energije preporučena je redukcija prirodne ventilacije stanova. Direktna posledica primene ove preporuke bio je porast koncentracije radona u stanovima. Da bi se taj problem razrešio Vlada Švedske formira Komisiju eksperata sa zadatkom da definiše akcione nivoe za radon. U svom Izveštaju Komisija ukazuje na činjenicu da problem radona postoji i u drugim zemljama. Na to je odmah reagovao UNSCEAR, koji po prvi put u svojim redovnim periodičnim izveštajima, značajnu pažnju posvećuje izlaganju stanovništva radonu, sa naglaskom na izlaganje u zatvorenom prostoru. Iz tih razloga prosečna godišnja doza, od izlaganja u prirodnim i modifikovanim prirodnim uslovima referisana u UNSCEAR izveštaju iz 1982. je dvostruko veća, oko 2 umesto 1 mSv, kako je to bilo referisano u prethodnom Izveštaju iz 1977.godine.

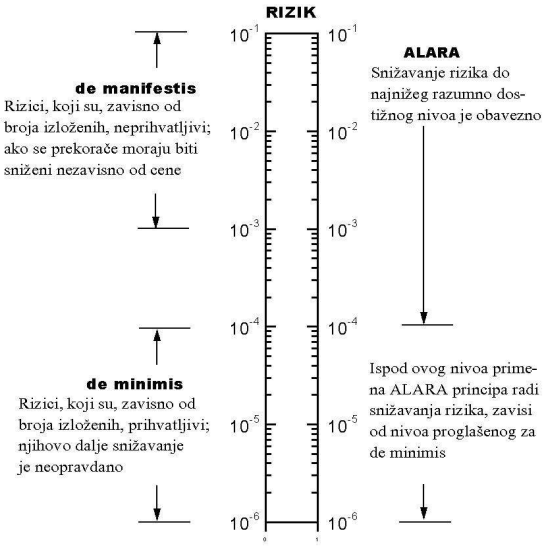
U sklopu svih tih aktivnosti ICRP na sastanku održanom 1987, zaključuje da je vreme da se pripreme nove preporuke kao zamena prethodnih iz 1977. Kao rezultat tog opredeljenja Komisija usvaja 1990. i publikuje 1991. nove preporuke u formi ICRP publikacije - 60 [39]. Ove preporuke sadrže nekoliko bitnih izmena u odnosu na prethodne. Snižava se granica godišnje doze za profesionalce sa 50 na 20 mSv usrednjeno na pet godina sa dopuštenom mogućnošću maksimalne vrednosti do 50 mSv tokom jedne godine. Kao granica za ozračivanje pojedinaca iz stanovništva daje se vrednost od 1 mSv godišnje sa izuzetnim maksimalnim izlaganjem do 5 mSv tokom jedne godine, pod uslovom da se ne prekorači srednja godišnja vrednost od 1 mSv tokom pet godina. Daje se naglasak na povećanu kontrolu ozračivanja u prirodnim i modifikovanim prirodnim uslovima i uvodi pojam rizika od potencijalnog ozračivanja. U preporukama se dalje, uvode "radijacioni težinski faktori" umesto ranijih "srednjih faktora kvaliteta zračenja". Dozimetrijska veličina "efektivni dozni ekvivalent" zamenjuje se novom veličinom "efektivna doza" itd. Ipak, najznačajnijom izmenom u novim preporukama se može smatrati činjenica da se za osnov procesa normiranja uzima rizik a ne doza zračenja. Iako su ove dve veličine, prema LNT-hipotezi, proporcionalne izmena se smatra suštinskom. U razradi koncepta rizika definišu se dva osnovna nivoa: *de manifestis risk* i *de minimis risk*. *De manifestis risk* se definiše kao donja granica neprihvatljivog odnosno, gornja granica tolerantnog rizika. *De minimis risk* se definiše kao gornja granica zanemarljivog rizika. Između ovih dveju granica određuje se, primenom ALARA principa, prihvatljiv nivo rizika. Grafička predstava ovih nivoa rizika je na slici 3.

Konačno potrebno je istaći da se u najnovijim preporukama insistira na zaštiti pojedinca [40], jer je on taj koji se izlaže riziku pri radu i rukovanju sa izvorima zračenja odnosno, direktno trpi posledice. To opredeljenje nameće individualnu kontrolu izlaganja riziku ozračivanja kao primarnu kod profesionalaca, umesto dosadašnje kombinacije individualne i kolektivne, zavisno od očekivanog nivoa izlaganja.

UMESTO ZAKLJUČKA

Polazeći od prihvaćene činjenice da je zaštita pojedinca primarna, jedan od osnovnih zadataka zaštite od zračenja danas jeste da se pouzdano odredi nivo stvarnog rizika kome se pojedinac - profesionalac, izlaže tokom rada u poljima zračenja. To je moguće ostvariti samo ako se dosledno i pouzdano kontrolišu i procenjuju lične doze zračenja. Nažalost sve fizičke metode koje se za tu svrhu koriste ne mogu po svojoj prirodi dati definitivan odgovor na to pitanje. Podaci o nivoima spoljašnjeg i unutrašnjeg ozračivanja, koji se dobijaju pomoću ovih metoda merenja, mogu znatno da odstupaju od stvarnih nivoa izlaganja, zavisno

od uslova ozračivanja i vrste i svojstava zračenja kome je individua bila izložena. Ispravan odgovor na ovo pitanje može se dobiti jedino na osnovu bioloških indikatora - biomarkera i bioloških dozimetara. Međutim, još uvek nisu otkriveni biološki dozimetri koji su u stanju da pouzdano registruju nivoe ozračivanja pri malim dozama ili intenzitetima doza, koje su od interesa za zaštitu od zračenja. Upravo to i jeste jedan od ključnih problema koji se postavlja pred savremenu zaštitu od zračenja, od čijeg uspešnog razrešenja u velikoj meri zavisi dalji kvalitativni razvoj ove oblasti. To je jedan od ključnih problema koji se prenosi u dvadesetprvi vek.



Slika 3. Referentni nivoi rizika

LITERATURA

[1] B.Lindel, History of radiation protection in the first 100 years, European Commišion Publication "Radiation Protection 93", European Communities 1997.

[2] W.Fush, Simple recommendations on how to avoid radiation harm, American Journal "Western Electrician", No.12, December 1896.

[3] M.M.Ninković, Aktuelni globalni problemi zaštite od zračenja, Zbornik radova XVIII jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, str.15-18, Bečići, 24-26 maj, 1995.

[4] L.E.Holm, The ICRP's 70th aniversary, SSI news, Vol.6, No.2, p.10-11, November 1998.

[5] K.Z.Morgan, J.E.Turner (eds.), Principles of Radiation Protection, p.62, John Wiley and Sons, New York, 1967.

[6] D.Popović, The bare critical assembly of natural uranium and heavy water, Proceedings of the 2nd UN International Conference, IAEA; 15/P/491;12, p.392-394, Geneva, Switzerland, September 1958.

[7] P.Savić, Sur l'accident avec le reacteur puissance zero du 15 octobre 1958, Bulletin of the Boris Kidrič Institute - Vinča, 9(167); p.1-4; Vinča, Yugoslavia, 1959.

[8] C.R.Russell, Reactor Safeguards, p.308-309, Pergamon Press, Oxford, 1962.

[9] T.Tasovac, Radiološka zaštita, Poglavlje u knjizi "50 godina Instituta Vinča", str.163-176, Vinča, 1999. (u štampi)

[10] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SFRJ, br.16/59, Beograd, 1959.

[11] The Vinča Dosimetry Experiment, Technical Reports Series No.6, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1962.

[12] UNSCEAR 1982 Report, Ionizing Radiation: Sources and Biology Effects, p.392, United Nations, New York, 1982.
[13] B.J.Kovach, J.A.Auxier and F.W.Sanders, Memories of an Early Nuclear Accident, 15 October 1958, Vinča, Yugoslavia, Radiation Protection Management, Vol.14, No.4, p.28-37, July/August 1997.
[14] T.J.Thomson, J.G.Beckerly (eds.), The Technology of Nuclear Reactor Safety, Vol.1: Reactor Physics and Control, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
[15] Program, Prvog jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Portorož, 8-12 oktobar, 1963.
[16] Deset godina rada Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja 1963/1973, Brošura u izdanju jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Beograd, oktobar 1973.
[17] Kratki sadržaji saopštenja Prvog jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Portorož, 8-12 oktobra, 1963. (Brošura u izdanju Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, jula 1963.).
[18] Compte rendu commun de colloque Franco - Yugoslave sur la radioprotection, Tenu б Herceg Novi, Yugoslavie, du 10 au 12 octobre 1966. (Broshour du Commissariat a L'energie atomique, Paris et Commission Federal pour L'energie nucleaire, Belgrade, 1966.)
[19] M.M.Ninković, Dosage du Tritium, Compte rendu du Coloque Franco - Yugoslave sur la radioprotection, Herceg Novi, 10-12 oct. 1966.
[20] I.Mirić (ed.), Radiation Dosimetry Vols.1 and 2, Proceedings of the International Summer School on Radiation Protection, Cavtat, Yugoslavia, Sept.21-30, 1970.
[21] P.D.Marković (ed.), Current Problems and Concerns of the Health Physicist, Proceedings of the Third International Summer School on Radiation Protection, Herceg Novi, Yugoslavia, August 24 - September 3, 1976.
[22] Ž.Vuković (ed.), Waste Disposal and other Problems in Nuclear Industry, Proceedings of the Fourth International Summer School on Radiation Protection, Dubrovnik, Yugoslavia, August 21-September 1, 1979.
[23] Third Research Co-ordination Meeting on Nuclear Accident Dosimetry, 14-25 May, Vinca, Yugoslavia, 1973 (IAEA Document MG-140, Vienna, March 1977).
[24] I.Mirić, P.Mirić, M.M.Ninković, M.Mourgues, L.Portheos, M.Bricka, Determination of Leacage Spectra near RB Reactor, Internal Publ. SESR-CI, 73/129, Cadarache, France, August 1973.
[25] M.P.Pešić, M.M.Ninković, Comparison of the MCNP™ Calculated and Measured Radiation Field Duantities near the RB Reactor, Health Physics, 1999. (Accepted for Publication).
[26] International Commission on Radiological Protection, Recomendation of the ICRP, Publication 26, Annals of the ICRP, 1, 3, Pergamon Press, Oxford and New York, 1977.
[27] M.M.Ninković, Effects of new ICRP Recomendations on Current Radiation Protection Practice, Kernenergie, Bd.26, H.9, p.349-352, 1983.
[28] J.G.Kemeny (Charman), Report of the President's Commission on the accident at Three Mile Island, Pergamon Press, New York, October 1979.
[29] Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants (Rasmussen Report), WASH 1400, NUREG-75/014, October 19, 1975.
[30] P.H.Gudiksen, T.F.Harrey, R.Lange, Chernobyl Source Term Estimation, Proceedings of the Seminar on Comparative Assesment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accident: Kyshtym, Windscale, Chernobyl, Vol.I, p.93-112, Luxembourg, 1-5 October, 1990.
[31] M.M.Ninković, Činjenice i kontroverze o nekim posledicama akcidenta u Černobilu, Zbornik radova Savetovanja: Černobil, 10 godina posle, str.17-25, Budva, 4-7 jun, 1996.
[32] Proceedings of the International Conference: One Decade after Chernobyl, Austria Center Vienna, Austria, 8-12 April 1996.
[33] H.Blix, Environment and sustainable energy development, Transactions, Vol.I, p.7-17, of the World Nuclear Congress, Nice, France, October 25-28, 1998.
[34] A.M.Weinberg, The light water advanture - 50 years later, Nuclear Engineering, Vol.39, No.483, p.28-30, October 1994.
[35] M.M.Ninković, J.J.Raičević, S.Pavlović, Effect of the Chernobyl Accident on the Gamma Radiation Level in the Belgrade Region, Nuclear Safety, Vol.38, No.1, p.69-73, January - March 1997.
[36] M.M.Ninković, R.S.Pavlović, J.J.Raičević, (eds.), Radiation Protection - Selected Topics, Proceedings of the 30th Anniversary Symposium of Radiation Protection in the Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Dubrovnik, Yugoslavia, October 2-6, 1989.
[37] ICRP (1983), Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation, Publication ICRP-39, Annals of the ICRP, Vol.14, No.1, Pergamon Press, Oxford and New York, 1983.
[38] B.Hultqvist, Studies on naturally occurring ionizing radiation (Thesis), K. Svenska Vetensk Akad. Handl. 6(3), Almquist U. Wiksells Boktryskeri, Stockholm, 1956.
[39] ICRP (1991), L990 Recomendation of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.
[40] R.Clark, Private Information, Nice, France, October 1998.

ABSTRACT

RADIATION PROTECTION FROM VINČA ACCIDENT TO NOWADAYS - A PERSONAL VIEW

Marko M. Ninković
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Yugoslavia

On the occasion of the series of anniversaries related to ionizing radiation and radiation protection, that passed a few last and this year, hronological review of some key events in radiation protection are given in this paper. At the first, the main activities of the ICRP from its establishment to nowadays are presented. Afterwards, general description of some, according to author opinion, important events in the field of radiation protection in our country are given as: Vinča accident; Organization of the Radiation Protection Laboratory in the Vinča Institute; International Vinča Dosimetry Experiment; First Symposium and organization of Yugoslav Radiation Protection Assossiation; French - Yugoslav Colloquim on radiation protection; International intercomparison experiment on nuclear accident dosimetry and, International summer schools and Symposium on radiation protection organized in Yugoslavia. Some comments on the Three Mile Island and Chernobyl accidents are given also. Finally, bioindicators of low dose and dose intensity exposure are cited as a one of the main problem have to be resolved in radiation protection in next century.

40 GODINA DEKONTAMINACIJE I ODLAGANJA RADIOAKTIVNIH OTPADAKA U INN „VINČA“

Ž. Vuković
Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Beograd

SADRŽAJ

Dat je prikaz aktivnosti na problemima dekontaminacije i obrade radioaktivnih otpadaka u periodu od 40 godina postojanja Laboratorije za zaštitu od zračenja kao posebne organizacione celine u Institutu za nuklearne nauke u Vinči. Izdvojeni su periodi označeni dekadama kada su za razvoj nuklearne energije bili ovlašćeni ili federacija ili republike, odnosno kada su zajedničkim aktivnostima republika činjeni napori da se razreši pitanje trajnog odlaganja radioaktivnih otpadaka. Ovo pitanje ubuduće treba povezati sa daljom sudbinom istraživačkog reaktora RA s obzirom da se u doglednoj budućnosti u našoj zemlji ne očekuje izgradnja nuklearnih elektrana.

UVOD

Ove godine navršava se 40 godina od formiranja Laboratorije za zaštitu od zračenja kao profesionalne organizacije koja se bavi aspektima zaštite ljudi i životne sredine zbog intenzivne primene nuklearne energije, pre svega rada nuklearnih reaktora RA i RB, proizvodnje i primene radioaktivnih izotopa i izvora zračenja u istraživanjima i primeni u različitim sferama ljudske delatnosti.

Nesrećni slučaj iz 1958 godine kada je nekoliko mladih saradnika Instituta ozračeno na reaktoru RB, sa jednim smrtnim slučajem, verovatno je samo ubrzao proces čiji je cilj stalno i trajno usavršavanje tehnologija i sredstava da se negativni efekti primene nuklearne energije i rizik po zaposlene i populaciju održi u granicama prihvatljivih normi.

U okviru Laboratorije za zaštitu od zračenja značajno mesto od prvog dana postojanja zauzima služba za radioaktivnu dekontaminaciju i odlaganje radioaktivnih otpadaka, koja je zbog specifičnosti problematike brzo prerasla u službu od nacionalnog značaja. U ovom prikazu podsetićemo na najvažnije karakteristike ove službe u prethodnih četrdeset godina i naznačiti glavne rezultate koja je ona postigla. Mada se radi o vremenskom periodu koji se karakteriše kontinualnim radom ipak se mogu uočiti periodi označeni dekadama sa posebnim karakteristikama. Prva dekada označava period rada pod okriljem Savezne komisije za nuklearnu energiju, koja je podsticala i finansirala rad u oblasti primene nuklearne energije u celoj zemlji, bivšoj SFRJ. U Institutu „Vinča” u pogonu je bio Reaktor RA, a intenzivno je rađeno na razvoju metoda za proizvodnju radioaktivnih izotopa i izvora zračenja, njihovoj proizvodnji i primeni ne samo u Institutu, nego i industriji, poljoprivredi, medicini i drugim oblastima. U tom periodu intenzivno je rađeno sa otvorenim izvorima zračenja zbog čega je postojala potreba da se obavljaju poslovi dekontaminacije laboratorijskih površina, uređaja,

opreme i alata kako zbog planiranih remontnih radova, tako i zbog akcidentalnih situacija, koje u većoj ili manjoj meri prate rad sa otvorenim izvorima zračenja. Specijalizovana ekipa za radioaktivnu dekontaminaciju obavljala je poslove dekontaminacije ne samo u Institutu „Vinča" već i na području cele SFRJ. Tako je tokom 1961.godine izvršila dekontaminaciju Onkološkog bolničkog centra u Ljubljani zbog kontaminacije radijumom koji je tih godina korišćen u radiologiji. Radijum-226 je jedan od najtoksičnijih elemenata sa vremenom poluraspada od 1.620 godina. Zamenjuje kalcijum u strukturi kostiju i predstavlja izvor ozračenja pojedinih organa. Ekipa za dekontaminaciju obavljala je poslove dekontaminacije na više javnih mesta a bila je prijavljena međunarodnoj agenciji za atomsku energiju, IAEA, kao interventna ekipa za slučajeve kontaminacije značajnijih razmera.

Iz dekontaminacionih i drugih radova sa pretežno otvorenim izvorima zračenja, nastali su radioaktivni otpadni materijali u tečnom i čvrstom stanju koji su sakupljani u laboratorijama Instituta i drugih ustanova i skladišteni na privremenom skladištu u Institutu.

SKLADIŠTENJE RADIOAKTIVNIH OTPADAKA

Privremeno skladište čvrstih RAO u prvim godinama, do 1969.g. sastojalo se od otvorene deponije na koju je uskladišteno oko 2000 metalnih buradi sa čvrstim otpacima. Ta praksa skladištenja RAO na otvorenoj deponiji nije izum Vinče već je postjala u mnogim razvijenim nuklearnim centrima. Ta praksa je postepeno ukidana, jer nije odgovarala sigurnosnim kriterijumima propisanih od strane IAEA.

Krajem 1968.godine izgrađen je pored postojeće deponije metalni hangar-depo koji je počeo da se koristi 1969.g. Sredstva za ovaj hangar obezbedila je Savezna komisija za nuklearnu energiju. To je bila jedna od poslednjih investicija SKNE. Ubrzo posle toga ova komisija je rasformirana tako da su se poslovi za dugoročno rešenje problema skladištenja RAO, iako aktuelni ostali u drugom planu.

Za skladištenje tečnih RAO izgrađena su tri rezervoara od nerđajućeg čelika u betonskoj oblozi od 250 m^3 koji su posebnim cevovodom vezani za Reaktor RA, i deo su tehnološke sheme RA. U dva od ova tri rezervoara, nalazi se oko 200 m^3 tečnih otpadaka nastalih u toku remontnih radova na reaktoru RA. U drugim laboratorijama Instituta tečni otpaci su sakupljani u plastičnim posudama i skladišteni u specijalno izrađenim prostorijama.

NADLEŽNOSTI FEDERACIJE I REPUBLIKA U OBEZBEĐENJU USLOVA ZA TRAJNO ODLAGANJE RAO

Druga dekada rada na problemima dekontaminacije, obrade i skladištenja RAO karakteriše se značajnim aktivnostima na primeni otvorenih i zatvorenih izvora zračenja. Reaktor je bio u eksploataciji a radioaktivni otpaci, čvrsti u količinama 30-40 m^3 i tečnih 10-15 m^3 godišnje sakupljenih u Institutu i drugim ustanovama gde se radilo sa izvorima zračenja prestavljali su sve veći problem sa stanovišta obrade i bezbednog odlaganja. Ovaj period označavao je prelazak nadležnosti iz Federacije na Republike. Prema propisima koji su važili do kraja 1976.god. Federacija je bila u obavezi da obezbedi konačan bezbedan smeštaj radioaktivnih otpadaka. Ta obaveza nije bila izvršena iako je „Vinča" bila Savezna ustanova i u tom svojstvu skladištila radioaktivne otpatke i iz drugih republika (sem Slovenije i Hrvatske) pretežno od ustanova koje su pripadale Jugoslovenskoj narodnoj armiji. Odgovorni stručnjaci za ovu problematiku uz podršku nadležnih institutskih i republičkih organa uspeli su da dokažu da je Savezna država bila u obavezi da ispuni zaostalu obavezu prema nuklearnim institutima u

Vinči, u Zagrebu i Ljubljani, s tim što je međuresorska grupa Savezne vlade konstatovala da se do 01.01.1977. u Institutu u Vinči nalazi 95% radioaktivnih otpadaka a 5% u Zagrebu i Ljubljani od svih količina RAO koji su nastali dok su ovi instituti bili federalne institucije. U skladu sa zaostalom zakonskom obavezom s obzirom da nisu obezbeđeni uslovi za bezbedan konačan smeštaj RAO Federacija je u budžetu za period 1980-1987.godine planirala određena sredstva kao učešće u obezbeđenju privremenog bezbednog smeštaja radioaktivnih otpadnih materija deponovanih u nuklearnim institutima do 01.01.1977.godine. Taj period se poklapa sa trećom dekadom rada službe za radioaktivnu dekontaminaciju i obradu RAO. U tom periodu urađeni su projekti bezbednog privremenog odlaganja radioaktivnih otpadaka u Institutu u Vinči, a sredstva obezbeđena u budžetu Republike i Federacije omogućila su da se izgrade objekti za obradu i privremeni smeštaj RAO u Institutu i nabavi deo procesne, zaštitne i kontrolne opreme za potrebe realizacije projekta. Poseban značaj sa stanovišta bezbednog odlaganja RAO predstavlja odluka Skupštine Republike Srbije doneta 1983.godine da Republika obezbedi sredstva za sanaciju, odnosno likvidaciju otvorene deponije čvrstih RAO jer je ova deponija zbog korozije metalnih buradi i mogućnosti rasipanja RAO predstavljala potencijalnu opasnost od zagađenja šireg područja okoline deponije (Sl.1). Tokom 1995.godine sanirana je otvorena deponija RAO tako što radioaktivni otpaci sa ove deponije uklonjeni, prerađeni i uskladišteni u novo izgrađeni metalni hangar jer je do tada postojeći hangar već bio popunjen. Teren na kome je bila otvorena deponija dekontaminiran je i doveden u stanje prirodnog ambijenta čime je otklonjena potencijalna opasnost zagađenja šire okoline.

Projekat obrade i privremenog odlaganja RAO u Institutu u Vinči baziran je na razradi metoda i tehnologija koje su svih ovih decenija razvijane i usavršavane u okvirima stručne radne grupe koja se bavila problemima dekontaminacije i obrade RAO [1-3]. S obzirom da se glavnina čvrstih RAO sastoji od kompresibilnih materija to je za obradu istih razrađen postupak smanjenja volumena presovanjem. Za obradu tečnih RAO, imajući u vidu različiti radiohemijski i hemijski sastav i sadržaj, razrađen je postupak hemijskog tretmana, i solidifikacije koncentrata cementnim postupkom. Obrada otpadaka i privremeno skladištenje podrazumeva da se time stvaraju uslovi za njihovo trajno bezbedno odlaganje. Već je pomenuto da Federacija SFRJ nije ispunila obavezu kojom je trebalo da obezbedi uslove za trajno bezbedno odlaganje RAO i da je ta obaveza od 1977.godine prešla u nadležnost Republike. Suočene sa potrebom da se taj problem reši jer je tada bio vrlo akutan zbog širenja primene nuklearne energije (Nuklearna elektrana Krško u pogonu i priprema za gradnju drugih nuklearnih elektrana, Republike i pokrajine iz sastava SFRJ), u zajednici sa zainteresovanim radnim organizacijama postigli su dogovor o uslovima i načinu rešavanja pitanja skladištenja ozračenog nuklearnog goriva i trajnog odlaganja radioaktivnih otpadaka [4]. Taj dogovor (društeni) zaključen je krajem 1984.g. i učesnici ovog dogovora saglasili su se da se utvrdi opravdanost izgradnje zajedničkog centralnog skladišta ili zajedničkih regionalnih skladišta za trajno odlaganje radioaktivnih otpadaka niske i srednje aktivnosti a na osnovu prikupljanja, izučavanja i sređivanja odgovarajuće dokumentacije. Pri tome su se zainteresovale zajednice elektroprivrednih organizacija saglasne da osnovu jednu ili više radnih organizacija koje bi obavljale transport, smeštaj, fizičku zaštitu, trajno čuvanje i organizovanje prerade radioaktivnih otpadaka i čuvanje ozračenog nuklearnog goriva do njene prerade. Izbor lokacije za izgradnju skladišta predstavljao je veliki problem zbog već izraženog otpora javnog mnjenja i stanovništva da se u blizini naselja rade ovakvi objekti. Citiranim dogovorom republike su se saglasile da će preduzeti potrebne mere da nadležni organi izdaju dozvole za lokaciju i izgradnju objekata za trajno odlaganje radioaktivnih otpadaka.

I pored početnih rezultata na primeni društvenog dogovora u 1989.godini, a to znači krajem treće dekade rada sve aktivnosti na nivou Federacije na tom planu su prekinute.

Ove godine navršava se 40 godina rada službe za dekontaminaciju i obradu radioaktivnih otpadaka u okviru Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta „Vinča". Ova četvrta dekada u mnogo čemu se razlikuje od prethodne tri. Pre svega napuštene su sve opcije izgradnje nuklearnih objekata i zajedničkog rada na problemu trajnog odlaganja RAO sa drugim republikama. Istraživački reaktor RA u Vinči u ovom periodu nije bio u pogonu zbog remonta, odnosno teškoća za obezbeđenje uslova za njegov dalji rad.

Slika 1. Radioaktivni otpaci na otvorenoj deponiji do 1985.godine

Za to vreme obavljen je niz remontnih radova koji uključuju dekontaminaciju radnih prostorija, opreme i alata iz kojih nastaju radioaktivni otpaci, ali je prestala proizvodnja radioaktivnih izotopa a s tim u vezi redukovana je primena izvora zračenja. U tom periodu donet je zakon kojim je zabranjena ugradnja radioaktivnih gromobrana odnosno propisana obaveza demontiranja istih, zbog čega su oni demontirani i uskladišteni kao radioaktivni otpad u privremenom skladištu RAO u Vinči. Smanjene količine novonastalih RAO u poslednjoj dekadi u odnosu na prethodne, pored drugih razloga odložili su rešavanje problema izgradnje skladišta za trajno odlaganje RAO. Može se očekivati da će dalji rad u Republici Srbiji na rešavanju problema trajnog odlaganja RAO biti povezan sa planovima daljeg rada na osposobljavanju Reaktora RA za pogon, obzirom da su vitalni delovi Reaktorskog sistema u zadovoljavajućem stanju. Ukoliko se donese odluka o prestanku aktivnosti na osposobljavanju Reaktora za eksploataciju, moguće su različite opcije dekomisije Reaktora koju je moguće izvesti u periodu od nekoliko godina do nekoliko decenija.

LITERATURA

[1] Ž.Vuković, Radioactive Waste Treatment at the Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Proc. of Symp. „Radiation Protection Selected Topics„ Dubrovnik, October, 2-6 (1989), p.p.597-601.

[2] S.Lazić, Ž.Vuković, A.Voko, Chemical Treatment of Liquid Radioactive Waste at the Boris Kidric Institute, Proc. of Symp. „Radiation Selected Topics„ Dubrovnik, October, 2-6 (1989), p.p.642-647.

[3] I.Plećaš, A.Perić, A.Kostadinović, Radionuclide Migration Through Porous Cement Waste Composition in Semi Real Conditions, Proc. of Symp.„Radiation Protection Selected Topics„Dubrovnik,October,2-6(1989), p.p.636-641.

[4] Društveni dogovor o uslovima i načinu rešavanja pitanja skladištenja ozračenog nuklearnog goriva i trajnog odlaganja radioaktivnih otpadaka, Službeni list SFRJ, br.68 (1984), p.p.1526-1528.

ROLF MAKSIMILIJAN SIVERT
(1896 - 1966)

I. Tomljenović, M. Baroš[1], M. Mitrović[1]
Elektrotehnički fakultet, Banjaluka
[1] „Čajavec“,Banjaluka

SADRŽAJ

XVI-ta CGPM godine 1979 prihvatila je sivert (Sv) kao jedinicu ekvivalentne doze jonizujućeg zračenja u čast švedskog fizičara, dozimetriste, Rolf Maksimilijana Siverta. Ta jedinica je dio SI jedinica. Ideja članka je da se metrolozi i dozimetristi upoznaju sa životom i radom ovog zaslužnog naučnog radnika u oblasti radiološke zaštite.

UVOD

CGPM (Conference general de Peids et Mesenes) Generalna konferencija za utege i mjere, na svom XVI-tom zasjedanju 1979.god. donijela je odluku da se jedinica za ekvivalentnu dozu nazove sivert (Sv) u čast švedskog fizičara Rolfa Maksimilijana Siverta.

Prema ICRV i ICRP ekvivalentna doza (H) je produkt apsorbovane doze (D) i faktora modifikacije (Q, DF, N).

$$H = D \bullet Q \bullet DF \bullet N = Q \bullet N \bullet D = Q \qquad (1)$$

gdje je: Q - (quality factor) - faktor kvaliteta, čija je vrijednost određena za pojedine vrste zračenja, DF (distribution factor) faktor distribucije, N - geometrijski faktor koji se uzima da je jednak jedinici. Pošto su faktori modifikacije bezdimenzioni onda se i ekvivalentna doza izražava u jedinicama kao i apsorbovana doza, J/kg. Jedinici je dato ime sivert, Sv.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} \qquad (2)$$

Jedinica pripada međunarodnom sistemu jedinica (SI). Ranije se koristila jedinica rem, roentgen equivalent man, rentgen ekvivalentan čovjeku. Veza stare i nove jedinice je

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \qquad (3)$$

Ovom jedinicom se mjere i kolektivna ekvivalentna doza S_k , uslovna doza Hc, vezana ekvivalentna doza H_{50} , efektivna doza E.

Švedski naučnik, zdravstveni fizičar Rolf Maksimilijan Sivert (Rolf Maximilian Sievert) rođen je 6 maja 1896. (u nekim dokumentima 1898) u Stokholmu (Švedska).

Njegov djed je emigrirao iz Njemačke ali je u Švedskoj postao uspješan fabrikant. Nakon smrti njegovog oca Rolf Sivert je trebao da preuzme vođenje firme. Međutim vrlo brzo se pokazalo da Sivert niti želi niti zna da upravlja firmom. Nakon teško položene mature bio je veoma odlučan. Zahvaljujući samo dobrom financijskom stanju svoje porodice mogao si je priuštiti lutanja u traženju pravog fakulteta. Nakon upisa u Štokholmu 1914. on je nastavio studije na Karolinska Institutu i na Kraljevskom institutu za tehnologiju u Štokolmu. Uzalud je pokušao studirati medicinu i elektrotehniku. Nastavio je sa studijama astronomije, meteorologije, matematike i mehanike na univerzitetu u Upsali. Taj fakultet je uspio završiti 1919.god. Tokom svom diplomskog rada Sivert se bavio ispitivanjem zračenja jednog preparata od radijuma. Ta oblast kasnije je postala njegova životna preokupacija.

Svoj doktorat ostvario je 1932.god., sa tezom na njemačkom jeziku. Naziv disertacije je „Metode za mjerenje rentgenskih, radijum i ultrazvuka i istraživanja u vezi primjene istih u fizici i medicini. U dodatku su navedene formule i tabele za izračunavanje raspodjele intenziteta kod izvora gama zračenja“ .

Iste godine postao je asistent - profesor za medicinsku fiziku na Univerzitetu u Štokholmu.

Na nagovor i pritisak porodice Sivert je ipak morao da se uključi u vođenju vlastitog preduzeća. Nakon prvog svjetskog rada usput je studirao fiziku na višoj školi u Štokholmu i postao asistent na Švedskoj akademiji nauka.

Sivert je 1920.god. saznao mogućnosti da se rentgenska zračenja i preparati od radijuma mogu koristiti u medicinske svrhe. Tada još nisu rješeni problemi definisanja i mjerenja apsorbovane doze. Sivert je razvio metode kako bi mjerio intenzitet rentgenskog zračenja. Sa jonizacionom komorom koju je sam izradio uskoro je mogao da vrši doziranje zračenja. Sada, u borbi protiv tumora i raka korišteno rentgensko zračenje moglo se je dozirati. Sivertov dalji cilj bio je razvoj prikladnih metoda za zaštitu od zračenja. Pored naučnih i radnih zadataka Sivert se brinuo i o svojoj brojnoj porodici. Ženio se dva puta i imao je sedmoro djece. Njegov hobi pored uzgajanja kaktusa bilo je sakupljanje leptira i sviranje orgulja. Ukupno 27 godina vodio je Institut za radiofiziku u Stokholmu do 1965.god. kada je penzionisan. Umro je 3 oktobra 1966.god. od posljedica operacije na stomaku.

Već 1919. Sivert je imao kontakte sa radiolozima, fizičarima koji su koristili jonizujuće zračenje u svom poslu i ponudio im svoju saradnju u pokušaju da se rješe fizički problemi povezani za upotrebu radijacije u svrhe dijagnosticiranja i terapije.

Između 1924. i 1937. bio je šef laboratorije za fiziku u Radiumhemvretoru. Godine 1937 bio je postavljen za šefa Odjeljenja za radijacionu fiziku na Karolinska Institutu a 1941. postaje profesor za radijacionu fiziku na istom institutu. Na tom poslu ostaje do penzionisanja 1965.

Društvo za zaštitu od raka odlučilo je da 1924.god. nagradi Siverta kao šefa za Laboratorij fizike u Radiumhemmet-u koji je on praktično organizovao i financirao. Pod vodstvom Siverta laboratorij se razio u svjetski poznat centar za radijacijsku fiziku. Godine 1938. aktivnosti se prenose na Karolinsku bolnicu gdje je formirano odjeljenje za radijacijsku fiziku.

Tokom ranih 1920-ih nije obavljana standardizacija apsorbovanih doza za pacijente u bolnicama gdje se primjenjivalo jonizujuće zračenje. Da bi se to stanje popravilo i regulisalo Sivert je 1925.g. osnovao organizaciju koja je bila odgovorna za kontinuiranu kontrolu stepena doziranja u svim bolnicama u zemlji u kojima se obavljao tretman radijacijom. Kako je vrijeme prolazilo program kontrole i nadzora je proširen na sve poslove sa jonizujućim zračenjem kako medicinske tako i industrijske.

Na inicijativu Siverta švedska vlada je 1941. donijela prvi švedski Zakon o zaštiti od radijacije. Zakon je Odjeljenju za radijacionu fiziku dao zadatak da nadgleda i kontroliše njegovu provedbu. Sivert je bio 1929. jedan od glavnih inicijatora i osnivača danas poznatih organizacija: ICRP - Međunarodne komisije za radiološku zaštitu i ICRU - Međunarodne komisije za radiološke jedinice i mjerenja.

Između 1920-40.god. Sivert je dao svoj najznačajniji doprinos na polju medicinske fizike. On je izgradio osnovu za određivanje i računanje apsorbovanih doza kod ozračivanje tumora. Razvio je nove uređaje za ozračivanje pacijenata i iznio značaj doprinosa sekundarnog i reflektovanog zračenja. Izumio je više dozimetara među njima i poznatu Sivertovu jonizacionu komoru.

Tokom 1930-tih god. Sivert je prvenstveno radio na izučavanjima bioloških efekata jonizujućeg zračenja, a posebno efekata malih (slabih) doza koje radiolozi primaju u svom svakodnevnom poslu, kao i ostalo stanovništvo prilikom djelovanja kosmičkog zračenja i prirodnog zračenja iz okoline. Nakon proba nuklearnih eksplozija u atosferi, radioaktivne padavine (fall-out) postale su svjetski problem. Prije nego je to pitanje iznešeno Sivert je taj problem već rješavao proučavajući podatke koje je prikupio proučavajući padavine nastale od erupcije vulkana.

Većinu svog vremena, u posljednjih 20 god. života, Sivert je posvetio radeći na rješavanju problema zaštite od radijacije. Načinio je planove za Švedski Institut za zaštitu od jonizujućeg zračenja (SSI). Sivert je bio priznat i cjenjen na međunarodnom nivou.

Bio je predsjednik ICRP od 1956 do 1962. i UNSCEAR (Komisija za efekte od atomske radijacije pri Ujedinjenim nacijama) od 1958. do 1960.

Sivertova komora ima slijedeće karakteristike: u najčešće korištenoj formi, Sivertova komora je sfera ili cilindar načinjen od legure magnezijuma (elektronski metal) i smješten u centar šuplje sfere od istog materijala. Unutrašnja elektroda je fiksirana u njen položaj sa izolatorom od ćilibara. Kroz otvor na vanjskoj sferi one se mogu naelektrisati na poznati potencijal. Otvor se zatvara sa poklopcem koji je opremljen sa štapom koji služi kao držač komore. Ako je komora izložena jonizujućem zračenju tada vazduh u šupljini između unutrašnje i vanjske sfere postaje vodljiv preko formiranih jonskih parova.

Naelektrisanje komore je reducirano zbog curenja formirane struje. Smanjenje naelektrisanja može biti tada lako izmjereno na posebnom instrumentu na nekom drugom mjestu. Smanjenje naelektrisanja je mjera radijacione doze koju je komora primila. Takva komora se može transportovati na druga udaljena mjesta bez bojazni da će doći do promjene očitavanja vrijednosti na izlazu. Dijametar komore može biti malen i iznositi svega nekoliko milimetara.

LITERATURA

[1] Rolf Sievert, the man and the unit - Department of Medical Radiation Physics, Karolinska Instituta, Sweden.
[2] V.Paić, G.Paić ,Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja, Sveučilište, Zagreb, 1983.god.
[3] I.Draganić, Radioaktivni izotopi i zračenja, Knjiga I., Univerzitet u Beogradu, 1981.god.
[4] ICRV Report 33, 1980 Washington D.C. USA, Radiation qnantites and units
[5] LINKS:
http: /www,health.gov.au/hfs/arl/irs unpl.htm
http://educeth.ethz.ch/physik/leitprog/radio/kap3.html
http://www,health.gov.au/hfs/arl/irs
http://www.graylab.ac.uk/lab/reviews/1953.html
http://www.graylab.ac.uk/lab/report95/glcrt.html
http://www.graylab.ac.uk/lab/report96/manage.html.
http://utmdacc.mda.uth.tmc.edu/~resrep/9/54Award.html
http://toltec.lib.utk.edu/~spec coll/manuscripts/a0642
http://www.alcyone.com/max/physics/laws/g.html

ABSTRACT

ROLF MAXIMILIAN SIEVERT

I. Tomljenović, M. Baroš, M. Mitrović

16th CGPM conference of 1979 accepted sievert (Sv) as the unit for dose equivalent for ionizing radiation in honour of Swedish physicist Rolf Maximilian Sievert. This unit is a part of the SI system for units and measures. Sieverts particular fields of interest were radiation dose measurement and radiation protection, where he had played a pioneering role. The idea of the article is to give a doser look into the life and work of this great scientist.

LUIS HAROLD GREJ
(1905 - 1965)

I. Tomljenović, M. Baroš[1], M. Mitrović[1]
Elektrotehnički fakultet, Banjaluka
[1] „Čajavec“,Banjaluka

SADRŽAJ

CGPM na svom XV-tom zasjedanju 1975.god. donijela je odluku da se jedinica apsorbovane doze u čast britanskog fizičara i radijacionog biologa Luisa Harolda Greja nazove grej (Gy). Ta jedinica pripada međunarodnom sistemu jedinica i mjera (SI). Glavni cilj članka je da se metrolozi i dozimetristi više upoznaju sa životom i radom ovog zaslužnog engeskog naučnog radnika. Na svom XV-om zasjedanju 1975.god. CGPM (Conference general de Poids et Mesures) -Generalna konferencija za utege i mjere donijela je odluku da se jedinica za apsorbovanu dozu nazove po britanskom fizičaru dozimetristi Luis Harold Greju.

Apsorbovana doza D, je količnik dE i dm gdje je dE srednja vrijednost energije koja je predata jonizirajućim zračenjem masi dm. (ICRU 33) 1980.god. tj.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Može se koristiti alternativna definicija

$$D = \lim_{m \to o} z$$

Apsorbovana doza D, jednaka je graničnoj vrijednosti z kada masa m teži nuli. Srednja apsorbovana doza u određenoj zapremini jednaka je srednjoj specifičnoj energiji z u toj zapremini. Jedinica za apsorbovanu dozu izražava se u J/Kg nosi poseban naziv grej i označava sa Gy. Dakle to je jedinica koja pripada SI. Prije se koristila jedinica rad (skraćenica od radijaciona apsorbovana doza). Toj jedinici apsorbovane doze ime je dao sam L. M. Grej

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

Veza nove jedinice Gy i stare rad je

$$1\text{Gy} = 100 \text{ rad}$$

Dozimetrijska veličina Kerma, K, takođe se izražava istom jedinicom Gy. Kerma je količnik dE_{tr} i dm, gdje je dE_{tr} suma inicijalnih kinetičkih energija svih naelektrisanih čestica oslobođenih od strane jonizujućih čestica, tj. interakcijama nenaelektrisanih čestica (protoni, neutroni) u elementu zapremine određenog materijala mase dm, a (ICRU, 33)

Kerma je očekivana vrijednost prenesene energije na naelektrisane čestice po jedinici mase, u tački od interesa, ali uključujući energiju koja je prešla sa jedne naelektrisane čestice na drugu.

Britanski fizičar i radijacioni biolog Louis Hnold Gray (Luis Harold Grej) rođen je 1905.g., u skromnoj porodici. Bio je jedinac i odrastao je u Londonu. Otac ga je forsirao da se bavi prirodnim naukama dok ga je majka učila kućnim poslovima kao npr. šivanju i tapaciranju. U školi je Grej bio vrijedan, zainteresovan i izvrstan učenik. Sa 18 godina Grej se počeo zauzimati za nuklearnu fiziku. U to doba tim naučnim područjem bavio se čuveni Ernest Rutherford na univerzitetu Cambridge. Stoga se Grej veoma obradovao stipendiji koju je primio od Trinity College iz Cambridge. Tamo je završio studije kao najbolji student generacije u fizici, matematici i hemiji. Sa takvim osobinama primljen je u Cavendish Laboratory u Cambridge-u. Tu je Grej ispitivao uticaj raznih vrsta zračenja na materiju. Odbranio je doktorsku disertaciju o apsorpciji gama zračenja velike energije pod mentorstvom čuvenog Raderforda i u vrijeme kad je ta laboratorija bila svijetski centar za fundamentalna istraživanja u nuklearnoj fizici.

U to vrijeme Grej je upoznao jednu slijepu studenticu teologije sa kojom se kasnije oženio. Pod njenim utjecajem Grej se angažirao kao amterski propovjednik i dosta se bavio socijalnim stvarima. Pored svojih čisto naučnih zadataka Grej se bavio humanim radom za dobrobit čovječanstva. Da bi ispunio taj zadatak napustio je Cambridge i preselio se u London gdje je za redom radio u dvije radiološke bolnice.

Tu je Grej postavio osnove za radiobiologiju. Ispitivao je uticaj jonizujućeg zračenja na živu materiju. Stečenja znanja koristio je u borbi protiv raka i tumora. Težio je tome da odredi vrijednost jačine apsorbovane doze kojom bi označene bolesne ćelije odumrle, a zdrave ćelije koje su graničile sa njima ostale neoštećene.

Svoju pažnju je usmjerio ka medicinskoj fizici i radiologiji. U njegovo vrijeme nuklearna fizika je bila u početnim fazama razvoja. Praktična primjena znanja iz nuklearne fizike nije bila vidljiva. Godine 1936 dogradio je tkz. Breg-Grejov princip. Temelje tog principa postavio je W.H. Bragg 1912 god. Princip se odnosi na određivanje apsorbovanih doza pomoću jonizacione komore sa šupljinom (Carity hamber). Breg-Grej-ov princip se može izraziti ovako:
„Šupljina unutar jednog bloka ne utiče na distribuciju elektrona (dakle i apsorbovanje energije fotona) ukoliko su njene linearne dimenzije relativno male u odnosu na domet elektrona u tome gasu“ .

Odnos energija koje jedan elektron predaje masi bloka Eb, subscipt b-blok) i masi gasa Eg (subscipt g-gas) jednaka je odnosu zaustavnih moći tih sredina.
Grej je bio zainteresovan za biološke efekte koji nastaju djelovanjem neutrona. Uvidio je da za istraživanja potrebni snažni izvori neutrona on je zajedno sa kolegom John Readom (Džon Rid) i tehničarem J.G.Wyortt-om konstruisao generator neutrona u Mount Vernon (Maunt Vernon) bolnici u kojoj je radio kao zdravstveni fizičar sve do 1933.god.

Radeći sa tim generatorom neutrona Grej se svojim saradnicima dali su važan doprinos razumjevanju RBE, relativne biološke efikasnosti otkrivajući da ona ovisi o dozi, jačini doze i stepenu biološkog oštećenja.

U radu objavljenom 1940.god. Grej i Red su koristili svoju definiciju energijske jedinice. „Količina neutronske radijacije koja proizvodi uvećanje energije u jediničnoj

zapremini tkiva jednaka je uvećanju energije koja je proizvedena u jediničnoj zapremini vode djelenjem zračenja od vrijednosti 1R (rentgena) “.

Poslije drugog svjetskog rata Grej se pridružio novoizgrađenoj radioterapeutskoj istraživačkoj jedinici kod Hammersmith-a. Tamo je izgrađen ciklotron za radiobiološka istraživanja i proizvodnju radioizotopa. Kao zamjenik direktora institucije on je nadgledao važna istraživanja iz radiobiologije i DNA (dezoksiribonuklinska kiselina).

Nakon napuštanja Hammersmith grupe Grej je formirao laboratorij u Momut Vernon bolnici koja je bila jezgro sadašnje Grej laboratorije. Jedinica je postala poznata kao centar za radijacijsku hemiju. Istraživanja su se odnosila na ozračivanje bakterija i tumora. Grej je lično radio sa Eleonar Deschner na ispitivanju uticaja efekta kiseonika, a sa Dewey razvio je Hersch-ovu ćeliju za mjerenje kiseonika. Grej je bio podpredsjednik ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements). Međunarodna komisija za jedinice i mjerenja od 1956 do 1962.god. i pomogao je pri formiranju IARR.

On je primio brojna priznanja za svoj rad i uglednu Betner-om medalju 1964.god. Nominiran je 1961.god. za člana FRS (Frllow of the Royal Society), Kraljevsko naučno društvo. Danas posebno odjeljenje Haskins biblioteka Univerziteta u Tonesiju, Knoxville, raspolaže sa bogatom dokumentacijom dr. L. H. Greja. Radovi L. H. Greja prikupljeni su 1971.god. uz Saveznu pomoć za Arhiv radijacione biologije. Dr. Alexander Hollaender iz Nacionalne biblioteke iz Oak Ridge prikupio je kolekciju za Univerzitet u Tenesiju. Kolekcija uključuje: korespondenciju, zapisnike sa sastanaka, bilješke komisija, kongresi i simpozija, predavanja, publikacija rukopise, reprinte članke i kompleta, eksperimentalne bilješke, naučne zabilješke, biografske papire koji se odnose na Grejovu karijeru kao eminentnog engleskog fizičara i radiobiologa. Veliki dio dokumentacije odnosi se na njegove aktivnosti pri Medicinskom Istraživačkom Savjetu (1946-1965.god.), Udruženju zdravstvenih fizičara (1944-64). Komitetu za savjetovanje o radioaktivnim supstancama (1949 - 65), Britanski institut za radiologiju, (1952, - 64) Nacionanom istraživačkom savjetu SAD (1947-59) i Međunarodnoj komisiji za radiološku jedinicu (1934 - 62) i dr. U kolekciji su pisma u kojima se on dopisivao sa mnogim savremenicima, kolegama, danas poznatim naučnicima kao što su Sir James Chadwich pronalazač neutrona, ili Sir Ernest Rutherford pronalazač protona.

ICRV je raspisala konkurs za nominaciju za Grejovu medalju. Grejova medalja je ustanovjena od strane ICRU godine 1967. Ove godine nominacija je raspisana osmi put. Medalja se dodjeljuje za izvanredne doprinose kako u bazičnoj tako i u medicinskoj radijacionoj nauci koja je od interesa za ICRU, što ujedno predstavlja i odavanje počasti L. H. Greju kao članu i potpredsjedniku ICRU.

LITERATURA

[1] Hoskins Library The University of Tennessee Knoxville, Knoxville, TN, USA,
[2] Oliver Scott, „Louis Harod Gray FRS 1905 – 1965“ ICRU,News Jnne, 1997, pp 5-6
[3] I.Draganić Radioaktivni izotopi i zračenja II dio, 1968.g. Naučna knjiga, Beograd, 1981.god
[4] V.Paić - G.Paić Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja Sveučilišta u Zagrebu, 1983.god.
[5] ICRU Report 33, 1980.god. Washington D.C. USA, „Radiation quantites and units“ .
[6] Links:
http://www.graylab.ac.uk/lab/reviews/1953.html
http://www.health.gov.au/hfs/arl/irs unpl.htm
http://www.graylab.ac.uk/lab/report96/manage.html
http://educeth.ethz.ch/physik/leitprog/radio/kap3.htm
http://www.alcyone.com/max/physics/laws/g.html
http://nattie.eh.doe.gov/systems/hrad/intro

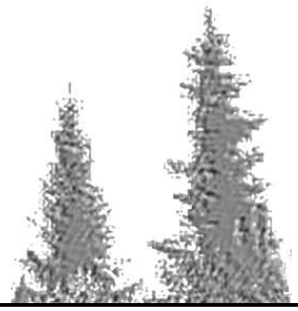
ABSTRACT

LOUIS HAROLD GRAY

I. Tomljenović, M. Baroš, M. Mitrović

15 th CGPM conference of 1975 accepted gray (Gy) as the unit of absorbed dose in honour of British physicist and radiation biologist Louis Harold Gray. This unit is a part of the SI system for units and measures. The idea of the article is to give a closer look into the life and work of this great scientist.

2



RADIOEKOLOGIJA

PRELIMINARNA PROCENA NIVOA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE OSIROMAŠENIM URANIJUMOM NAKON NATO AGRESIJE NA SRJ

S. Pavlović, R. Pavlović, S. Marković, I.Plećaš
Institut za nuklearne nauke „Vinča“

SADRŽAJ

Tokom agresije na SRJ korišćena su različita ubojna sredstva, neka od njih i po prvi put. Između ostalih, dokazana je i upotreba antitenkovske municije kalibra 30 mm sa kinetičkim penetratorom od osiromašenog uranijuma. Već u toku rata počele su kontrole radioaktivne kontaminacije na industrijskim objektima jer je postojala sumnja da se osiromašeni uranijum koristi i u krstarećim raketama kako je indikovano u pojedinim izveštajima sa interneta. Sem toga u ovom periodu intenzivirana je kontrola radioaktivnosti životnih namirnica, vode za piće i predmeta opšte upotrebe. U radu je prikazan pregled dobijenih rezultata. Upotreba municije od osiromašenog uranijuma može trajno da kontaminira životnu sredinu i tako da ima i posledice po stanovništvo. Međutim, razvijene su tehnike za dekontaminaciju terena, koje su sve manje ili više složene i skupe, a kojima bi se teren mogao učiniti bezbednim po život i zdravlje ljudi. U radu su diskutovane metode i mogućnosti takvih tehnika.

UVOD

Uranijum, radioaktivni element, je srebrno beli metal kada je u svom čistom obliku. To je težak metal, približno dva puta gušći od olova (19 g/cm^3 u poređenju sa 11,4 g/cm^3).

Osiromašeni uranijum je nusprodukt (odnosno radioaktivni otpadni materijal) nuklearnog gorivog ciklusa koji nastaje u procesu proizvodnje goriva izotopskim obogaćenjem [1]. Uranijum je hemijski elemenat koji se u prirodi javlja u izotopskom sastavu ^{238}U (99,275%), ^{235}U (0,720%) i ^{234}U (0,0054%) [2]. Uranijum u kome je sadržaj ^{235}U manji nego u prirodnom smatra se osiromašenim uranijumom [3]. Prema amerčkim vojnim standardima [4] u vojnoj industriji koristi se uranijum čiji je sadržaj ^{235}U manji od 0,3%. Zbog svoje visoke gustine uranijum je našao široku primenu u oblastima zaštite od zračenja, avio industriji i dr. Međutim, imajući u vidu kako gustinu tako i osobine kao što su radioaktivnost, pirofornost, cenu i toksičnost, planeri američke vojske su osiromašeni uranijum smatrali materijalom izbora za vojnu industriju u odnosu na druge opcije [4].

Oružje na bazi osiromašenog uranijuma razvija se poslednjih 20 godina, a do sada je primenjeno u Zalivskom ratu, Republici Srpskoj i na teritoriji SRJ. U naoružanju zapadnih armija razvijano je nekoliko različitih ubojnih sredstava kalibra od 25 mm do 120 mm [5]. Sem toga koristi se i za ojačanje zidova tenkova i bornih vozila.

Izotopi uranijuma se raspadaju formirajući radioaktivni lanac raspada. Kako se taj lanac razbija prvi put pri proizvodnji metala urana a zatim drigi put pri njegovom topljenju i proizvodnji penetratora, može se pretpostaviti da se u trenutku kada je završena proizvodnja ubojnih sredstava od osiromašenog uranijuma u njima nalaze samo izotopi uranijuma.

Uran 238 se raspada (alfa, gama) u Th-234 a ovaj (beta, gama) u protaktinijum 234 koji se raspada (beta, gama) u U-234. Nakon 6 nedelja od proizvodnje može se smatrati da su prva 3 člana u nizu raspada u sekularnoj ravnoteži.

Merenjem specifične aktivnosti dobijenih uzoraka (sl.1) utvrđeno je da je specifična aktivnost U-238 jednaka 12,4 MBq/kg, što je jednako aktivnosti Th-234 i Pa-234. Na osnovu odnosa sadržaja uranovih izotopa potvrđeno je da je reč o oružju na bazi osiromašenog uranijuma. Masa penetratora (slika 1 u sredini) je 299 g.

Upoređujući propisane vrednosti granica akitvnosti (10 kBq) i specifčnih aktivnosti (10 kBq/kg) da bi se materijal koji sadrži ^{238}U smatrao radioaktivnim materijalom u smislu propisa [6] sa izmerenim vrednostima, očigledno je da je osiromašeni uranijum radioaktivni materijal u smislu međunarodnih i domaćih propisa.

Tabela 1. Karakteristike prvih članova raspada ^{238}U

Izotop	Vreme poluraspada	Zračenje	Energija (Mev)	Prinos (%)
^{238}U	4,5x 10^9god	α	4,2	75
			4,15	23
		γ	0,048	23
^{234}Th	24 dana	β	0,192	65
			0,100	35
		γ	0,092	4,0(dublet)
^{234m}Pa	1,2 min	β	2,29	98,0
			1,53	< 1
			1,25	< 1
		γ (IT)	0,39	0,13
		γ	0,817	4,0
^{234}Pa	6,75 h	β	0.53	66,0
			1,13	13.0
		γ	0.100	50.0
			0.7	24.0
			0.9	70.0
^{234}U	2,47x10^5god	α	4,77	72,0
			4.72	28.0
		γ	0.093	5.0

Imajući u vidu način korišćenja ubojnih sredstava od osiromašenog uranijuma i njegovu specifičnu aktivnost može se zaključiti da je njegova upotreba mogla proizvesti kontaminaciju životne sredine sa mogućim dugoročnim posledica po život i zdravlje ljudi.

Glavni doprinos radioaktivnosti osiromašenog uranijuma potiče od potomaka raspada U-238 i U-235. Literaturni podatak o jačini doze na kontaktu penetratora (beta+gama) je 2 mGy/h [4]. Očigledno je da postoji značajan rizik izlaganja kože i ekstremiteta u slučaju dužeg kontakta sa ostacima upotrebljene municije.

Sem toga postoji i rizik unutrašnje kontaminacije. Prilikom ispaljenja projektil se pali i oko 10% mase sagori pri letu. U slučaju udara u tvrdu metu i do 70% mase može sagoreti i preći u aerosole [4].

RADIOAKTIVNA KONTAMINACIJA ŽIVOTNE SREDINE OSIROMAŠENIM URANIJUMOM

Uranijum se javlja u prirodi u vidu brojnih čvrstih, tečnih i gasovitih jedinjenja. On se brzo jedini sa drugim elementima i formira uranijum okside, silikate, karbonate i hidrokside. Ova jedinenja mogu biti kako veoma pokretljiva (rastvorljiva) tako i relativno inertna (nerastvorna) u životnoj sredini i ljudskom telu. Nekoliko stanja utiče na formiranje ovih jedinjenja, kao što su: relativna količina kiseonika, prisustvo drugih metala legiranih uranijumom, vlažnost i kiselost sredine i "temperaturska istorija" čvrstog urana.

Imajući u vidu sve prethodno izložene osobine kao i indicije da se osiromašeni uranijum koristio i u krsterećim raketama kojima su masovno gađani civilni objekti na teritoriji SRJ još u toku rata su počele da se vrše dozimetrijske kontrole pogođenih terena.

Kako je uranijum prirodni radioaktivni element koji se nalazi i u zemljinoj kori i tako doprinosi različitoj veličini osnovnog nivoa zračenja iz prirode za svaku pojedinačnu lokaciju, bilo je potrebno odrediti pre svega vrednost fona za svaku lokaciju osetljivim instrumentom. U tu svrhu korišćena je jonizaciona komora pod pritiskom model RSS-112 (Reuter Stokes USA), čija je osetljivost 1% od prosečnog nivoa fona (1 nGy/h).

Nivo radioaktivne kontaminacije kontrolisan je kontaminacionim monitorima sa alfa/beta/gama sondama proizvodnje NI Vinča i Automess. Osetljivost ovih uređaja je reda veličine Bq/cm^2 za beta zračenje.

Merenja su vršena po standardnoj (IAEA, DOE) proceduri. Sa karakterističnih lokacija uzimani su uzorci terena ili gelera za laboratorijsku gamaspektrometrijsku analizu.

Na ovaj način izvršena je kontrola najvećeg broja objekata u SRJ i to NIS Rafinerija nafte Pančevo, HIP Petrohemija, NIS Jugopetrol Prahovo, HI Lučani, Sloboda Čačak, Zastava Kragujevac, objekti u Doljevcu i Badnjevcu, pojedini objekti VJ i MUP-a, zgrada RTS-a, palata Ušće , Kineska ambasada i dr.

Ni na jednoj od ovih lokacija nisu pronađeni tragovi korišćenja radioaktivnih ubojnih sredstava na bazi osiromašenog uranijuma. U svim uzorcima tla i građevinskog materijala izmereni su prirodni radionuklidi u svom prosečnom prirodnom sadržaju. Sem toga u uzorcima zemlje izmeren je i radioaktivni ^{137}Cs, zaostao posle Černobilskog akcidenta. Na lokaciji Kineske ambasade je izmereno blago povećanje osnovnog nivoa zračenja čiji je uzrok radioaktivnost granita ugrađenog na fasadu objekta, a čije su karakteristike bile poznate još iz vremena gradnje.

Na lokaciji Instituta „Vinča“ se kontinualno vrše merenja svih parametara radioaktivnosti životne sredine (jačina doze, doza, aktivnost aerosola, padavina, tekućih voda, tla i rastinja).

U ovom periodu sva su ova merenja intenzivirana, i nijedan parametar nije ukazao na postojanje kontaminacije terena.

Kontrolom radioaktivnosti životnih namirnica bili su obuhvaćeni sezonski polodovi voća i povrća, mleka i mleka u prahu, gljiva, žitarica, meda, izvorišta vode za piće i sl. Ni jedan uzorak nije bio kontaminiran osiromašenim uranom. Pojedine namirnice su sadržale ^{137}Cs u propisanim granicama, zaostao nakon akcidenta u Černobilu.

Slika 1. Fotografija 30 mm antitenkovskog zrna
(s leva na desno - kompletno zrno, kinetički penetrator od DU i košuljica)

Razvijene su brojne komercijalne metode zarestauraciju kontaminiranog terena. Gotovo svi ovi procesi koriste jednu ili više sledećih tehnoloških postupaka: ekskavaciju i izmeštanje zemljišta, fizičke metode sparacije, hemijske separacione procese i stabilizaciju na licu mesta. Međutime, za sada ni jedna od njih nije praktično primenjena u te svrhe i nisu proverene nnjihove mogućnosti. Ostaje da se proceni efikasnost pojedinih metoda i cena takve intervencije. Ovo posebno treba imati u vidu u kontekstu količine nastalog radioaktivnog otpadnog materijala i metoda za njegovo trajno ili privremeno odlaganje.

ZAKLJUČAK

Merenjem specifične aktivnosti dobijenih uzoraka iz životne sredine potvrđeno je da je agresor koristio radioaktivna ubojna sredstva kalibra 30 mm na lokacijama oko Prizrena i Bujanovca. Dosadašnji rezultati merenja nisu potvrdili kontaminaciju usled primene osiromašenog uranijuma u krstarećim raketama.

Poznavajući osobine i način upotrebe antitenkovske municije od 30mm na bazi osiromašenog uranijuma može se zaključiti da je njeno korišćenje na teritoriji SRJ proizvelo kontaminaciju tla koja bi mogla imati dugoročne posledice na životnu sredinu i život i zdravlje ljudi.

Po završenoj ukupnoj proceni obima i nivoa kontaminacije potrebno je proceniti optimalnu metodu dekontaminacije, koja bi smanjila rizik po zdravlje ljudi.

LITERATURA

[1] D. Popović, Osnovi nuklearne tehnike, Naučna knjiga, Beograd 1970.
[2] C.M. Lederer, Table of Isotopes, John Wiley and Sons Inc. 1978
[3] IAEA Safeguards Glossary 1987 Edition, Vienna 1987.
[4] Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium use in the US Army, Technical Report, AEPI 1994.
[5] Metal of Dishonor Depleted Uranium, International Action Center New York, 1997
[6] IAEA, International BasicSafety Standards for protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources 1996.

ABSTRACT

PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL RADIOACTIVE CONTAMINATION LEVELS BY DEPLETED URANIUM AFTER NATO AGGRESSION ON FR YUGOSLAVIA

S. Pavlović, R. Pavlović, S. Marković, I. Plećaš
The Institute of Nuclear Sciences VINČA

During NATO aggression on FRY various ammunition have been used, some of them for the first time. Among others, 30 mm bullets with depleted uranium penetrators. have been used. Radioactivity contamination surveys have started during the war due to Internet indications that DU is used in cruise missals. Besides that, there were a lot of radioactivity analysis of food, drinking water etc. Obtained results are presented in this paper. Depleted uranium ammunition can permanently contaminate environment and so produce effects on population. Some decontamination methods are developed and discussed in this paper.

KONTROLA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE NA LOKALITETIMA PO KOJIMA SU DEJSTVOVALE NATO SNAGE

G. Kolarević, Z. Ivković
Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu, Beograd

SADRŽAJ

U toku NATO udara na teritoriju SRJ, ekipa Zavoda za preventivnu medicinsku zapštitu Beograd, se uključila u kontrolu nivoa radioaktivne kontaminacije na nekim od pogođenih lokaliteta, sa aparaturom koju smo posedovali i u saradnji sa drugim ustanovama (VMA i INN „Vinča"). U radu je izneta metodologija rada ekipe, do koje smo sami vremenom-novostečenim iskustvom, dolazili i aparatura koju smo koristili. Lokaliteti koje smo kontrolisali gađani su projektilima velike razorne moći, a detektovane doze i aktivnosti kretale su se u granicama prirodnog fona.

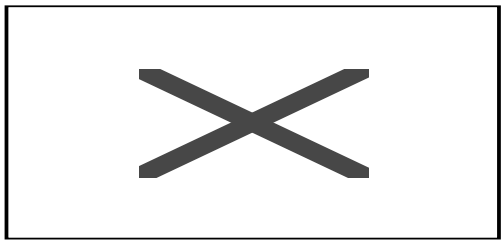
UVOD

U mirnodopskim uslovima Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu-Beograd, kao jednu od delatnosti, vrši dozimetrijsku kontrolu svih vrsta izvora jonizujučih zračenja (prevashodno onih koji se koriste u medicini). Međutim, u toku vazdušnih napada NATO snaga na teritoriju SR Jugoslavije (24.03.-09.06.1999. godine) oformljena je ekipa koja se uključila u kontrolu nivoa radioaktivne kontaminacije na lokalitetima po kojima je NATO dejstvovao. Tim je po pozivu izlazio na teren i sa opremom i ljudstvom koje poseduje vršio kontrolu radioaktivne kontaminacije.

APARATURA KOJA JE KORIŠĆENA

Po ranijim saznanjima, očekivali smo da detektujemo „osiromašeni" uranijum i sve njegove potomke u protivoklopnim granatama API PGU-14/B sa uranijumskim jezgrom (kalibra 30 mm, mase 0.275 kg, v_0=1066 m/s) ispaljenih iz 7-cevnog topa GAU-8/A, aviona A-10 Thunderbolt II ili eventualno u pojedinim raketama vazduh-oklop, jer zbog svoje velike gustine (mase) povećava ukupnu energiju zrna, koje sigurno probija sve do sada poznate oklope - 70 mm na 500 m (u određenim uslovima je i pirogen). Za reaktore koji kao nuklearno gorivo koriste „obogaćeni" uranijum, ^{235}U se u glomaznim i kompleksnim gasno difuzionim postrojenjima podiže na 2-3% a ujedno se dobija "osiromašeni" sa manje od 0.5% ^{235}U koji je svoju primenu našao i u industriji naoružanja. Gustina urana je 19.0 gr/cm^3 (olova 11.3 gr/cm^3, gvožđa 7.8 gr/cm^3).

Uranijumska ruda (prirodni uran) sadrži:
0.01% ^{234}U ($T_{1/2}=2.5\cdot10^5$ godina,
$E_\alpha=4.8$ MeV i $E_\gamma=0.12$ MeV),
0.72% ^{235}U ($T_{1/2}=7.2\cdot10^8$ godina,
$E_\alpha=4.4$ MeV i $E_\gamma=0.18$ MeV) i
99.27% ^{238}U ($T_{1/2}=4.49\cdot10^9$ godina,
$E_\alpha=4.2$ MeV i $E_\gamma=0.05$ MeV).

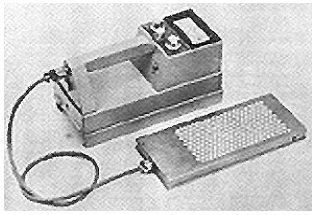


Slika 1. A-10 Thunderbolt II - "Warthog"

Na osnovu tih očekivanja, od aparata koje smo posedovali, napravili smo sledeći izbor detektora i dozimerata jonizujućih zračenja koje smo koristili za terenska ispitivanja i rad u laboratoriji:

Alpha Survey Meter Model 2672 ("Nuclear-Chicago"-USA), je prenosni detektor alfa zračenja svih energija. Koristi se između ostalog i za kontrolu kontaminacije. Sastoji se od brojačkog dela i alfa sonde sa tankim vazduh proporcionalnim prozorom. Poseduje kalibracioni uranium-oksid izvor za proveru aparata. Karakteristike aparata:

– opsezi: 0-150, 450, 1500, 4500, 15000, 45000 i 150000 imp/min,
– greška: ± 10% od pune skale na svakom opsegu,
– tip detektora: vazduh proporcionalan sa cilindrično uvećavajućom katodnom sekcijom. 100 cm^2 površinom prozora, sa zaštitnom rešetkom i aluminijumski prozor debljine 0.9 mg/cm^2,
– efikasnost: oko 12% za alfa čestice uranijum oksida (za 2π geometriju),
– efikasnost detekcije beta i gama čestica: maksimum 0.1%,
– radni napon: oko +1900 V, Ó napajanje: 4 x 1.5 V (R20).



Alpha Survey Meter

495 Frisker Bench Top Monitor ("Victoreen"-USA), namenjen je za kontrolu kontaminiranih površina ali može služiti i za stalni prostorni monitoring. Poseduje audio brojač impulsa kao i audio-vizuelni alarm. Karakteristike aparata:

– vrste jonizujućih zračenja koje se mogu detektovati: alfa, beta, gama i X-zraci u zavisnosti od sonde koja se koristi,
– radni opsezi: 0-500, 5000, 50000 i 500000 imp/min u 4 linearna opsega,
– greška: manja od 5% pune skale,
– vreme očitavanja: 90% konačnog očitavanja je za 12 sec na opsegu 500 imp/min, 3 sec na 5000 imp/min i 1 sec na dva najveća opsega,
– izvor napajanja: 50 ili 60 Hz, ~220 V,
– dimenzije aparata i masa: 15.5 x 23.2 x 21.4 cm, 6.8 kg.

Za navedeni aparat posedujemo 3 sonde: 489-35, 489-110, 489-50.

Praskač GMM 78 ("Jožef Stefan"-Ljubljana), je lični prenosni detektor beta i gama zračenja. Koristi se za stalni prostorni monitoring i kontrolu kontaminiranih površina. Poseduje audio brojač impulsa. Napajanje: 9 V.

Monitor zračenja KOMO-TM (INN "Vinča"), je "fonski" prenosni uređaj za detekciju i dozimetriju beta i gama zračenja. Halogena spoljašnja GM sonda 18506 sa skinutim prozorom detektuje beta i gama zračenje. Ima tri linearna merna opsega i jedan strujni opseg. Poseduje i akustičku kontrolu broja impulsa. Druga (interna) GM-1 sonda koristi se za veće doze.Karakteristike aparata:

– opsezi: 0-10 imp/sec (0-2 μGy/h); 0-100 imp/sec (0-20 μGy/h); 0-1000 imp/sec (0-200 μGy/h) i strujni: 0-10 (0-8.8 mGy/h), 0-100 (0-88 mGy/h) i 0-1000 (0-0.88 Gy/h),

– debljina prozora je 3 mg/cm^2 a koristan prečnik prozora je 27.6 cm,
– linearnost: bolja od 10%,
– napajanje: 2 x 1.5 V (R20), Ó dimenzije i masa: 300 x 140 x 150 mm, 3.3 kg.

Merač radioaktivne kontaminacije MRK-M87 ("Rudi Čajavec"-Banja Luka), namenjen je za otkrivanje i merenje stepena radioaktivne kontaminacije kao i merenje jačina apsorbovanih doza u vazduhu. Poseduje dve GM sonde (jedna detektuje samo gama zračenje a druga integralno beta i gama). Izmerene doze se očitavaju na digitalnom displeju uz zvučnu signalizaciju.

– "fonski" je i meri doze od 0.04 μGy/h do 10 mGy/h sa greškom manjom od ±20%,
– vreme odziva merača je 100 sec za doze manje od 45 μGy/h, a 4 sec za veće doze,
– dimenzije i masa: 178 x 75 x 47 mm, 1 kg,
– napajanje: 4 x 1.5 V (R6).

Radiometrijska Laboratorija LARA-2 (INN "Vinča"), namenjena je za brzo merenje specifične aktivnosti materijala kontaminiranih fisionim produktima (kontaminiranih beta aktivnim materijalima) metodom debelog uzorka. Karakteristike aparata:

– specifična aktivnost uzoraka: min. 10^{-1} μCi/kg (3700 Bq/kg), maks. $3 \cdot 10^3$ μCi/kg (110 MBq/kg)
– detektor: halogeni GM brojač 18536 u olovnom kućištu,
debljina prozora sa filtrom-oko 4 mg/cm^2,
osnovni fon u oklopu-manji od 0.2 imp/sec,
masa sa oklopom-20 kg.
– skaler sa tajmerom SVIT-10, namenjen je da registruje broj impulsa iz GM brojača
kapacitet: 6 cifara sa poluprovodničkim indikatorima,
vreme merenja: a) ručno, po izboru i b) 10-100-1000 sec,
napon brojača: 550 V (100 μA), napajanje: 12 V ili ~220 V, masa: 4 kg.

Lične TL dozimetre C_aF_2:Mn ("Jožef Stefan"-Ljubljana) - nosili su svi članovi ekipe u nivou grudi.

METODOLOGIJA RADA

Ekipu koja je vršila terenska merenja i laboratorijske analize, sačinjavali su: *fizičar-dozimetrista*, nosio je KOMO-TM, tako što je sondu (sa skinutim prozorom) držao što bliže površini tla koje se ispituje. Posebna pažnja pri pretraživanju obraćala se mestima samog pada projektila. Isti postupak je ponavljao i sa monitorom alfa zračenja Nuclear-Chicago model 2672. U džepu u nivou kolena nosio je lični prenosni monitor Praskač GMM 78, *radiološki tehničar-preparator*, rukovao je MRK-om M87 i na površini tla merio jačine apsorbovanih doza a priborom za uzimanje uzoraka, uzorkovao materijal sa mesta eksplozije (kratera,…) i *lekar specijalista medicine rada*-procenjivao je radiološko-biološke i ekološke efekte bombardovanja.

Uzorkovani materijal je zatim pregledan Frisker-om i LARA-om. Pošto LARA meri specifične aktivnosti iznad 3700 Bq/kg, uzorke sa terena smo nosili i na gamaspektrometrijsku analizu u: Vojnomedicinsku akademiju (ZPM Institut za medicinu rada-„Odeljenje za radiološku zaštitu“) ili INN „Vinča“ (Laboratorija „Zaštita“).

REZULTATI ISPITIVANJA

U toku rata i neposredno po njegovom okončanju, ekipa Zavoda je obišla 32 gađana lokaliteta na teritoriji 9 gradova u užoj Srbiji i Vojvodini i dobila uzorke iz još 6

gradova iz cele SRJ. Na pojedine lokalitete smo izlazili i po nekoliko puta u toku rata jer su gađani u više navrata.

Ukupno je urađena 81 gamaspektrometrijska analiza uzoraka zemljišta, građevinskog materijala, delova NATO projektila, …

Izmerene jačine apsorbovanih doza, na svim lokaliteteima, kretale su se u intervalu 0.08-0.13 μGy/h, što znači da su u granicama prirodnog fona.

Detektorima jonizujućih zračenja, nije konstatovana aktivnost uzetih uzoraka veća od backgraund-a. Gamaspektrometrijskim analizama svih uzoraka, nije nađeno prisustvo prirodnih radionuklida iznad prosečnih prirodnih nivoa kao ni veštačkih radionuklida. U ispitivanim uzorcima nisu postojali tragovi kontaminacije kao ni indicije za povećan sadržaj ^{238}U.

Tabela 1. Aktivnost (Bq/kg)

Uzorak	Radijum-226	Torijum-232	Kalijum-40
1. Zemlja iz kratera I	17 ± 2	46 ± 5	485 ± 49
2. Zemlja iz kratera II	14 ± 1	30 ± 3	366 ± 37
3. Zemlja iz kratera III	14 ± 2	29 ± 5	344 ± 35
4.Građevinski materijal	15 ± 5	15 ± 1	244 ± 11

Za svaki kontrolisani lokalitet (zajedno sa izveštajima urađene gamaspektrometrijske analize), slali smo pismeni izveštaj gađanoj jedinici-ustanovi, o rezultatima urađenih analiza.

Svi lokaliteti na kojima smo radili proveru nivoa radioaktivne kontaminacije, bili su pogođeni projektilima velike razorne moći, kao što su:

GBU-15 -TV/IC vođena avio bomba, 240 ili 428 kg eksploziva tritonal,

GBU-27 -laserski vođena, 240 kg klasičnog eksploziva, greška na cilju 1 m^2, lansira se sa F-117,

GBU-29 -sa Global Position Sist. i Inertial Navig. Sis., 115-225 kg eksploziva, greška na cilju 13 m,

AGM-88 HARM -antiradarski projektil, 20 kg PBXC-116 eksploziva,

AGM-130A -TV/IC, 240 ili 428 kg eksploziva tritonal,

Tomahawk -krstareći projektil sa 320-455 kg konvencionalnog eksploziva u bojevoj glavi ili sa 166 kom. kasetnih bombi BLU-97/B.

Ni na jednom od kontrolisanih lokaliteta nismo imali dejstvo NATO avijacije protivoklopnim granatama API PGU-14/B kalibra 30 mm sa jezgrom od „osiromašenog“ uranijuma (Ù A-10), mada ih je bilo na pojedinim lokalitetima na Kosovu.

Tokom navedenih provera, nailazili smo na razne vrste izvora jonizujućih zračenja, od očekivanih – jonizujućih detektora dima, radioaktivnih gromobrana, … pa do krajnje neočekivanih ….

PRATEĆA OPREMA

Pošto smo radili na porušenim i oštećenim objektima a i u cilju zaštite od spoljašnjih meteo faktora, svi članovi ekipe su nosili zaštitne uniforme i kožne čizme sa povišenom sarom. Radi eventualne zaštite organa za disanje od radioizotopa, bojnih otrova i bioloških agenasa, posedovali smo i zaštitne maske. Opremu koju smo nosili sa sobom, sačinjavali su još i: zaštitna olovna kecelja (0.5 mm Pb) i rukavice (0.5 mm Pb), hvataljke,

olovni kontejner i kontrolni radioaktivni izvor (^{90}Sr), hiruške gumene rukavice, baterijske lampe, rezervne baterije za aparate, zaštitni gumeni kombinezon, lični pribor za dekontaminaciju i pribor za uzorkovanje (pvc kese, široka seloteip traka, vodootporni flomaster, hemijski čiste boce, lopatica i platnena vreća za transport uzorkovanog meterijala).

ZAKLJUČAK

Sa aparaturom i ljudstvom koje smo imali na raspolaganju, vršili smo proveru nivoa radioaktivne kontaminacije na pojedinim lokalitetima po kojima su dejstvovale NATO snage. Sva urađena ispitivanja ukazuju da na kontrolisanim lokalitetima nije bilo dejstava ubojnim sredstvima koja u sebi sadrže radioizotope. Jedan od ciljeva ovog rada je da se i drugi upoznaju sa aparaturom i primenjenom metodologijom i naša iskustva eventualno iskoriste u sličnim situacijama.

LITERATURA

[1] Product Catalog (Victoreen 1997.)
[2] Instruction Manual for Alpha Survey Meter Model 2672 (Nuclear- Chicago Corp.)
[3] Instrumentacija za detekciju i merenje radioaktivnog zračenja (INN 'Vinča'-Lab. za elektroniku)
[4] Merač Radioaktivne Kontaminacije M87-Pravilo
[5] Pravilo za rad sa rediometrijskom laboratorijom LARA-2

ABSTRACT

RADIOACTIV CONTAMINATION CONTROL OF SOME LOCATIONS ATTACKED BY NATO FORCE

G. Kolarevic, Z. Ivković
Institution of Preventiv Medical Care, Belgrade

In the course of NATO strokes on Yugoslavia, team of ZPMZ Belgrade was included in level control of radio-active contamination on some of hit location, with owning units and in co-operation with the other institutions (VMA and INN "Vinca"). In this paper we present the basic features of work methodology and list of units we used. Locations that we controled was shooted with projectiles of big destructive power, and detected doses was on level of natural background.

RADIJACIONA SITUACIJA NA TERITIORIJI KRAGUJEVCA U TOKU NATO- AGRESIJE

D.Nikezić, D. Krstić, M. Kovačević, D. Kostić i S. Savović
Prirodno matematički fakultet, Istitut za fiziku, Kragujevac

SADRŽAJ

Za vreme bombardovanja naše zemlje obavljeno je više različitih merenja sa ciljem otkrivanja povećanih nivoa zračenja. Dobijeni rezultati upućuju na zaključak da na teritoriji Kragujevca nisu korišćene bombe sa uranijumskim punjenjem.

UVOD

U toku bombardovanja naše zemlje od strane NATO pakta, bilo je dosta glasina i navodnih vesti o korišćenju municije i bombi sa osiromašenim uranijumom. Na Institutu za fiziku, Prirodno matematičkog fakulteta u Kragujevcu organizovano je više vrsta merenja za koja je Institut opremljen, u cilju otkrivanja povećanih nivoa zračenja. U tom periodu obavljana su sledeća merenja: merenje ekspozicione doze na mestima pada bombi; gama spektroskopska analiza uzoraka gelera i delova bombi, kao i analiza uzoraka tla i hrane sa terena i analiza uzoraka vazduha. Nisu dobijeni rezultati koji bi upućivali na korišćenje uranijumskih punjenja na teritoriji Kragujevca i okoline.

NEKE OSOBINE OSIROMAŠENOG URANIJUMA

Uranijum je teški obojeni metal, svuda prisutan u prirodi i radioaktivan. Male količine su prisutne u stenama i tlu. Takođe je prisutan u vodi i hrani i ljudi ga svakodnevno unose u organizam putem hrane. Prirodni uranijum se sastoji od tri različita izotopa ^{238}U, ^{235}U i ^{234}U koji učestvuju sa 99.2745%, 0.72% i 0.0055% respektivno. Svi izotopi urana su radioaktivni. U obogaćenoj formi (povećan sadržaj fisibilnog ^{235}U) uranijum se koristi u nuklearnim elektranama i nuklearnom oružju. Kao nusprodukt procesa obogaćivanja dobija se osiromašeni uranijum, DU, (depleted uranium). U procesu izvlačenja ^{235}U iz prirodnog, njegova koncentracija se smanjuje sa 0.7 na 0.2%. Osiromašeni uranijum je ustvari ^{238}U koji ima veoma veliko vreme poluraspada ($4.5 \cdot 10^9$ godina). On je oko 40% manje radioaktivan nego prirodni uranijum. Njegova specifična aktivnost je 14.8 kBq/g, pa se klasifikuje kao nisko radioaktivni materijal. Komercijalno se koristi u medicini, avijaciji i vojnoj industriji. U vojnoj industriji se koristi kao oklopna zaštita i za punjenja u municiji za probijanje oklopa. Pogodnost urana za ove namene sledi iz njegove velike gustine koja je oko 70% veća od gustine olova. Iz raspoložive literature nadjeno je da se koristi municija

sa 235 g kao i bombe sa oko 3 kg osiromašnog uranijuma. Uranijumsku municiju koriste SAD, Francuska, Engleska i Rusija.

Korišćenje DU u vojne svrhe može dovesti do štetnih zdravstvenih efekata, kako toksičnih tako i radioloških. Teški metali, kao što su uranijum, olovo, tungsten i drugi su toksični za ljude i životinje. Zbog svoje male radioaktivnosti postoji potencijalni zdravstveni rizik od internog ili spoljašnjeg ozračivanja. Prirodni i obogaćeni uranijum su mnogo više radioaktivni od DU pa samim tim prouzrokuju mnogo veći radiološki efekat. Hemijski toksični efekti su identični za prirodni, obogaćeni i osiromašeni uranijum.

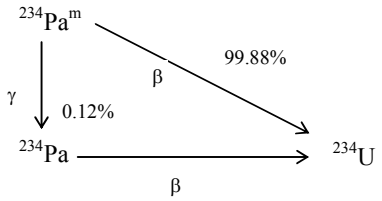
Prilikom korišćenja u vojne svrhe osiromašeni uranijum može biti ugrađen u oklop bombe ili kao njeno punjenje. Eksplozijom bombe deo uranijuma se zapali i raspršì u sitne čestice koje se vezuju za aerosole vazduha. Na visokoj temperaturi uranijum oksidiše u U_3O_8, UO_2 i UO_3. Koji deo uranijuma se zapali i predje u formu aerosola, a koji ne, nije poznato i verovatno se menja od slučaja do slučaja.

Uranijum ^{238}U je početni član uranijumove serije. U Tabeli 1 data su prva četiri člana njegovog niza, koja su bitna za dalje razmatranje, energije emitovanih γ kvanata sa odgovarajućim verovatnoćama, i odgovarajuće Γ_γ konstante [1].

Tabela 1. Osobine prvih članova radioaktivnog niza ^{238}U
(*date su samo neke od najintenzivnijih gama linija)

Izotop	tip	$T_{1/2}$	E_γ (KeV)	verovatnoća (%)	Γ_γ (C m^2/s kg Bq)
^{238}U	α	$4.5\cdot10^9$ g	-	-	-
^{234}Th	β	24.1 dan	92.8 92.4 63.28	3.34 3.38 5.7	$1.12\cdot10^{-20}$
$^{234}Pa^m$	β	1.18 min	1001	0.6	$1.14\cdot10^{-20}$
^{234}Pa (0.12 %)	β	6.7 h	949 946.1	8 12	$1.98\cdot10^{-18}$
^{234}U	α	$2.44\cdot10^5$ g	120.9 53.3	0.233 0.681	$0.23\cdot10^{-20}$

Raspadom jezgra ^{234}Th formira se $^{234}Pa^m$ u pobudjenom, metastabilnom stanju. Raspad ovog stanja može ići beta emisijom direktno u ^{234}U (sa verovatnoćom od 99.88 %) ili deekscitacijom jezgra preko ^{234}Pa (u 0.12 % slučajeva), slika 1.



Slika 1. Šema raspada $^{234}Pa^m$

MOGUĆNOST DETEKCIJE OSIROMAŠENOG URANIJUMA

Iz gore iznetih podataka vidi se da su ^{238}U i njegovi potomci slabi gama emiteri. Prvo pitanje je može li doći do povećanja jačine ekspozicione doze na mestu pada bombi.

Proračun ekspozicione doze

Izračunata je jačina ekspozicione doze od bombe koja nosi 3 kg uranijuma, pod pretpostavkom da se radioaktivnost raspršiна malom prostoru reda 2 m oko mesta eksplozije. Bomba koja nosi 3 kg osiromašenog uranijuma ima ukupnu aktivnost 37 MBq. Ako se ova aktivnost rasporedi uniformno na disku poluprečnika 1 m onda je površinska aktivnost 11.8 MBq/m^2. Jačina ekspozicione doze na visini od 1 m je 0.64 pC/kg·s odnosno 9 μR/h, a na visini od 10 cm doza iznosi 4,28 pC/kg·s (60 μR/h). Ako se radioaktivni materijal raspršiна površinu diska poluprečnika 5 m, onda je doza na 10 cm visine 1,7 μR/h, a na 1 cm visine doza je 6,4 μR/h.Ovi rezultati ukazuju da je moguće otkrivanje povećanja jačine ekspozicione doze na mestima pada bombi.

Gama spektrometrija

Iz tabele 1 vidi se da čist ^{238}U ne emituje gama zračenje. Prvi uranijumov potomak ^{234}Th jeste gama emiter i emituje više grupa gama kvanata. U spektru je najintenzivnija linija na 63 keV, ali samo sa 5.7 %. Ovako slabe linije moguće je otkriti sa dobrom zaštitom, korišćenjem velikog uzorka i dužim merenjem. Da bi se proverilo da li moguće videti ovu liniju u spektru na raspoloživom spektrometru, izmeren je komad rude uranijuma. U spektru rude uranijuma je jasno opažena linija na 63 keV što potvrđuje da je ovako bilo moguće otkriti prisustvo osiromašenog uraijuma u komadima bombi i gelera.

Analiza uzoraka vazduha

Propuštajući vazduh preko nekog nepokretnog filtra dolazi do zadržavanja prirodnih aerosola na filtru. Nakon toga moguće je merenje radioaktivnosti zadržane na filtru. Može se meriti alfa, beta ili gama zračenje sa filtra. Kako je radioaktivna kontaminacija vazduha najvećim delom uslovljena kratkoživećim radonovim potomcima koji se raspadnu za oko 3 sata, onda bi pojava neke radioaktivnosti nakon ovog perioda mogla da sugeriše radioaktivnu kontaminaciju drugačijeg porekla. Toronovi potomci koji su takodje u manjoj meri prisutni u vazduhu se raspadaju sa dužim vremenom poluraspada od oko 10 sati. Ukoliko je aktivnost na filtru značajna nakon 3 sata od prekida propuštanja to može da znači da u vazduhu postoje i toronovi potomci. Onda je potrebno pratiti opadanje ove aktivnosti sa vremenom, i ako ona opada sa poluvremenom različitim od 10 sati onda je prisutna dodatna radioaktivnost u vazduhu.

REZULTATI MERENJA I RADA

U toku Nato agresije merena je jačina ekspozicione doze na većini lokacija u Kragujevcu i okolini na kojima su pale bombe. Doza je merena na 1 m visine, i tik uz tle kratera. Ni u jednom slučaju nije nadjeno povećanje ekspozicione doze. Pored toga jačina ekspozicione doze je kontrolisana svakodnevno na jednoj lokaciji u gradu i nije primećeno nikakvo povećanje u tom periodu. Jačina doze je merena kontaktno uz neke od neeksplodiranih bombi i nije otkriveno da su one radioaktivne. Uranijumsko punjenje u ovim bombama bi sigurno dovelo do merljivog efekta.

Pored merenja doze obavljena je gama spektroskopska analiza većeg broja raspoloživih uzoraka delova bombi i raznih gelera. Nije nadjeno pik na 63 keV u spektrima

ovih uzoraka. Pored samih delova bombi kontrolisani su i uzorci tla iz kratera bombi i iz neposredne blizine. Ni u ovim uzorcima nije nadjen povećan odbroj na kanalu 63 keV što bi upućivalo na postojanje osiromašenog uranijuma.Uzorak vazduha je uzet neposredno nakon eksplozije bombe na rastojanju od oko 500 m. Propuštanje vazduha je trajalo 10 minuta i nakon toga merena je beta aktivnost sa filtra. Aktivnost je opala na nulu za oko 3 sata što je upućivalo na postojanje samo radonovih potomaka u atmosferi.

ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih razmatranja i rezultata koji su ovde dati samo kvalitativno, zaključujemo da nisu nadjeni uzorci bombi u kojima je korišćen osiromašeni uranijum na teritoriji Kragujevca i okoline. Ovo ne znači da takve bombe nisu korišćene na drugim lokacijama. Situacija u drugim regionima nije poznata. Napominjemo da Institut nije opremljen za alfa spektroskopiju te su takva merenja izostala.U radijacionom pogledu smatramo da osiromašeni uranijum ne predstavlja neki značajan ekološki problem niti opasnost po stanovništvo. Podsetimo se da su značajne količine uranijuma prosipane na našu zemlju preko veštačkih djubriva i to u dužem vremenskom periodu.

Na šta treba obratiti pažnju

Kako se municija sa oriromašenim uranijumom koristi za probijanje oklopa trebalo bi obrati pažnju na ljudstvo koje je bilo u oklopnim vozilima u trenutku pogadjanja. Prema američkim izvorima identifikovano je oko 20 vojnika koji su u Zalivskom ratu bili u tenkovima pogodjenim tzv. "prijateljskom vatrom", a koji su kontaminirani osiromašenim uranijumom. Do unutrašnje kontaminacije uranijumom došlo tako što su čestice uranijuma prodrle u telo prilikom povredjivanja vojnika. Ovo osoblje je podvrgnuto posebnom medicinskom tretmanu i praćenju. Prati se izlučivanje uranijuma preko urina. Nemamo informacije da li mi imamo vojnike koji su kontaminirani osiromašenim uranijumom ili ne, te na ovaj način skrećemo pažnju javnosti na ovaj mogući realni problem.

LITERATURA

[1] Gusev N.G., Dmitriev P.P. Kvantno zračenje radioaktivnih nuklida. Spravočnik. Atomizdat, Moskva 1977

ABSTRACT

In this report some results on the environmental radiation in Kragujevac area, during NATO aggresion are given. We did not find any increase of radiation level during the spring 1999.

»GRAFITNA« VLAKNA 1999

M. Srećković, N. Rajaković, N. Cvetković,
N. Ivanović[1], D. Živković[2], P. Jovanić,[3] D. Obradović
Elektrotehnički fakultet, Beograd
[1]Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Beograd
[2]VMA, Beograd
[3]IHNS, Beograd

SADRŽAJ

U radu se razmatraju osobine tzv. „grafitnih” (ustvari staklo–aluminijum) vlakana i posledice njihovih dejstava na elektro–energetski sistem i postrojenja. To je poslednjih meseci bila veoma aktuelna problematika, počevši od oblasti elektroenergetike i osvetljenja, do mnogobrojnih uzgrednih, bez kojih se ne može zamisliti normalan život u savremenoj civilizaciji. Posebna grupa ispitivanih pojava nastupa kao posledica havarija, visokih prenapona, pražnjenja i isključenja, što predstavlja opasnost za sve elektroenergetske uređaje i u mirnim vremenima. U radu je dato viđenje osobina ovih vlakana sa gledišta optičke mikroskopije i optike, i diskusija o mogućnostima nekih drugih prilaza. Analizirane su potencijalne opasnosti po zdravlje koje mogu nastupiti od samih vlakana, kao i od njihovog dejstva na elektro–energetski sistem. Dobijeni rezultati ukazuju samo na neke aspekate kojima treba da se posveti pažnja pri rešavanju problema zaštite od ovih materijala.

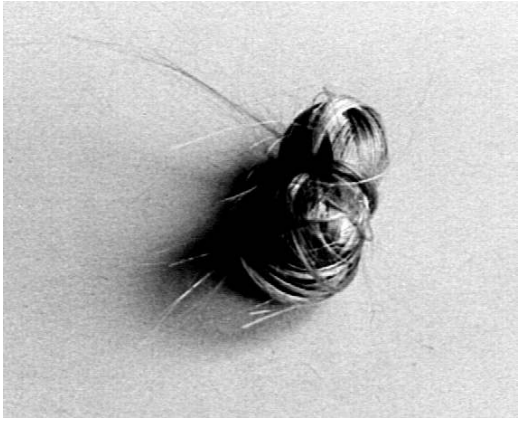
UVOD

Vlaknasti materijali, posebno višeslojni, predmet su opsežnih izučavanja [1, 2], kako namenskih, vezanih za određenu granu privrede, industrije, ekologije, tako i čisto naučnih, jer su modeli cilindričnih oblika značajan napredak u odnosu na početne sferne aproksimacije. Modeli se razvijaju sa aspekta mehaničkih, električnih, termalnih i optičkih osobina i od interesa su za rešavanje problema kompozitnih materijala i senzora sa optičkim vlakanima. Specifično profilisanje indeksa prelamanja ovih vlakana, može se vršiti snopom protona, α–čestica ili teških jona [3, 4], a sama vlakna moraju da imaju odredjene radijacione karakteristike. U poređenju sa vlaknima od kombinovanih (kompozitnih) materijala, vlakna od čistih dielektrika ili metala imaju znatno ograničene mogućnosti variranja performansi. I vlakna korišćena za izazivanje kratkih spojeva i havarija na elektro–energetskim i transfomatorskim postrojenjima i stanicama tokom tekuće NATO agresije su kompozitna. Službena oznaka municije koja ih sadrži, je BLU–114/B (Soft Bomb). Ona se pakuje u kontejnere, taktičke sejače potkalibarne municije, CBU–102 (V) (Blackout Bomb), mada se spominju i TMD (Tactical Munitions Dispenser) SUU–66/B, i

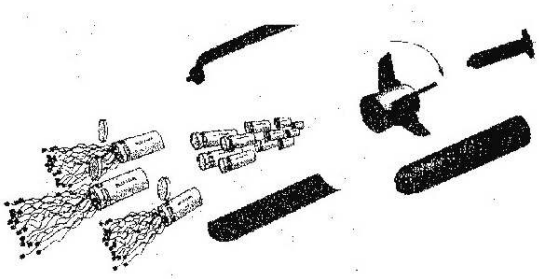
kontejner A6M–154. Glavna namena „meke bombe” je dejstvo na prenosnu mrežu elektro–energetskog sistema, uz malu verovatnoću uzrokovanja „usputne štete”. Kontejneri se izbacuju iz aviona, i na određenoj visini aktiviraju upaljačem sa visinomerom. Tada dolazi do razdvajanja tela kontejnera u tri meridijalne ravni pod uglom od 120°, i rasipanja 200 potkalibarnih punjenja, kaseta BLU–114/B. One uz pomoć padobrana, nastavljaju usporen, vertikalni pad. Aktiviranjem eksplozivniog punjenja tempiranim vremenskim upaljačem, izbija se donji poklopac kasete, pomoću jake, obostrano konusne opruge. To dovodi do rasipanja osnovnog punjenja, koje se sastoji od malih kalemova (dužine oko 30 mm). Vlakna kalemova su obložena aluminiziranim slojem debelim nekoliko μm. Kalemovi se odmotavaju formirajući paučinaste oblake koji padaju na visokonaponske kablove, transformatore i drugu opremu, uzrokujući kratke spojeve. Kratak spoj je praćen isparavanjem vlakana, jonizacijom vazduha i formiranjem intenzivnog toka struje između žica dalekovoda, tj. pojavom električnih lukova, sa pratećim manifestacijama: temperaturama iznad 4000 ^{o}C i snažnim bleskovima beličaste svetlosti. Na taj način ne dolazi samo do raspada elektroenergetskog sistema, nego visoka temperatura može izazvati požare i eksploziju. Mehanizam razmotavanja kalemova predstavlja ključ za razumevanje dejstva ovog oružja. Osnovno pitanje je, da li do razmotavanja dolazi uslijed eksplozije pri izbijanju poklopca, zbog nekih osobina samog materijala koje se aktiviraju u atmosferi ili kombinacijom oba dejstva? Odgovoru se možemo približiti kada otkrijemo zašto je dosta kalemova ostalo nerazmotano. Pored osnovnog dejstva, postavljaju se i pitanja eventualne radioaktivnosti i toksičnosti ovih vlakana, kontejnera i kaseta.

EKSPERIMENT

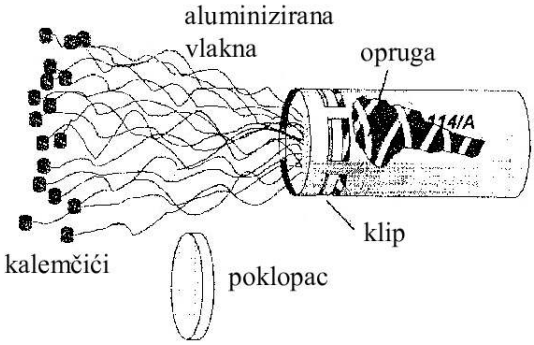
Ispitivani su uzorci vlakana, od kalemova koji su bili sadržaj kasete dugačke oko 17 cm, prečnika oko 7 cm. Vlakna su se mogla naći na visokonaponskim vodovima, kao paučinasta tvorevina, i oko njih, u nerazmotanim kalemovima (Sl. 1 a). Pri otvaranju kasete



Slika 1a. Makroskopski snimak kalema



Slika 1b. Izbacivanje kaseta iz bombe kontejnera



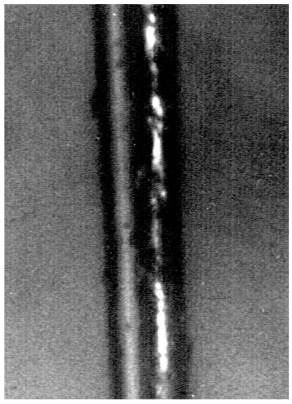
Slika 1c. Izbacivanje kalemova iz kasete

postizanja odredjenih p, v, T uslova, verovatno dovodi do razvijanja kalemova. Moguće je da tada vlakna menjaju svoje fizičke, mehaničke i provodne (električne i termalne) karakteristike. Zato su nerazvijena vlakna, koja nisu pretrpila uticaje pražnjenja, visokih struja, i temperatura, predstavljala početne uzorke za proučavanje sastava i građe. Detaljna ispitivanja ovih vlakana, trebala bi da daju sliku o njihovim osobinama pre razvijanja i uslovima potrebnim da do njega dođe. Analiza optičkom mikroskopijom, vlakana sa kalemova iz Leštana, po sistemu slučajnog uzorka, pokazala je postojanje dva tipa vlakana.

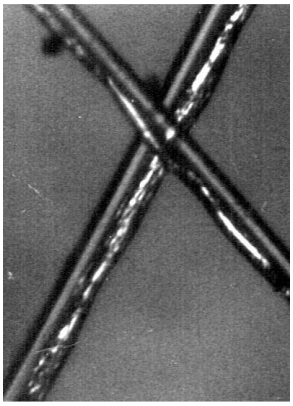
REZULTATI I DISKUSIJA

Kalem (I) je klupko formirano od sjajne svetlosive niti, upredene od 10–15 vlakana. Nit je veoma tanka, rastresita, a vlakana se lako rasipaju, kao pramenje, zbog čega je teško utvrditi tačan broj vlakana u niti. Na Sl. 2. a, b, c, d, je dat izgled vlakana. Uvećanja na Sl. 2. a, b, iznose 500x, a na Sl. 2. c, d, su 300 i 600x, redom. Uočava se prisustvo dve vrste vlakana u niti. Jedna su visokog metalnog sjaja, koji potiče od Al, sa „poroznim" zonama. Njihov prečnik je 15–16 μm. Druga vlakna su tamnosive boje, mat sjaja, kontinualno glatke površine (Sl. 2. a, b). Po njihovoj površini nalaze se ostaci sjajnog vlakna, kao krpice ili istopljena metalna folija (Sl. 2. c).

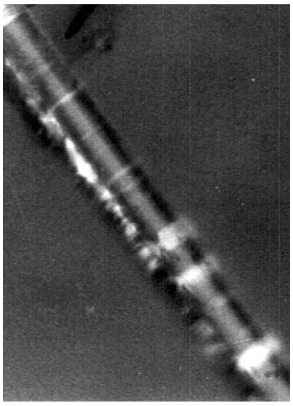
a) Sjajno vlakno



b) Vlakno sa sljuštenim omotačem (500 x).



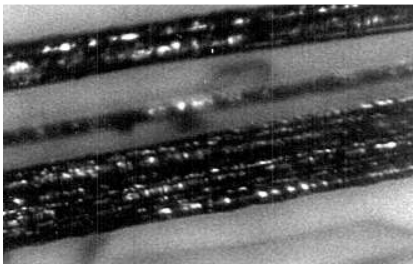
c) Grupa vlakana (300 x)



d) Efekat „ljuštenja" omotača (600 x)

Slika 2. Mikrografije vlakna kalema (I)

a) Mat vlakna sa skinutim omotačem



b) Raspored vlakana u niti (300 x)

Slika 3. Mikrografija vlakna kalema (II).

Na nekim tamnosivim vlaknima zapaža se efekat ″ljuštenja kore breze″. Na tamnom delu se vide sjajni obruči nejednake širine (od vlaknastih do trakastih, Sl. 2. d). Očigledno je da su mat vlakna bila prevučena sjajnim omotačem koji se, iz nekog razloga oljuštio i ogolio unutrašnje vlakno. Prečnik mat vlakana je oko 10–11 μm. Debljine sjajnog, metalnog omotača je oko 2,5–3 μm. Po mnogim znakovima (slabo upredanje, pojava ljuštenja i postojanje gotovo potpuno oljuštenih niti) izgleda da je ovaj kalem pretrpio nedovoljan uticaj potreban za potpuno razvijanje i dejstvo.

Kalem (II) je klupko čvrsto upredene sive, sjajne niti, kod koje nije došlo do rasipanja vlakana. Posmatranjem pod optičkim mikroskopskim nadjeno je da je oko 20 vlakana upredeno u nit. Snimci Sl. 3. a i b, predstavljaju izgled vlakana pod uvećanjem 600 i 300x, redom. Po spoljnem izgledu vlakna su veoma slična onima sa kalema (I), (Sl. 3. c), ali se pod mikroskopom razlikuju i na izgled i veličinom prečnika. Kod njih je prečnik sjajnih vlakana 10–15 μm a mat vlakana je 5–7,5 μm. Na Sl. 3. b predstavljen je raspored vlakana u niti. Debljina prevlake (sjajni omotač) je i u ovom slučaju oko 2,5–4 μm. Dijametri vlakana su kvalitativno potvrđeni i putem difrakcije laserske svetlosti.

Očito je da se radi o dva tipa vlakana čiji se unutrašnji prečnici, debljina Al sloja, i moguće, sastav dielektrika–nosača razlikuju. U jednom slučaju to je E–staklo (SiO_2 52–56%, Al_2O_3 12–16%, CaO 16–25%, MgO 0–5%, Na_2O 0–2% i ostali sastojci u tragovima). Rezultati merenja kalemova iz Leštana se razlikuju od onih dobijenih merenjem uzoraka iz Obrenovca [broj niti (I)–10–15, (II)–oko 20, prema oko 30; prečnik dielektrika (I)–oko 10 μm, (II)–5–7 μm prema 6–15 μm; debljina Al (I) i (II) oko 2.5–4 μm, prema 6–10 μm (po varijacijama dimenzija bi se reklo da su i na Obrenovcu korišćene dve vrste vlakana)].

Sa stanovišta zaštite, vlakna mogu da budu od interesa sa nekoliko aspekata. Pitanja njihovog uticaja na ljudsko zdravlje podrazumijevaju efekte njihovog namenskog delovanja (pražnjenja, strujni udari, požari, bljesak velikih intenziteta), ali i dugoročne (iritiranje disajnih puteva, alergijske reakcije, sistemska trovanja, radioaktivnost) efekte.

a) Mikronske dimenzije i cilindričan oblik ubrajaju ih u kategoriju vlakana. Po nekim teorijama, sva cilindrična vlakna su kancerogenozna, a po drugim ne [5, 6].

b) Obzirom da se radi o Al i staklu, vlakna se ne mogu proglasiti apriori otrovnim, mada je Al šteten po zdravlje. Ako se Al omotač okruni, zdrobi u prah i udahne, može doći do iritacije disajnih puteva. Obzirom na veliku dužinu samih vlakana, ona ne mogu dovesti do silikoze. Da bi do nje došlo, procena je da bi trebalo raditi na proizvodnji ovakvih vlakana u vremenskom periodu od najmanje 5 godina (zavisno od uslova). Ispitivana je i eventualna radioaktivnost i došlo se do rezultata da je nema (ovde se misli na α, β i γ zračenje) u granicama fona. Međutim, samo detaljna niskofonska merenja mogla bi dati pouzdan odgovor o prisustvu i koncentraciji radioaktivnih izotopa materijala koji ulaze u sastav ovih vlakana, prevashodno u staklu (^{40}K, Ca, Na).

c) Zapaljivost pri varničenju može da se poveže sa karakterističnim dimenzijama, po odgovarajućoj kategorizaciji za Al i staklo. Tvrdnja da su vlakna samogaseća je diskutabilna obzirom da Al, pogotovo u tankim slojevima, ima relativno nisku tačku paljenja. Pri veoma visokim temperaturama, istopljeno staklo može da ima ulogu „lepka”. U datim uslovima verovatno dolazi i do razvijenja udarnih talasa i ekstremno visokih temperatura.

d) „Zamračivanje” „mekim bombama”, pored ekonomskih i psiholoških, ima i vojne efekte. Tako se, uklanja „svetlosni fon” i omogućava špijunskim avionima (U–2) i bespilotnim letelicama (Predator RQ–1A, Hunter) da uz pomoć termovizijskih i laserskih uređaja za osmatranje, otkriju vojne tačke koje koriste pomoćne izvore energije (agregate).

Staklo–Al vlakna su znatno tehnološko unapređenje u odnosu na klasična grafitna, koja su korišćena u napadima na Irak. Istovremena upotreba najmanje dve vrste vlakana na istom cilju (razvodna stanica u Leštanima), ukazuje na intenzivno tehnološko usavršavanje i specijalizaciju ove vrste oružja. Pretpostavlja se da se tako htela izbeći neizvesnost ponašanja pojedinih vrsta vlakana u nestabilnim vremenskim uslovima, pri konkretnim borbenim dejstvima i obezbediti željeni vojni efekat. Tome u prilog ide i činjenica da su niti kalema (I) gotovo razvijene, dok su niti kalema (II) čvrsto upredene.

Najjednostavniji način za neutralizaciju staklo–Al vlakana sa nadzemnih postrojenja i tla, jeste njihovo mehaničko uklanjanje pomoću raznih pomagala ili pomoću hemijskih rastvora koji neutrališu elektroprovodnost vlakana.

LITERATURA

[1] „Svetlovodi u prenosu podataka i senzorima", SITJ, Beograd, 1992.
[2] M.Srećković, et al., Lasers' 98, 7–12 decembar, Tuscon, Arizona.
[3] M.Srećković, et al., MIEL 95, Niš 1995, p.289.
[4] Ed. D. Marcuse, Integrated optics, IEEE press, NewYork 1973.
[5] Spurney, "Airborne particles", 1985.
[6] S.Ostojić, et al., „Dimenzionisanje čestica i tehnike dijagnosticiranja", ETRAN 1999.

ABSTRACT

»GRAPHITE« FIBERS 1999

The paper considers properties of so called, "graphics" (actually glass–Al) fibers and their action on electrical power system. During recent months it was one of the urgent problems investigated from different point of views, starting from electrical power and illumination demands, to many other, occasional, necessary for the living in modern civilization. A particular group are problems occurring as a consequence of accidents, sudden damages, switching–off and high over–voltages, which are harmful for all electrical power installations and devices even in a peaceful time. Considering the mentioned, the properties of the fibers are presented from the light microscopy and optical point of view. The possibilities of other approaches are also discussed. The potential consequences on human health of the fibers itself, and of their action on the electrical power system are analyzed. The obtained results indicate only some of the aspects to which the attention should be paid, during solution of the problems of protection of these materials.

^{7}BE U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

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

SADRŽAJ

Dati su rezultati višegodišnjih merenja sadržaja ^{7}Be u prizemnom sloju atmosfere na meteorološkim stanicama u Institutu „Vinča“ i okolini. Zbirni mesečni uzorci su analizirani metodom spektrometrije gama zračenja, pomoću HPGe detektora. Koncentracije ^{7}Be su u intervalu od 0.8-10 mBq/m^{3}, s maksimumom u letnjem periodu.

UVOD

Kosmogeni radionuklid ^{7}Be nastaje u nuklearnoj reakciji, interakcijom kosmičkog zračenja sa kiseonikom i azotom u atmosferi. Najčešće se nalazi u obliku molekula BeO ili $Be(OH)_2$. Ovi molekuli se vezuju za atmosferske aerosole a njihovim kretanjem kroz različite slojeve atmosfere mogu dospeti i do prizemnog sloja atmosfere. Najveći deo ^{7}Be, približno 70%, proizvodi se u stratosferi, a manji deo nastaje u troposferi. U stratosferi se aerosoli berilijuma zadržavaju oko godinu dana, dok je vreme zadržavanja u troposferi oko šest nedelja. Vreme poluraspada od 53,3 dana, omogućava korišćenje ^{7}Be kao trasera pri izučavanju kretanja vazdušnih masa kroz atmosferu, kao i za proveru klimatoloških meteoroloških modela [1,2].

Poznato je da koncentracija ^{7}Be, u prizemnom sloju atmosfere pokazuje sezonske varijacije koje zavise od više faktora: strato-troposferskih izmena vazdušnih masa, horizontanog transfera od srednjih i subtropskih ka većim i manjim geografskim širinama, efekta spiranja padavinama [3].

Srednje mesečne koncentracije ^{7}Be u Evropi su reda veličine nekoliko mBq/m^{3}. Na primer, u Bratislavi (Slovačka Republika), srednja mesečna koncentracija u periodu od 1977. do 1990. godine nalazi se u opsegu od 0.7 do 8.69 mBq/m^{3}, dok je u Solunu (Grčka) srednja mesečna koncentracija ^{7}Be u opsegu 1-10 mBq/m^{3}. Navedene zemlje se nalaze na bliskim geografskim širinama [3,4].Rezultati dugogodišnjeg merenja koncentracije ^{7}Be, u prizemnom sloju atmosfere, na više mernih mesta u okviru Instituta „Vinča“, kao i dobijeni linearni korelacioni odnosi prikazani su u ovom radu.

METODE MERENJA

Sistematska kontrola radioaktivnosti vazduha obavlja se već više od četrdeset godina u Institutu „Vinča“, na nekoliko mernih stanica. Jedna stanica se nalazi u samom

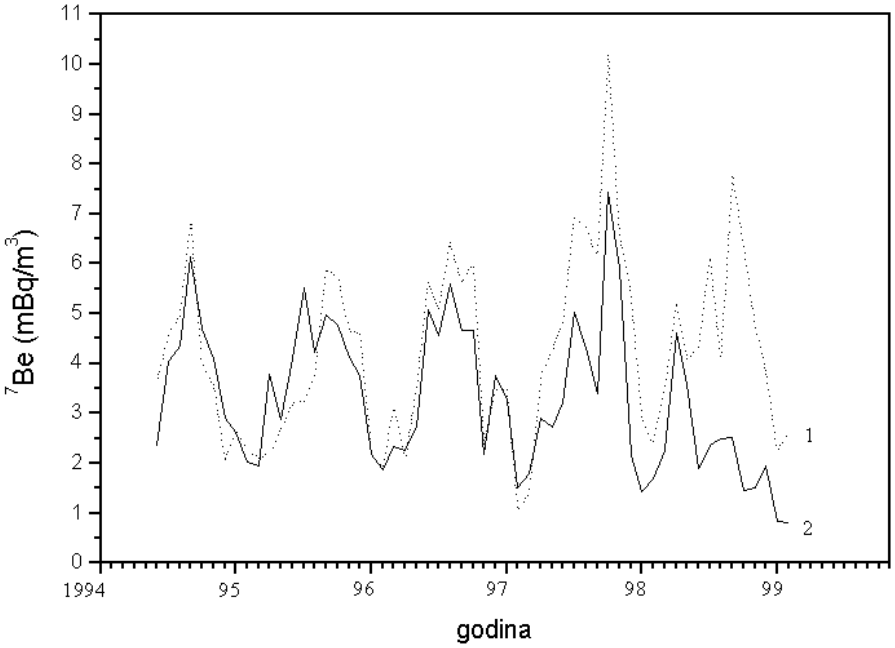
Institutu (u daljem tekstu BARAKA), druga stanica je udaljena dva kilometra od Instituta, u pravcu dominantnog vetra od Instituta prema Beogradu (USEK), a treća stanica se nalazi na prilazu Beogradu, u krugu aerološke opservatorije ZELENO BRDO.

Uzorkovanje se obavlja dnevno, prosisavanjem vazduha kroz filter papir efikasnosti 80%, na slobodno nataloženu prašinu. Zapremina vazduha koja dnevno prodje kroz filter papir iznosi približno 600m^3. Zbirni mesečni uzorak vazduha, dobija se spaljivanjem svih dnevnih uzoraka, na temperaturi nižoj od 400^{0}C, čime se smanjuje gubitak prisutnih radionuklida.

^{7}Be se detektuje po liniji od 477 KeV (verovatnoća prelaza 10,39%) metodom spektrometrije gama zračenja. Za kalibraciju HPGe detektora korišćen je standard čiji je matriks aerosolni prah. Ukupna greška odredjivanja koncentracije ^{7}Be manja je od 15%.

REZULTATI I DISKUSIJA

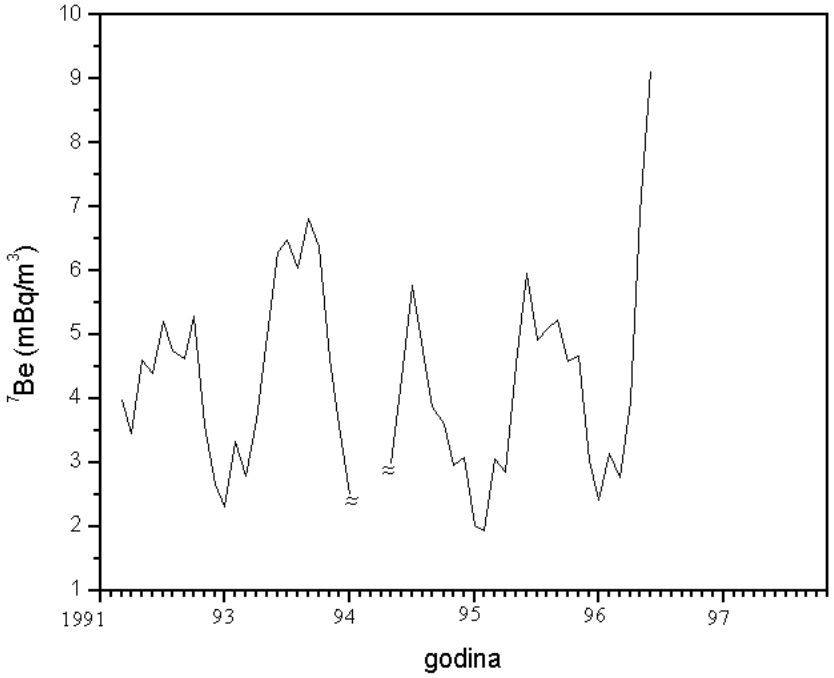
Vrednosti koncentracija ^{7}Be u prizemnom sloju atmosfere na svim meteorološkim stanicama prikazane su na slici 1. i slici 2. Srednje mesečne koncentracije su u intervalu 0.8-10 mBq/m^3. Tok krivih promene koncentracije ^{7}Be u funkciji vremena pokazuje sezonske efekte, sa maksimalnim vrednostima u letnjem periodu.



Slika 1. Koncentracija ^{7}Be u vazduhu na mernim stanicama ZELENO BRDO (1) i BARAKA (2)

Srednja koncentracija za čitav period od 1991-1996.god., na stanici USEK iznosi 4.3 mBq/m^3, na stanici BARAKA, za period od 1994-1998.god. iznosi 3.3 mBq/m^3, dok na mernoj stanici ZELENO BRDO, za period 1994-1998.god. iznosi 4,2 mBq/m^3. Može se

zapaziti da postoji odredjena korelacija izmedju stanice BARAKA i ZELENO BRDO, a linearni korelacioni koeficijent iznosi r =0.60.



Slika 2. Koncentracija ^{7}Be u vazduhu na mernoj stanici USEK

Zbog male baze podataka o koncentraciji ^{7}Be na mernoj stanici USEK, ne može se odrediti korelacioni odnos sa drugim mernim stanicama. Maksimalne vrednosti u letnjem periodu (maj, jun, juli) mogu se očekivati kao posledica strato-troposferskih izmena tj spuštanja vazdušnih masa iz stratosfere u troposferu. Minimalne vrednosti koncentracija karakteristične su za zimske mesece.

LITERATURA

[1] C.Rodenas, J.Gomez, L.S.Quindos, P.L.Fernandez and J.Soto, ^{7}Be Concentrations in Air, Rain Water and Soil in Cantabria (Spain), Appl. Radiat. Isot.Vol.48.No.4, pp.545-548,1997.

[2] D.Todorović, D.Popović, G.Djurić, Concentration measurements of ^{7}Be and ^{137}Cs in ground level air in the Belgrade city area, Environment International, Vol.25.No.l, pp 59-66,1999.

[3] L.Durana, M.Chudy, L.Masarik, Investigation of ^{7}Be in the Bratislava atmosphere, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles,Vol.207, No.2, pp.345-356, 1996.

[4] C.Papastefanou, A.Ioannidou, S.Stoulos, M.Manolopoulou, Atmospheric deposition of cosmogenic ^{7}Be and ^{137}Cs from fallout of the Chernobyl accident, The Science of the Total Environment 170,pp.151-156, 1995.

ABSTRACT

^{7}Be CONTENTS IN GROUND LEVEL AIR IN THE BELGRADE CITY AREA

D. Todorović, M. Radenković
"Vinča" Institute, Radiation and Environmental Protection Laboratory

Long term results of the ^{7}Be content measurements in the ground level air, at the meteorological stations in the Vinca Institute and surrounding are presented in the paper. Air samples have been analysed by gamma spectrometry method, using HPGe detector. Concentrations of the ^{7}Be are found to be within 0.8-10 mBq/m^{3}, with maximum values in the summer period.

SADRŽAJ PRIRODNOG RADIONUKLIDA ^{210}PB U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE

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

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja koncentracije ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere u Institutu „Vinča“ u periodu od 1985-1996. godine. Uzorci su sakupljeni na mernoj stanici „Usek“. Analiza uzoraka uradjena je metodom spektrometrije gama zračenja. Dobijene vrednosti su u opsegu od 0.1–3.0 mBq/m^3 i prate sezonske varijacije sa maksimalnim vrednostima u jesenjem periodu.

UVOD

Radioaktivni gas ^{222}Rn, koji je potomak dugoživećeg prirodnog radionuklida ^{226}Ra, pri svom raspadu formira niz radionuklida sa malim vremenom poluraspada, reda minute i sekunde. Ovaj niz se završava izotopom olova ^{210}Pb, čije je vreme poluraspada znatno duže i iznosi 22 godine. Raspadom ^{210}Pb započinje novi radioaktivni niz, čiji članovi imaju za nekoliko redova veličine niže koncentracije u vazduhu u odnosu na koncentracije kratkoživećih članova niza ^{222}Rn. Po svom nastanku, olovo se veoma brzo vezuje za čestice prašine prisutne u atmosferi, stvarajući tako radioaktivne aerosole koji se mogu transportovati kroz atmosferu ili se, putem suvih i mokrih padavina, deponuju na površini zemlje.

Zbog dugog vremena poluraspada ^{210}Pb, merenjem koncentracije ovog radionuklida u prizemnom sloju atmosfere može se doći do veoma interesantnih informacija o poreklu vazdušnih masa i vremenu boravka aerosola u pojedinim delovima atmosfere [1, 2].

O merenjima i odredjivanju koncentracije ^{210}Pb na prostoru bivše Jugoslavije, ima vrlo malo podataka u literaturi, tako da se ne može govoriti o sistematskom praćenju promene koncentracije ovog radionuklida u prizemnom sloju atmosfere [3,4].

U ovom radu prikazani su rezultati merenja ^{210}Pb, u prizemnom sloju atmosfere, u okolini Instituta „Vinča“, kao deo rezultata organizovane sistematske kontrole radioaktivnosti uzoraka iz životne sredine.

METODE MERENJA

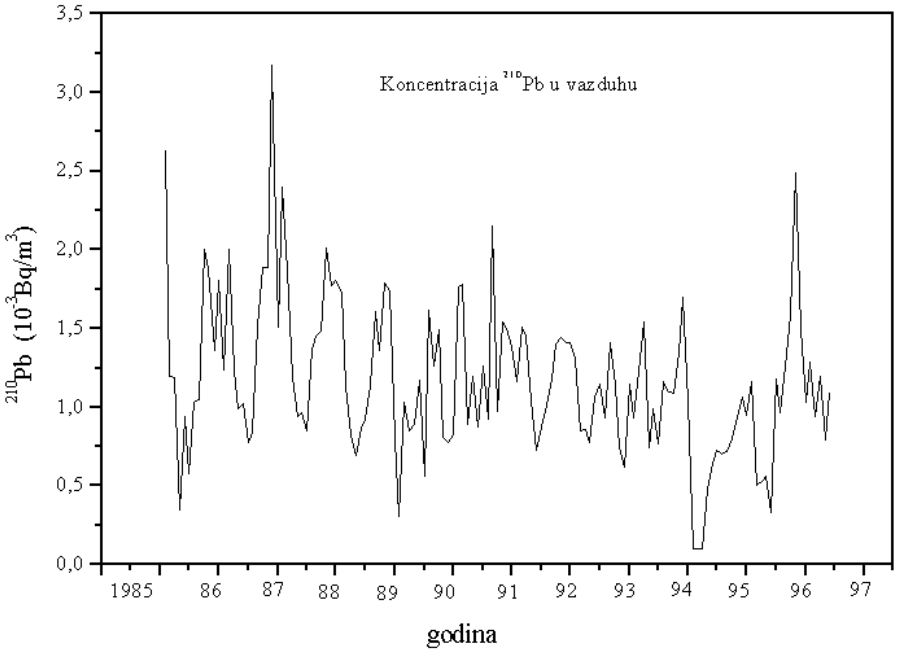
Uzorci vazduha sakupljeni su na mernoj stanici „Usek“, koja se nalazi na rastojanju 2 km od Instituta „Vinča“, na pravcu dominantnog jugoistočnog vetra prema

Beogradu. Uzimanje uzoraka se vrši prosisavanjem vazduha kroz filter papir, efikasnosti 80%, na slobodno nataloženu prašinu, u toku 24 časa. Žarenjem svih dnevnih uzoraka vazduha na temperaturi ispod 400°C dobija se zbirni mesečni uzorak.

Analiza uzoraka uradjena je metodom spektrometrije gama zračenja, korišćenjem HPGe detektora relativne efikasnosti 23%. Kalibracija detektora uradjena je korišćenjem standarda IAEA-83, (AIR-4) čiji je matriks filter papir na kome su nakapani ^{60}Co,^{90}Sr,^{133}Ba,^{137}Cs, ^{210}Pb, sa ukupnom aktivnošću od 4,4kBq na filtru, (1.01.1986god.). Vreme merenja se kreće od 100 do 300ks. Ukupna greška merenja je manja od 25%.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja prikazani su na sl.1. Srednja mesečna koncentracija ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere za period 1985-1996. godine, nalazi se u opsegu od 0.10 do 3.2 mBq/m^3. Srednja koncentracija za ceo period je 1.2mBq/m^3. Srednje godišnje vrednosti koncentracije ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere, u zemljama Evrope, nalaze se u intervalu 0.2-0.7 mBq/m^3. [5]



Sl.1. Koncentracija ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere u periodu 1985-1996

Na slici se može videti da maksimalne vrednosti koncentracije ^{210}Pb odgovaraju jesenjim (septembar, oktobar, novembar) i zimskim (januar, februar) mesecima, dok su minimalne vrednosti u letnjem periodu. Na osnovu dugogodišnjih merenja ^{222}Rn na lokaciji Instituta Vinča, može se zapaziti da je koncentracija ^{222}Rn najveća u jesenjim mesecima[6].

Obzirom da je ^{210}Pb potomak izotopa ^{222}Rn, pojava maksimuma u jesenjim mesecima može se očekivati.

LITERATURA

[1] Preiss.N., Melieres.M. and Pourchet.M., A compilation of data on lead 210 concentration in surface air and fluxes at the air-surface and water-sediment unterfaces, Journal of Geophisical Research, Vol.101.D22, pp. 28,247-28,862,1996.

[2] Suzuki.T. and Shiono. H., Comparation of 210 Po/210Pb activity ratio between aerosol and deposition in the atmospheric boundary layer over the west coast of Japan, Geochemical Journal.,Vol.29.pp.287 – 291, 1995.

[3] Bauman.A., Kretanje stabilnog olova i olova-210 u zraku na području grada Zagreba, IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce,31.05.-03.06.1977, Zbornik radova, 293-298.

[4] Mijatović.Lj., Olovo-210 u atmosferskom vazduhu i padavinama, VIII Jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Herceg Novi, 20-23.05.1975, Zbornik radova, 369-374.

[5] H.W.Gaggeler, Radioactivity in the Atmosphere, Radiochimica Acta 70/71,pp.345-353,1995.

[6] D.Todorović, R.Smiljanić, S.Kudra, Radioaktivnost vazduha na području koje kontroliše institut „Vinča", Ecologica No.10,33-39,1996.

ABSTRACT

CONTENTS OF THE ^{210}Pb IN THE SURFACE ATMOSPHERIC LAYER

D.Todorović, M.Radenković

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

Results of the ^{210}Pb determination in the surface air in period 1985-1996, at the location of the Vinča Institute, are presented in the paper. Samples are collected at the "Usek" meteorological station. The analysis has been performed by gamma spectrometry method. Obtained values are in the region of 0.1–3.0 mBq/m^3 and have seasons variations with fall maximums.

IZOTOPSKI SASTAV PADAVINA U OKOLINI BEOGRADA

V. Šipka, D. Golobočanin, N. Miljević
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Prikazana je vremenska i prostorna raspodela sadržaja izotopa (deuterijuma, kiseonika-18 i tritijuma) u padavinama u okolini Beograda. Lokalna meteorska linija ($\delta D=8,2\delta^{18}O + 9$) je u saglasnosti sa svetskom meteorskom linijom ($\delta D=8\ \delta^{18}O + 10$). Sadržaj tritijuma u padavinama na meteorološkoj stanici Zeleno Brdo pokazuje trend opadanja karakterističan za referentna mesta na našoj geografskoj širini. Aktivnost tritijuma je veća za faktor 2-3 u odnosu na merene vrednosti u Zagrebu i Beču .

UVOD

Svetska prosečna godišnja količina padavina je oko 660 l/m^2 [1]. Godišnji prosek za Beograd u periodu 1988-1997 je 610 l/m^2. Od toga se 37% gubi oticanjem površinskim i podzemnim tokovima, a 67% evapotranspiracijom vlage u atmosferu. Deo te vlage se asimilira i u bilje. Ovaj kružni ciklus vode u prirodi prate i teški izotopi vode: stabilni D i ^{18}O, kao i radioaktivni ^{3}H.

Pored prirodno nastalog izotopa ^{3}H , u molekulima vode, nalazi se i određena količina, ovog, veštački proizvedenog izotopa. On je u atmosferu dospeo nuklearnim probama vršenim u periodu 1950-60 godine. Danas, količina veštački proizvedenog ^{3}H potiče od rada nuklearnih elektrana i postrojenja za proizvodnju tritijuma pri normalnim i akcidentalnim uslovima.

Svetska godišnja proizvodnja ^{3}H u reakcijama neutrona sa deuterijumom je procenjena na 0,37 EBq [2]. U toku rada teškovodnih reaktora godiŠnje ispuŠta se oko 670±190 TBq/GW u vazduh i oko 240±68 TBq/GW tečnih efluenata [3]. Približno 80% atoma tritijuma izlazi u obliku HTO.

Kod nas je program ispitivanja izotopskog sastava padavina započet još 1976. godine i uz neke izmene traje do danas. Cilj ovoga rada je da ukaže na distribuciju izotopa u ciklusu vode u okolinu Beograda zbog lokacije Instituta za nuklearne nauke “Vinča” kao potencijalnog emitera tritijuma.

POTENCIJALNI IZVORI TRITIJUMA

Istraživački reaktor RA, u Institutu za nuklearne nauke “Vinča”, je teškovodni reaktor, koji je radio sa nominalnom snagom od 6,5 MW u periodu 1959-1986 godina. Imao je srednju generisanu energiju od 19098 MWh/god [4]. Teška voda (5,3 t), koja je

korišćena kao moderator i u primarnom kolu za hlađenje, imala je procenjenu koncentraciju od 110-180 GBq/l u periodu 1969-79 god., kada je reaktor bio u radu. Od 1986 god. reaktor nije u radnim uslovima a teška voda (potencijalni izvor ^3H u Institutu) je drenirana i odložena u rezervoare 1987. godine.

Istraživački reaktor RB, sa nominalnom snagom od 1W, radi od 1958-e godine. Kao moderator koristi se teška voda, ali sistem nema biološku zaštitu ni forsirani protok moderatora. Rezervoar za D_2O, zapremine $7m^3$, nalazi se ispod hale [5]. Ravnotežna koncentracija ^3H u teškoj vodi, merena 1994-e godine, bila je oko 1,85 MBq/l, što je proizvelo ukupnu aktivnost od 11GBq.

EKSPERIMENTALNE METODE

Mesečni kompozitni uzorci padavina sakupljaju su na 3 lokacije:

Zeleno brdo (ZB) - referentna meteorološka stanica ($44^o47'$ N, $20^o32'$ E, 243,2 mnm) na udaljenosti 7km od Instituta

Usek - na udaljenosti 2,5km od Instituta, u pravcu ZB i najčešćeg vetra (SE) koji duva od Instituta ka Beogradu

Institut „Vinča" (IV) - merno mesto unutar Instituta

Za merenje ^3H uzorci padavina su destilisani i koncentrisani elektrolitičkim postupkom. Koncentracija ^3H određivana je na tečnom scintilacionom detektoru [6]. Kocentracije stabilnih izotopa su određivane masenospektometrijski [7].

REZULTATI I DISKUSIJA

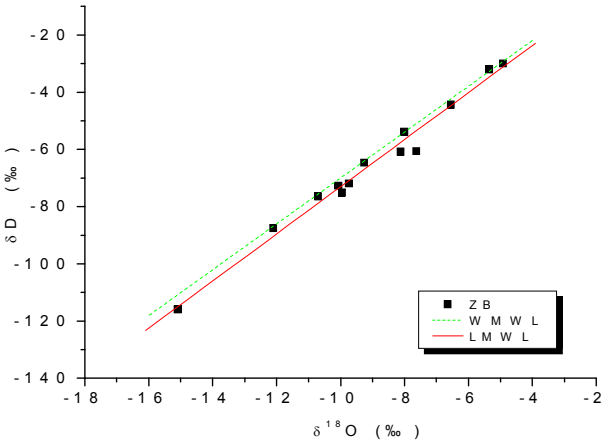
Sadržaj stabilnih izotopa u padavinama na sve tri ispitivane lokacije je vrlo sličan (–155,4‰ do –4,6‰ za δD i –19,02 do 0,15‰ za $\delta^{18}O$) i povećava se sa porastom temperature i vlažnosti vazduha. Na slici 1. dati su rezultati analize stabilnih izotopa u padavinama ZB, za period 1997-98 godine i lokalna meteorska linija (LMWL). Ona je karakteristična za određenu oblast a za Beograd je:

$$\delta D_{pad.} = (8,2 \pm 0,3)\delta\, ^{18}O_{pad.} + (9\pm3) \qquad n=13 \quad r=0,99$$

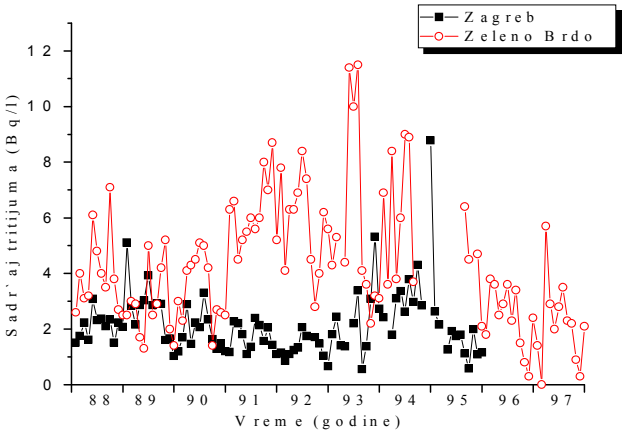
što je u saglasnosti sa svetskom meteorskom linijom vode (WMWL, $\delta D=8\ \delta\, ^{18}O + 10$).

Temperaturni gradijent za sadržaj D u padavinama je $(2,8 \pm 0,5)‰(°C)^{-1}$, što je u saglasnosti sa gradijentom nađenim u Krakovu [8]. Rezultati za temperaturni gradijent kiseonika $(0,39 \pm 0,04)\ ‰(°C)^{-1}$ su takođe u saglasnosti sa podacima za Istočnu Evropu [9].

Srednje mesečne koncentracije ^3H u padavinama na lokaciji ZB upoređene su sa rezultatima na referentnom mestu u Zagrebu [10] i prikazane su na slici 2. Korelacija izražena preko metode najmanjih kvadrata je data jednačinom: $A_{ZB} =(0,81\pm0,05)A_{Zagreb} +(2,7\pm0,3)$ n =152, r=0,79 za period 1976-1995. Iz poređenja sa srednjim godišnjim vrednostima za Beč (period 1961 - 1987) [11] dobija se korelacijia: $A_{ZB} = (0,7 \pm 0,1)A_{Beč} + (3,3 \pm 0,6)$, n=16, r=0,89. Rezultati ukazuju da je sadržaj tritijuma na lokaciji ZB za faktor 2-3 veći od vrednosti osnovnog nivoa merenim na mestima slične geografske širine, a koji pripadaju referentnim lokacijama mreže merenja sadržaja izotopa u padavinama u svetu (Network of Isotopes-in-Precipitation).



Slika 1. Sadržaj stabilnih izotopa (δD i $\delta^{18}O$) u padavinama Beograda



Slika 2. Srednje mesečne koncentracije ^3H u padavinama Beograda i Zagreba

Rezultati dobijeni na lokaciji IV, u periodu 1988-1996, ukazuju na postojanje lokalne kontaminacije. Srednje godišnje koncentracije ^3H kreću se u intervalu (14,3 - 35,4) Bq/l u Institutu, (3,9 – 12,1) Bq/l na Useku i (2,2 - 6,7) Bq/l na Zelenom Brdu.

Na sve tri lokacije koncentracija ^3H u padavinama opada eksponencijalno sa konstantom brzine od K_p = (0,05 – 0,07)god^{-1}. Izračunat poluživot za period 1988-97 je (10,0±2,6)god, (11,5±3,6)god i (12,7±3,9)god za Zeleno Brdo, Usek i Institut.

ZAKLJUČAK

Uočena je lokalna kontaminacija tritijumom u padavinama sakupljenim u Institutu „Vinča“. Srednja godišnja aktivnost padavina je za red veličine veća od aktivnosti

na referentnom mestu – ZB. Koncentracija tritijuma u padavinama na lokalitetu ZB pokazuje trend opadanja karakterističan za referentna mesta na našoj geografskoj širini. Međutim, rezultati dobiveni u Zagrebu i Beču su manji za faktor 2-3. Ovo ukazuje na lokalnu kontaminaciju iz Instituta.

Srednja godišnja koncentracija tritijuma u padavinama opada sa poluživotom od oko 10 godina.

Sadržaj stabilnih izotopa u padavinama, na ispitivanim lokacijama, je u saglasnosti sa podacima dobijenim u Istočnoj Evropi.

LITERATURA

[1] Alekin A.O., "Osnovi gidrohimii", Gidrometeorologičeskoe izdatelstvo, Leningrad, 1970.

[2] Okada S. and Momoshima N. "Overview of tritium characteristics, sources, and problems", Health Physics 65, pp.595-609, 1993.

[3] Rozanski K., Gonfiantini R. i Araguas-Arguaus L.,"Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trend", J. Phys. G.: Nucl. Part. Phys. 17, S523-S536, 1991.

[4] Pešić M., CupaĆ S. i Vukadin Z., "Experiences in management of ageing of research reactors in the Vinča Institute", Bulletin 1/97, 24-33, Vinča Institute of Nuclear Sciences, 1997.

[5] D.Stefanović i M.Pešić, "Od kritičnog sistema teška voda – prirodni uranijum do brzotermičkog istraživačkog reaktora u Vinči", Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, 1995.

[6] N.Miljević and V.Šipka, "Environmental aspects of tritium around the Institute Vinča", I Regional Symposium"Chemisry and the Environment", 25-29. septembar, Vrnjačka banja, 1995, pp. 967-970

[7] N.Miljević, V.Šipka, M.Hadžišehović, D.Golobočanin, A.Pejović, "Izotopi Vodonika i kiseonika u prirodnim vodama u okolini Instituta za nuklearne nauke "Vinča", II Simpozijum "Hemija i zaštita životne sredine", Vrnjačka Banja, 1993, pp.581-582.

[8] Schoch-Fischer, H. et al. "Hydrometeorological factors controlling the time variation of D, ^{18}O and ^{3}H in atmospheric water vapour and precipitation in the northen westwind belt", Isotope Hydrology 1983 (Proc. Int. Symp. Viena, 1983), IAEA, Vienna (1984) 3-30.

[9] Andrews,J.N.,"Isotopic composition of groundwaters and palaeoclimate at aquifer recharge", Isotope Techniques in the Study of Past and Crrent Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere (Proc. Int. Symp. Vienna, 1993), IAEA, Vienna (1993) 271-292.

[10] IAEA/WHO Global network for isotopes in precipitation. The GNIP Database, IAEA, Vienna, 1998.

[11] IAEA, "Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes in Precipitation", Tech. Reprts Series No. 331, IAEA, Vienna, 1992.

ABSTRACT

ISOTOPIC COMPOSITION OF PRECIPITATION IN THE BELGRADE AREA

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

The spatial and temporal distributions of isotope content (deuterium, oxygen-18 and tritium) in precipitation in the Belgrade area are presented. The local meteoric water line ($\delta D=8{,}2\ \delta^{18}O + 9$) is in agreement with the world meteoric water line ($\delta D=8\ \delta\ ^{18}O + 10$). The tritium content in precipitation at the Zeleno Brdo station shows the decreasing trend characteristic for the reference sites at our geographic latitude. Tritium activity is higher by a factor 2-3 from background measured in Zagreb and Vienna.

COMPARISON OF THE X-RAY AND α SPECTROMETRIES

Z. Milošević, D. Novković,
M. Stojanović, F. Boreli
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

ABSTRACT

The aim of our investigations was comparison of the X-ray and α spectrometries for detection and identification α-emitters (some transuranic elements and their daughters). Radioactive sources, which we prepared in our radiochemical laboratory, were measured on X-ray and α spectrometers. Comparison of the X-ray and α spectrometries showed that the X-ray spectrometry is faster and cheaper method for identification and determination of the activity of α-emitters and their daughters. The errors were less than 10%.

INTRODUCTION

Development of nuclear technologies and more presence of nuclear plants (from research to commercial) perform that the presence of radioactive materials in environment increased in the last several decades. Detection and permanently increased of concetracions of radioactive materials required investigations on development methods for protection environment. One small part of these investigations present discovering easily and fastly way for determination of activities of transuaranic elements and their daughters (actinides).

There are more methods (mass spectrometry [1], nuclear emulsion techniques [2],...) for detection and determination of the activities of α-emitters. In our investigations we compared X-ray and α spectrometries. These two methods are the most frequent in practice.

EXPERIMENTAL ARRANGEMENT

In our laboratory we have two spectrometers, one for detecting X-ray and the other for detecting α-particles. These two spectrometers enable us to determine the activities of radioactive isotopes, which emit X-ray and α-particles.

The main part of α spectrometer is the α-chamber, which is connected with vacuum system. For detecting α-particles we used Si-detector with surface barrier, area of 300 mm^2, and resolution of 20 keV (at 5.1 MeV). The α spectrometer was calibrated with two isotopes: ^{241}Am and ^{239}Pu.

For detecting X-ray we used Si(Li) detector, with the surface of 30 mm^2, the thickness of 3 mm^2 and with the Be-window (25 μm). The X-ray spectrometer was calibrated and the efficiency was determined with ^{241}Am, since its characteristics correspond to the measured range of X-ray and soft gamma radiation.

Two spectrometers were tested on a large number of specially prepared radioactive samples characterized by different actinide combinations (isotopes of Am, Pu, U, Th, …). Nine radioactive samples were prepared by the method of electrodeposition [7], simulating typical samples from the environment. The activities of these samples (50-2000 Bq) were determined using $4\pi\alpha\beta$ proportional counter, which represent the primary standard for measurement of activities with an error less than 1%.

Both detectors are connected to the measure chain and with PC computer at the end. Graphics presentation of X/γ and α spectra, and peak area determination are performed using the computer program MAESTRO II.

SOME ASPECTS OF THE X-RAY AND α SPECTROMETRIES

Measurements of activities by α spectrometry were performed on "classical" way. We detected energies of α-particles in the range 4.5-5.5 MeV. The values for activities, that obtained, are in good agreement with those obtained on $4\pi\alpha\beta$ proportional counter. On spectra we couldn't resolve energies that distinguish for less than 40 keV. This problem was as a consequence of resolution of Si(Li) detector with surface barrier. In this way, with α spectrometry we couldn't obtained activities some isotopes. This problem we tried to solve by X spectrometry.

Activities determination of the α-emitters by X-ray and soft γ radiation (20 keV – 70 keV) is conditioned both, by physical characteristics of these radiations (decay yield) and the performances of the semiconductor detector [2-6]. Actinides are α and β unstable nuclei which after decay emit mostly gamma lines of low energies from 30 keV to 70 keV and their decay yields are usually small (order of 10^{-3}-10^{-7}) so that quantitative analysis is difficult. However, certain lines from this spectrum having satisfactory decay yields are quite useful for the identification of the elements and their isotopes.

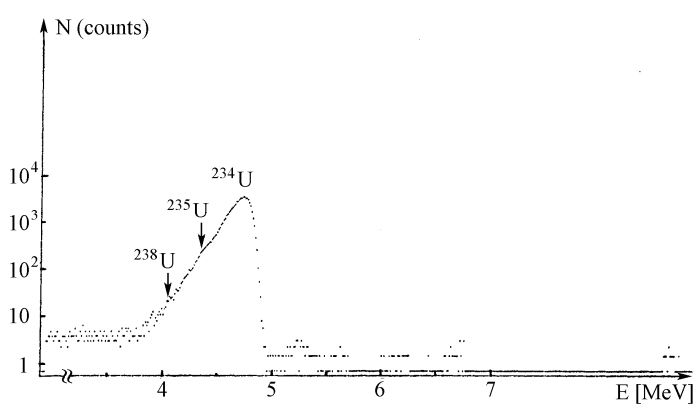


Fig. 1. The spectrum of enriched uranium obtained with α spectrometer.

Radioactive α and β disintegration of the nuclei induce the excitation and ionization of electronic shells, followed by the emission of X-ray radiation. Intensity of the X-ray radiation is several orders of magnitude higher than the intensity of soft gamma radiation. The most convenient energy lines for Si(Li) detector are the characteristic L_x-ray energy lines between 10 keV and 20 keV, being detected with the highest efficiency. For example, the intensity ratio $L_{\beta 1}/\gamma$ for actinides falls in the range of 10^2-10^4, pointing to the advantage of the X-ray over γ-ray spectrometry. It may be concluded that obtaining the photon spectrum by Si(Li) detector, gamma lines may be used for the identification, while X-ray lines are used for determination of the isotopic activities.

Errors in source preparation are basic difficulties in α spectrometry, as we may see on Fig. 1. We can't estimate activities of isotopes of enriched uranium because we had a "thick" source after radiochemical preparation. Spectrum of the same source obtained on X-ray spectrometer (Fig. 2.) shows peaks from which we might calculate isotopic activities.

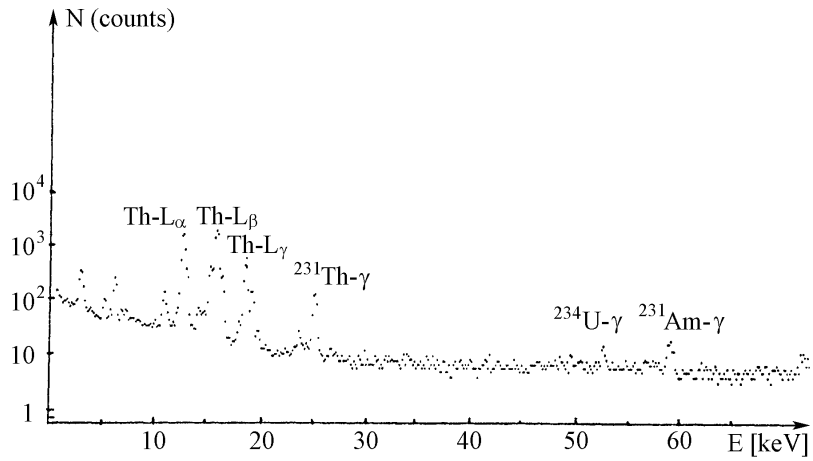


Fig. 2. The spectrum of enriched uranium obtained with X spectrometer.

CONCLUSION

Since majority of actinides are α-emitters, up to now methods for determination of activities were based on α spectrometry. However, preparation of thin source for α spectrometry require usage of radiochemical laboratory. Relatively frequent problems of source thickness reproducibility during source preparation as well as the need for making measurements in vacuum, rise the need for investigations of methods which would be more effective and quicker in obtaining good results.

The measurements were inside an error of 10%. Basic source of errors of activities determination were the calculations of X-ray yield per radioactive decay and that of the integral of the peak area, since the efficiency and the resolving power of detector could not be varied during the experiment.

Taking into account that α spectrometry requires an additional radiochemical preparation of samples, in the domain of actinide's activity measurements, priority can be given to the methods using X-ray spectrometry.

REFERENCES

[1] Justin E.: A review of application of mass spectrometry to low radionuclide metrology, Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research, 223 (1984), p. 349-355

[2] Kazuhisa Komora, Masauoba Sakanone: Determination of ^{240}Pu/^{239}Pu ratio in environmental samples based on measurement of Lx/γ activity ratio, Health Physics, Vol. 46, No. 6, (1984), p. 1213-1219

[3] I. S. Sherman, M. G. Strauss: Measurement of trace radionuclides in soil by L X-ray spectrometry, IEEE Trans. On Nucl. Sci., Vol. NS-27, No. 1, (1980), p. 695-703

[4] M. G. Strauss, I. S. Sherman: X/gamma-ray measurement of total activity in environmental samples without prior knowledge of isotopes abundance, Nucl. Instr. and Meth., 193 (1982), p. 203-208

[5] M. G. Strauss, I. S. Sherman: Measurement of radioactivity in mount St. Helena volcanic ash by X/γ ray spectrometry, IEEE Trans. On Nucl. Sci., Vol. NS-28, No. 1, (1981), p. 244-248

[6] F. P. Brauer, J. M. Kelley,…: Measurement on environmental ^{241}Am and the Pu/^{241}Am ratio by photon spectrometry, IEEE Trans. On Nucl. Sci., Vol. NS-24, No. 1 (1977), p. 591-595

[7] S. Manić: Radiochemical determination of plutonium in atmosphere, Institute for physical chemistry PMF, Belgrade, 1990

SADRŽAJ

Cilj naših istraživanja je bio da uporedimo X i α spektrometrije za detekciju i identifikaciju α-emitera (nekih transuranskih elemenata i njihovih potomaka). Radioaktivne izvore, koje smo pripremili u našoj radiohemijskoj laboratoriji, smo merili na X i α spektrometrima. Poređenje X i α spektrometrija je pokazalo da je X spektrometrija brža i jeftinija metoda za identifikaciju i određivanje aktivnosti α-emitera i njihovih potomaka. Greške pri menrenju su bile manje od 10%.

RADIONUKLIDI U ZEMLJIŠTU I POVRTARSKIM KULTURAMA U OKOLINI NOVOG SADA

Ž.Đurčić, M.Krmar, J.Slivka,
I.Bikit, Lj.Čonkić, N.Žikić
Institut za fiziku, PMF,Novi Sad

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati radiološke kontrole kvaliteta zemljišta na nekoliko poljoprivrednih lokacija u okolini Novog Sada. Iz dobijene koncentracije radionuklida u zemljištu i poznatih transfer faktora radionuklida iz zemljišta u biljke je procenjen sadržaj radionuklida usvojen od strane gajenih povrtarskih kultura. Vrednosti dobijene direktnim postupkom merenja sadržaja radionuklida u samoj biljci ne prelaze dobijene procenjene vrednosti.

UVOD

Biljke u zavisnosti od svojih bioloških karakteristika mogu usvajati određene radionuklide iz zemljišta [1]. To je razlog zbog koga bi koncentracije aktivnosti radionuklida sa obradivih površina na kojima se uzgajaju biljke za ljudsku i stočnu ishranu, kao i transfer faktori radionuklida iz zemljišta u biljke, morali biti veoma dobro određeni.

Radionuklidi u zemljištu mogu biti prirodni i veštački. Dominantni deo prirodne radioaktivnosti potiče od radioaktivnih nizova dugoživećih prirodnih izotopa ^{238}U, ^{235}U i ^{232}Th. Izuzev članova pomenutih nizova postoji i nekoliko izdvojenih dugoživećih prirodnih izotopa, od kojih je ^{40}K u najvećoj meri zastupljen u zemljištu.. Koncentracija prirodnih radionuklida u zemljištu, posebno onih iz uranijumskih nizova, može biti povišena upotrebom veštačkih fosfatnih đubriva [2]. Fosfatne rude za proizvodnju veštačkih đubriva sadrže merljivu količinu urana. Dodatnu mogućnost za kontaminaciju zemljišta predstavljaju veštački proizvedeni izotopi, fisioni produkti koji u biosferu mogu stići nakon havarija nuklearnih elektrana i površinskih nuklearnih proba. Sa ekološke tačke gledišta, iz ove grupe radioizotopa njznačajniji je ^{137}Cs.

Usvajanje ^{226}Ra od strane nekih biljaka je praćeno sa dosta pažnje [3], dok su drugi radionuklidi, pogotovo u prirodnim uslovima ređe bili predmet interesovanja istraživača [4]. Postoje još i rezultati merenja koncentracije aktivnosti prirodnih radioizotopa u okolini rudnika urana kod određenog broja divljih i gajenih biljaka [5].

U radioekološkim studijama lanci ishrane se koriste za procenu ingestione doze koju čovek dobija od radionuklida u okolini. Svi modeli pri tome koriste transfer faktore kao kvantitativnu meru prelaska radionuklida iz jedne karike lanca u drugu. Određivanje transfer faktora zemljište-biljke koji se za dati radionuklid definiše kao odnos:

$$T_f = A_S^B / A_S^Z$$

gde je A_S^B- koncentracija aktivnosti radionuklida u biljci (Bq/kg), a A_S^Z- koncentracija aktivnosti radionuklida u zemljištu (Bq/kg), uz poznavanje prosečne upotrebe hrane biljnog porekla kod određene ljudske populacije kao i transporta radionuklida iz stočne hrane u meso i mleko, omogućava izračunavanje ingestionih doza direktno iz podataka za koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu [6].

Stoga je Laboratorija za Nuklearnu fiziku Instituta za fiziku iz Novog Sada u zadnjih nekoliko godina vršila radiološku kontrolu kvaliteta zemljišta na nekoliko poljoprivrednih lokacija u okolini Novog Sada [7]. Krajnji cilj je da se iz dobijene koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu i poznatih transfer faktora radionuklida iz zemljišta u biljke proceni sadržaj radionuklida usvojen od strane gajenih povrtarskih kultura. Preliminarni rezultati ovih istraživanja delom su prezentovani u ovom radu.

EKSPERIMENTALNA TEHNIKA

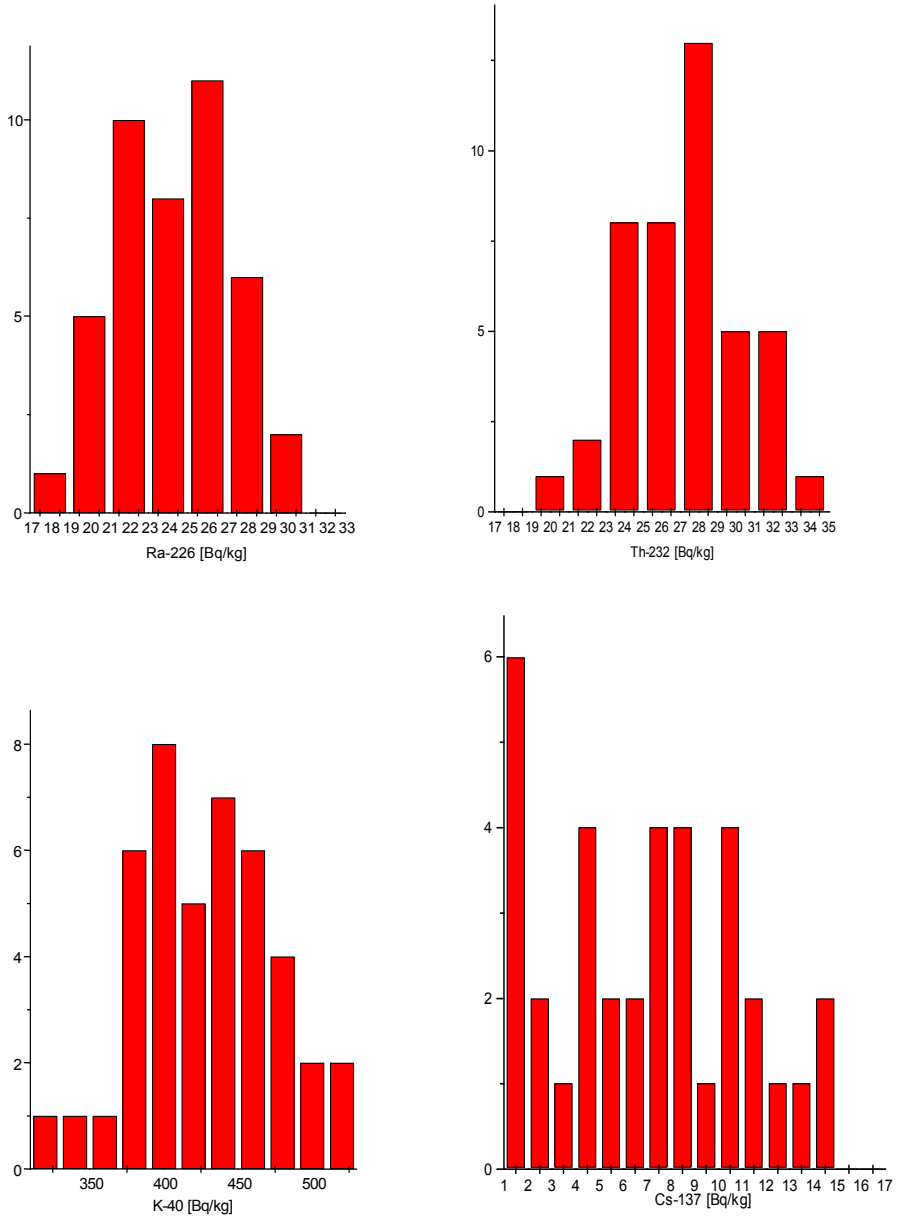
Koncentracija aktivnosti izabranih izotopa u zemljištu je merena upotrebom gama-spektrometrijske analize. Merenja su izvršena u niskofonskoj laboratoriji Instituta za fiziku u Novom Sadu. Upotrebljen je HPGe detektor sa efikasnošću 25% i rezolucijom 1.8 keV na ^{60}Co linijama. Detektor je zaštićen slojem gvožđa debljine 25 cm proizvedenog pre II Svetskog rata, tako da je dostignut integralni fon od 1.2 odbroj/s na energijskom intervalu 50keV do 3000keV. Uzorci zemljišta su nakon mehaničke obrade pakovani u plastične kontejnere i hermetički zatvoreni. Kada je radioaktivni niz u ravnoteži aktivnosti svih radionuklida su jednake što znači da koncentracija pojedinačnog radioizotopa može biti određena merenjem bilo kojeg člana niza. Zbog toga su uzorci mereni 40 dana nakon zatvaranja kontejnera kada je ravnoteža svih članova u nizu ^{238}U, posle ^{226}Ra, uspostavljena. Karakteristično vreme merenja pojedinačnog uzorka je bilo oko 24 časa. Određeni su intenziteti odgovarajućih gama- linija, a zatim je izračunata koncentracija aktivnosti prisutnih radionuklida u uzorcima zemljišta.

Budući da su transfer faktori u velikom broju slučajeva manji od jedinice, da bi im se vrednost dovoljno tačno odredila, poželjno bi bilo da nivo koncentracije aktivnosti analiziranih radionuklida u podlozi na kojoj su biljke uzgajane bude dovoljno visok za praćenje procesa transporta gama-spektrometrijskom tehnikom. Zbog toga je u prirodnim uslovima proučavan i kvantifikovan proces transporta i akumulacije ^{226}Ra, ^{238}U, ^{232}Th i ^{40}K iz zemljišta sa povišenim nivoom prirodne radioaktivnosti (jalovina rudnika Garbovica-Kalna) u biljke čiji se podzemni organi koriste u ljudskoj ishrani. Pri tome je nivo koncentracije aktivnosti analiziranih radionuklida bio ispod praga fitotoksičnosti čime je izbegnuto narušavanje normalnih fizioloških procesa u tkivima biljaka. Postupak je detaljno opisan u referenci [5].

REZULTATI I DISKUSIJA

Koncentracije aktivnosti prirodnih i veštačkih radioizotopa su izmerene za preko 40 uzoraka zemlišta iz okoline Novog Sada , sa lokacija na kojima se tradicionalno gaji povrće za tržište grada. Rezultati merenja prikazani su na Slici 1. Koncentracija ^{235}U je barem za jedan red veličine manja od ostalih merenih izotopa, često je istog reda veličine kao i eksperimentalna neodređenost, pa ovaj izotop nije posebno razmatran. Kod zemljišta

koja su izložena raznim atmosferskim i hidrološkim dejstvima, postoji velika verovatnoća da je u nizu ^{238}U došlo do narušenja radioaktivne ravnoteže kod dugoživećeg ^{226}Ra, a pošto se za određivanje koncentracije aktivnosti koriste gama linije post-radijumskih članova niza, korektnije je tvrditi da se dobijeni brojevi odnose na koncentraciju aktivnosti ^{226}Ra.



Slika 1: Distribucije izmerenih koncentracija aktivnosti izotopa ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K i ^{137}Cs u uzorcoma zemljišta.

Koncentracija aktivnosti u merenim uzorcima zemljišta za ^{226}Ra je u opsegu 17-31 Bq/kg, za ^{232}Th 19-35 Bq/kg, za ^{40}K između 321 i 515 Bq/kg i za ^{137}Cs od 1 do 15 Bq/kg. Ako uzmemo maksimalne vrednosti iz ovih distribucija, i na osnovu poznatih transfer faktora procenimo koncentracije merenih izotopa usvojenih od strane gajenih povrtarskih kultura, dobijamo da ove koncentracije nisu manje od vrednosti dobijenih direktnim postupkom merenja sadržaja radionuklida u samoj biljci. Kao primer u Tabeli 1 poslužiće nekoliko biljaka kojima su određeni transfer-faktori i direktno izmerena koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida.

Tabela 1: Procenjene i izmerene vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida za neke biljne vrste

	Ra-226	Th-232	K-40
krompir-procena	<4.4	<1.75	<912
krompir-merenje	<2.3	<1.5	106
luk-procena	<5	<1	<204
luk-merenje	0.7	<1	103

LITERATURA

[1] Ibrahim S.A. and Whicker F.W., Environ. Exp. Bot., Oxford, vol.27, 203-213 (1987)

[2] Manojlović M., Bikit I.,Slivka J.,Vesković M.,Čonkić Lj., Dozet D. and Krmar M., Rev. of Res., Agrocultural Institute of Novi Sad, 16, 11-27 (1989)

[3] Bettencourt A.O. et. al., J. of Environ. Radioactivity 6, 49-60 (1988)

[4] Šiškunova L.V., Graščenko S.M., Strukov V.N., Radiohimiya,30.No.3, 385-39(1988)

[5] Bikit I.,Sarić M.,Čonkić Lj.,Slivka J.,Krmar M., XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Bečići 1995, 221-224 (1995)

[6] Cohen B.L., Health Physics, 49,(2) 239-245 (1985)

[7] Bikit I., Slivka J.,Krmar M.,Čonkić Lj.,Vesković M., Đurčić Ž.,Žikić N., Cont. paper to 3rd International Symposium Interdisciplinary Reg. Res., Novi Sad (1998)

ABSTRACT

The results of radiological control of soil from the fields for vegetable breeding in Novi Sad region are presented in this paper. Using obtained values of concentration activity and known transfer-factors contents of some radionuclides in several vegetables was estimated. The values of activity concentration obtained by direct measurements are lower than estimated ones.

MEĐUSOBNI ODNOSI RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU

M. Krmar, J. Slivka, Ž. Đurčić,
N. Žikić, I. Bikit, Lj. Čonkić
Institut za Fiziku, PMF, Novi Sad

SADRŽAJ

U radu su izneti rezultati istraživanja međusobnih zavisnosti koncentracija aktivnosti nekolicine radioiztopa koji se pojavljuju u obradivom zemljistu: ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K i ^{137}Cs. Na osnovu više od 100 izmerenih uzoraka zemljišta iz okoline Novog Sada moguće je uočiti da postoji u izvesnoj meri izražena linearna zavisnost između koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida dok se nikakva korelacija između cezijuma i ostalih prirodnih radionuklida ne primećuje.

UVOD

U svim uzorcima zemljišta, bez obzira na njihovo poreklo moguće je detektovati određenu aktivnost koja potiče od prisustva prirodnih i veštačkih radionuklida. Ukupnoj aktivnosti koja potiče od prirodnih radionuklida doprinos daju prvenstveno članovi radioaktivnih nizova dugoživećih izotopa ^{238}U, ^{235}U i ^{232}Th. Osim pomenutih, u prirodi je još dosta rasprostranjen i ^{40}K koga ima 0.0117% u prirodnom kalijumu i koji takođe ulazi u sastav zemljišta. Nakon nadzemnih proba nuklearnog oružija i havarija na nuklearnim elektranama u biosferu je dospeo i izvestan broj veštačkih radionuklida od kojih se izvesna aktivnost zadržala u zemljištu. Iz ove grupe je svakako najznačajniji ^{137}Cs zbog svog dugog perioda poluraspada i potencijalne biološke opasnosti. Fosfatna veštačka đubriva se proizvode od sirovina koje načešće sadrže i izvesne količine urana u sebi tako da radioizotopi iz dva uranova niza primenom ovih đubriva mogu dospeti u obradivo zemljište. Koncentracije aktivnosti radioizotopa u obradivom zemljištu je veoma važno poznavati s obzirom da biljke uzimaju iz zemljišta i neke radioaktivne elemente i ugrađuju ih u svoja tkiva tako da se kroz lance ishrane ovi izotopi mogu uneti u ljudski organizam.

Obradiva zemljišta su nastala mešanjem produkata mehaničkog raspada stena sa organskom komponentom. Koncentracije aktivnosti pojedinih prirodnih radioaktivnih elemenata u stenama, dobro su poznati [1 , 2] i kreću se u dosta širokom opsegu veličina, od bazalta do sienita, kao što se to može videti u Tabeli 1. Obradiva zemljišta na teritoriji Vojvodine u svojoj neorganskoj komponenti najvećim delom sadrže silikate pošto su nastala raspadom granitnih stena za koje je karakeristična viša koncentracija torijuma od urana što se takođe može videti u Tabeli 1. Kako su zemljišta nastala mešanjem raznih komponenti, i neorganskih i organskih, a sastav im se razlikuje od lokacije do lokacije, za očekivati je da će i prisustvo radioizotopa biti detektovano u dosta širokom opsegu veličina. U ovom radu je učinjen pokušaj da se iz bogate sistematike merenih vrednosti

koncentracija aktivnosti prirodnih radioizotopa i ^{137}Cs u uzorcima zemalja iz okoline Novog Sada [3] kao i sa teritorije samog grada ustanovi da li se može uočiti međusobna zavisnost u prisutnosti pomenutih izotopa.

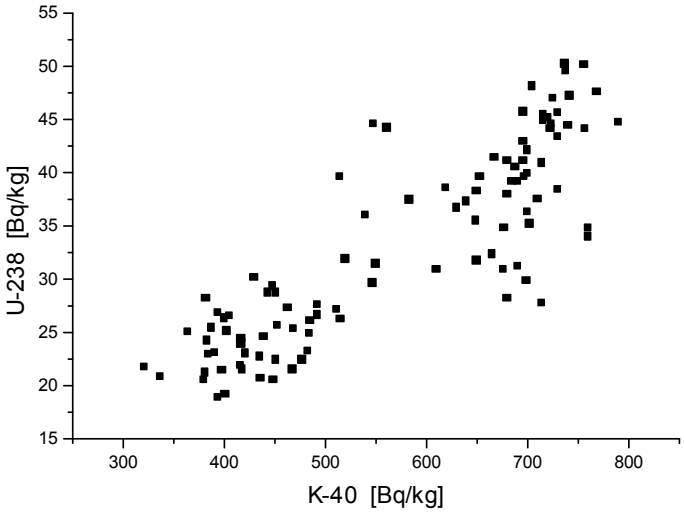
Tabela 1. Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u nekim stenama

stena	^{238}U [Bq / kg]	^{232}Th [Bq / kg]	^{40}K [Bq / kg]
bazalt	5.3	6.5	210
sieniti	102.0	69.2	1400
granit	59.7	87.5	1290

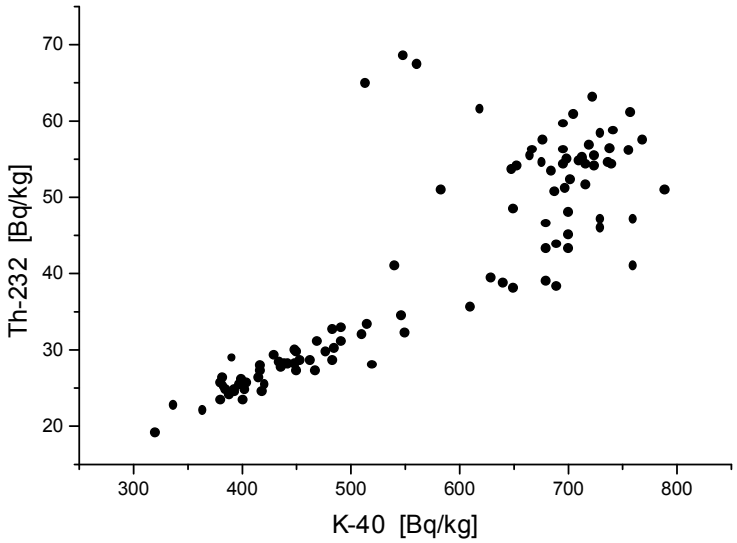
MERENJA I REZULTATI

Zemljišta su uzorkovana sa raznih lokacija na široj teritoriji Novog Sada i sa raznih dubina. Nakon sušenja i mehaničke obrade, uzorci su pakovani u plastične kontejnere cilindičnog oblika D=6.7 cm H=6.2 cm koji su hermetički zatvarani. Ovako upakovani uzorci su ostavljani da odleže oko mesec dana da bi se postigla radioaktivna ravnoteža post-radonskih članova niza ^{238}U. Nakon toga su pomoću HPGe detektora snimani spektri gama zračenja uzoraka. Vreme snimanja je bilo najmanje 24 časa. Detektor je zaštićen sa 25 cm gvožđa izlivenog pre drugog svetskog rata tako da su postignuti niskofonski uslovi - integralni fonski odbroj od 50 d0 3000 keV je bio manji od 1.2 ipulsa u sekundi. Na osnovu odabranih gama linija iz dobijenih spektara izračunavane su koncentracije aktivnosti za ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K i ^{137}Cs.

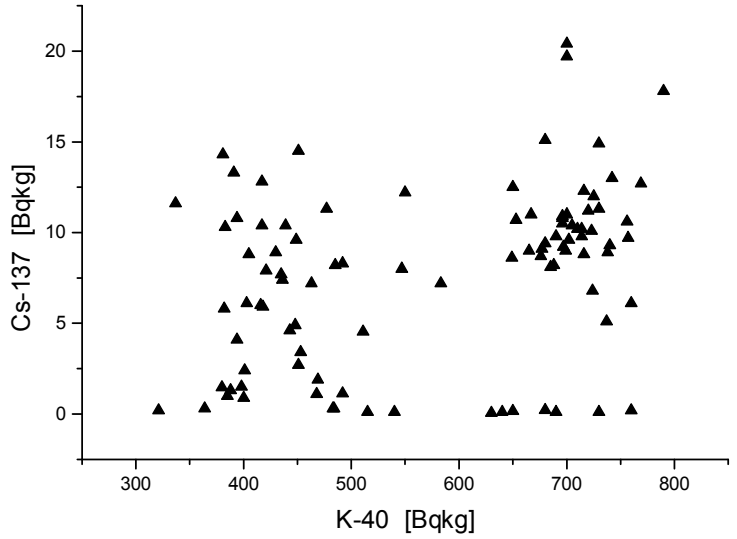
Koncentracija aktivnosti ^{235}U u izmerenim uzorcima je bila red veličine manja od koncentracije aktivnosti ^{238}U i ^{232}Th tako da se njegovo prisustvo u zemljištima nije posebno analiziralo. Zavisnost koncentracija aktivnosti ^{238}U, ^{232}Th i ^{137}Cs od ^{40}K prikazane su na Slikama 1, 2 i 3.



Slika 1. Zavisnost koncentracije aktivnosti ^{238}U od ^{40}K



Slika 2. Zavisnost koncentracije aktivnosti ^{232}Th od ^{40}K



Slika 3. Zavisnost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs od ^{40}K

ZAKLJUČAK

Sa priloženih grafika očigledno je da ne postoji nikakva zavisnost između koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K. Cezijum je u zemljište dospeo nakon černobilske havarije sa padavinama, i koncentracija mu je varirala od lokacije do lokacije. Nakon toga mu je koncentracija u površinskom sloju opadala, uglavnom putem ispiranja padavinama, što je takođe zavisilo od lokalnih hidroloških prilika. Budući da prikazani rezultati potiču od merenja u poslednjih deset godina, više vrednosti koncentracije aktivnosti cezijuma potiču od skorijih merenja.

Koncentracija aktivnosti ^{232}Th u merenim uzorcima kreće se od 19 pa sve do 70 Bq/kg. Sa Slike 2 je moguće uočiti tendenciju porasta koncentracije aktivnosti ^{232}Th sa porastom koncentracije ^{40}K. Za niže vrednosti koncentracija obeju izotopa ta se tendencija može pretstaviti linearnom zavisnošću i njihov međusobni odnos je veoma sličan odnosu koji je izmeren i u granitu. Za niže vrednosti koncentracija aktivnosti ovih izotopa uočava se znatnija disperzija.

Slična zavisnost postoji i između koncentracije aktivnosti ^{238}U i ^{40}K, samo je u ovom slučaju i disperzija merenih vrednosti znatno jače izražena. Kod raznih geoloških uzoraka veoma često postoji sumnja da je radioaktivna ravnoteža kod niza ^{238}U narušena kod dugoživećeg ^{226}Ra zbog različitog hemijskog ponašanja ova dva elementa. Gama spektrometrijsko određivanje prisustva ^{238}U najčešće se izvodi pomoću intenzivnih gama linija post radijumskih članova niza tako da se ne može kod svakog prirodnog uzorka godinama izloženog raznim uticajima sa sigurnošću tvrditi da postoji radioaktivna ravnoteža i da je koncentracija ^{238}U u potpunosti tačno određena. Ova pojava bi delom mogla biti uzrok znatno većeg rasturanja izmerenih tačaka nego što je to uočeno kod ^{232}Th.

LITERATURA

[1] Milovski A.V.: Minerology and Petrography, Mir Publishers, Moscow (1982)

[2] Foure G.: Principles of isotope geology, John Wiley and Sons, New York, (1987)

[3] Slivka J., Čonkić Lj., Vesković M., Krmar M., Bikit I.: Radioaktivnost životne sredine u Vojvodini, Interna publikacija PMF Novi Sad, (1991)

[4] Bikit I., Slivka J., Krmar M., Čonkić Lj., Vesković M., Đurčić Ž., Žikić N.: 3rd International Symposium Regional Research, Contributed papers 143, (1998)

ABSTRACT

The dependence of the concentration activity of ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, and ^{137}Cs on ^{40}K concentration activity in soil samples is presented in this paper. According to the more than 100 measured samples it can be concluded that linear dependence between natural isotopes was observed and correlation between ^{137}Cs and natural isotopes does not exist.

GAMASPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE NIVOA AKTIVNOSTI ^{137}Cs U HRANI

Lj. Janković, M. Mišović, S. Dželajlija
Vojnomedicinska akademija, IMR ZPM Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati kontrole nivoa aktivnosti ^{137}Cs u različitim uzorcima hrane sakupljene u periodu dve godine (1997-1999). Uzorci su analizirani gamaspektrometrijski na HP Ge detektoru, efikasnosti 30%. U svim uzorcima sadržaj ^{137}Cs je manji od 1 Bq/kg ili 1 Bq/l.

UVOD

Radioaktivne supstance prirodnog i proizvedenog porekla brzo se uključuju u lanac ishrane i migracijom preko vazduha, vode, zemljišta, biljnih i životinjskih proizvoda dospevaju do čoveka. Ispitivanje sadržaja radionuklida je veoma značajno sa aspekta radijacionog opterećenja ljudi. Hrana se može kontaminirati radioaktivnim supstancama: neposredno, taloženjem radionuklida na površini nezaštićenih namirnica i posredno ako su proizvedene od biljaka i životinja koje su radioaktivno kontamirane. Sadržaj radionuklida u hrani zavisi od vrste (biljne i životinjske) i oblika namirnica (sveže i koncentrovane), sirovina za njihovu proizvodnju, tehnološkog postupka obrade i prerade, načina pakovanja, prevoza, skladištenja, karakteristika radioaktivnog zagađivača i vremena izlaganja.

Od posebnog značaja su biološki značajni radionuklidi, kao što je ^{137}Cs (fisioni produkt, gama - beta emiter sa vremenom poluraspada 30 godina). Joni Cs u organizmu ponašaju analogno kalijumu i prate njegov metabolizam. Njihova apsorpcija u krvi je potpuna. Biokinetika izlučivanja Cs iz ljudskog organizma odlikuje se širokom varijabilnošću, koja zavisi od godina starosti, pola, veličine mišićne mase, sadržaja K u organizmu i drugih parametara.

Nekada se Cs široko koristio u medicini, danas je njegova upotreba svedena na najmanju moguću meru. Prema tome glavni izvor kontaminacije ljudi sa Cs je hrana. Kao posledica Černobiljskog akcidenta u većini zemljama sveta došlo je do povećanja nivo aktivnosti Cs u hrani. Izvršen je veliki broj merenja u periodu od 1986.godine do danas.

MATERIJAL I METODE

Analizirano je 260 različitih uzoraka hrane iz slobodne prodaje koji su sakupljeni metodom slučajnih uzoraka. To su uzorci različitih proizvođača, pripreme, obrade, pakovanja, datuma proizvodnje. Svi uzorci su homogenizovani (usitnjeni,

izmleveni, izmešani) i mereni 3600-40000 s u nativnom stanju u standardnoj Marineli posudi od 1 l.

Uzorci su analizirani gamaspektrometrijskom metodom na poluprovodničkom HP Ge EG&G ORTEC detektoru rezolucije 1.85 keV na 1332 keV i efikasnosti 30%. Prednost ove metode je što se uzorci mogu meriti posle minimalne pripreme koja se sastoji samo u njihovoj homogenizaciji. Za analizu spektra koristio se softverski paket firme EG&G ORTEC koji se sadrži: softver (Maestro II, model A64 - BI, kvantitativni gama - softver, model B30 - BI, glavnu biblioteku nuklida model A53 - BI).

Tabela 1. Sadržaj ^{137}Cs u hrani u periodu 1997 - 1999.godine

UZORCI	Aktivnost ^{137}Cs [Bq/kg ili Bq/l]		
	min vrednost	srednja vrednost	max vrednost
mleko	<0,14	<0,24	<0,35
mleko u prahu	<0,83	<2,64	<4,35
trapist	<0,29	<0,73	<1,07
mleko za bebe	<0,34	<1,68	<2,22
kravlji sir	<0,23	<0,43	<0,68
jogurt	<0,27	<0,53	<1,08
hleb	<0,18	<0,93	<2,56
pšenično brašno	<0,20	<0,42	<0,87
kukuruz.brašno	<0,06	<0,38	<0,65
pirinač	<0,28	<0,58	<2,39
testenine	<0,14	<0,62	<1,98
griz	<0,13	<0,62	<1,98
svinjsko meso	<0,185	0,50	<1,07
juneće meso	<0,34	<0,71	<2,28
pileće meso	<0,15	<0,47	<0,58
riba	<0,18	<o,49	<0,89
salama	<0,75	<0,93	<2,11
pašteta	<0.24	<0.49	<0,65
pasulj	<0,15	<0,38	<0,54
krompir	<0,32	<0,59	<1,09
kupus	<0,20	<0,47	<1,05
cvekla	<0,14	<0,43	<0,54
crni luk	<0,42	<0,75	<1,83
beli luk	<0,35	<0,98	<2,05
šargarepa	<0,38	<0,72	<1,38
paradajz	<0,15	<0,39	<0,56
sušeni krompir	<0,48	<0,96	<1,71
sušeni crni luk	<0,78	<3,36	<5,56
jabuke	<0,29	<0,39	<0,52
jaja	<0,12	<1,26	<6,52
šećer	<0,14	<0,43	<1,40
kuhinjska so	<0,30	<0,98	<1,33
začin c	<0,40	<0,66	<1,23
med	<0,12	<0,99	<1,95
čaj	<0,67	<1,89	<2,16
kafa	<0,65	<1,14	<1,53

REZULTATI I DISKUSIJA

Prehrambeni proizvodi i proizvodi opšte upotrebe moraju da zadovoljavaju određene radijaciono - higijenske uslove. To konkretno znači da u navedenim proizvodima sadržaj biološki značajnih radionuklida ne sme biti iznad donje granice detekcije sistema za gamaspektrometriju visokog stepena rezolucije Ovaj normativ zasnovan na ALARA principu koji je usvojen i propisan od strane IAEA.

Za sve analizirane uzorke određene su srednje, minimalne i maksimalne vrednosti ^{137}Cs. Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 1.

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da u svim analiziranim uzorcima nivo aktivnosti ^{137}Cs je manji od 1 Bq/kg ili 1 Bq/l tj. aktivnosti su na nivou fona.

LITERATURA

[1] Petrović B., Mitrović R. Radijaciona higijena u biotehnologiji, Naučna knjiga, Beograd, 1991

[2] IAEA. A Guidebook - Measurement of radionuclides in food and the environment, Vienna, 1989

[3] Vuković D., Mitrović R.,Vićentijević M., Kljajić R. Veterinarsko - sanitarni nadzor namirnica sa radijaciono higijenskog aspekta u graničnom prometu, XIX Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Zbornik radova, Golubac, 1997;187-191

ABSTRACT

THE GAMMA SPECTROMETRY MONITORING THE ACTIVITY LEVEL OF ^{137}Cs IN FOOD

Lj.Janković, M.Mišović, S.Dželajlija
VMA, IMR ZPM Beograd

In this work, we were monitoring of activity level of ^{137}Cs in different samples of food in period of two years (1997 - 1999).The experiment were carried out by gamma spectrometer with HP Ge detector relative efficiency of 30%.The activity level was bellow 1 Bq/kg or 1 Bq/l.

GAMASPEKTROMETRIJSKA ANALIZA REČNIH I PIJAĆIH VODA JUGOSLAVIJE

D. Vuković
KCS, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu, Beograd,
e.mail:DEJANA@lotos.ffh.bg.ac.yu

SADRŽAJ

Radionuklid ^{137}Cs je beta-gama emiter. Biološka specifičnost radionuklida ^{137}Cs je što se joni cezijuma u organizmu ponašaju analogno kalijumu, pa se time nalaze u ćelijama organizama. Biološko vreme poluraspada za ovaj radionuklid iznosi 20-140 dana i razlikuje se od vrste do vrste. Rezultati merenja ukazuju na prisustvo ovog radionuklida na granici detekcije u rečnim i pijaćim vodama.

O ZRAČENJU

Tačno je da zračenje može biti opasno i da njegova nepažljiva upotreba može da izazove razna oštećenja i bolesti počev od crvenila kože do kancerogenih oboljenja. Međutim, manje je poznato da su danas dejstva i efekti zračenja svestarno ispitani i kvalifikovani kao i da se tehnologije zaštite od zračenja nalaze na zavidnom nivou.

Zaštita od zračenja je skup mera za zaštitu pojedinca, njihovog potomstva i celog ljudskog roda, koja ipak dozvoljava potrebne aktivnosti iz kojih može da rezultuje izlaganje zračenju.

Cilj zaštite od zračenja je da spreči nestohasatičke efekte, a da verovatnoću stohastičkih efekata ograniči na nivoe koji se mogu smatrati kao prihvatljivim. Dodatni cilj je da obezbedi da budu opravdane aktivnosti koje obuhvataju izlaganje zračenju.

U zaštiti od zračenja odgovori na pitanje šta je razumno nizak nivo doze, zavise od analize koja pokazuje cenu i korist za jednu tehnologiju ili proizvod iz kojih rezultuje izlaganje zračenju.

U našoj zemlji probleme mera i mernih jedinica reguliše Zakon o merama i mernim jedinicama, Sl. list SRJ, 1980 g. U zakonu o merama i merilima pod rednim brojevima od 44 do 46, date decembra 1980, prikazane su definicije triju izvedenih veličina koje se odnose na oblast jonizujućeg zračenja.

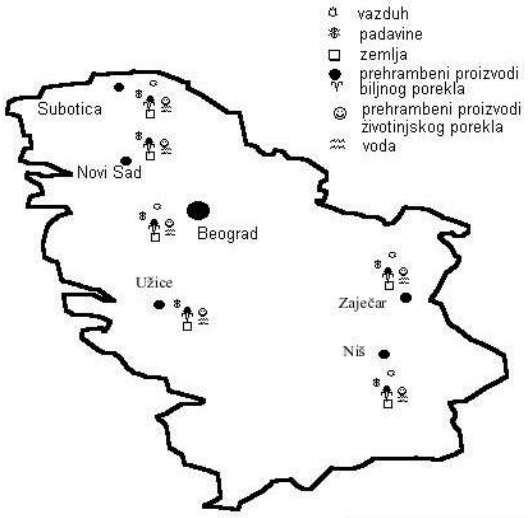
Radi preventivne zaštite zdravlja stanovništva i čovekove sredine od štetnog dejsta jonizujućeg zračenja u Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu sprovodi se kontinuirano ispitivanje kontaminacije radioaktibnim elementima različitih uzoraka iz životne sredine. Ispitivanje svih vrsta uzoraka vrši se na određenim mestima na teritoriji Republike Srbije, u određenim vremenskim periodima, metodama koje su propisane propisima [2,3].

METODA

Monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini obuhvata sistem vertikalne analize: vazduh, padavine, zemljište, vode biljke, životinje i na kraju čovek. Sistematsko ispitivanje ovih uzoraka vrši se na određenim mestima na teritoriji Republike Srbije, (Sl.1),i u određenim vremenskim intervalima, po metodama koje su određene propisima [2,3].

Monitoring radioaktivnosti rečnih i pijaćih voda sprovodi se merenjem aktivnosti ^{137}Cs koji je zbog svog dugog vremena poluraspada i svoje radiotoksičnosti ima poseban značaj u prevenciji i monitoringu radijacionohigijenskog ciklusa stanovništva. Sakupljanje uzoraka rečnih i pijaćih voda, vrši se po periodima.

Aktivnost ^{137}Cs određivana je gamaspektrometrijski. Ova metoda omogućava kvalitativno i kvantitativno određivanje prisustva radionuklida u različitim uzorcima. Prednost ove metode nad drugim je što se uzorci mogu meriti posle minimalne pripreme, koja se sastoji samo u njihovoj homogenizaciji. Za merenje korišćen je čisti germanijumski detektor efikasnosti 25% i rezolucije 1.85KeV (na 1.332 MeV).



Slika 1. Mesta sakupljanja uzoraka u Republici Srbiji

REZULTATI

Rezultati merenja ^{137}Cs, određeni gamaspektrometrijski u rečnim vodama, prikazani su u tabelama, za Dunav, Savu, Begej, Tisu, Nišavu i Timok.

Rezultati merenja ^{137}Cs, određenog gamaspektrometrijski u pijaćim vodama, prikazani su u seriji tabela. Kao što se da videti za Beograd, Niš i Novi Sad uzorkovanje je kontinuirano cele godine, a za ostala mesta, Paraćin, Zaječar, Zlatibor (dva uzorka) Ćuprija, Jagodina, Pirot, Negotin, Nišku Banju, Kladovo, Požarevac, Požegu, Golubac, Užice, Lazarevac, Čačak, Ljig, Knjaževac, Aleksinac, Donji i Gornji Milanovac uzima se uzorak dva puta godišnje.

Tabela 1. ^{137}Cs (Bq/m^3)

Mesto	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.
D U N A V												
Zemun	<0.013 <0.015 <0.014	<0.014 <0.029 <0.040	<0.014 <0.032 <0.020	<0.031 <0.030 <0.030	<0.040 <0.034 <0.033	<0.031 <0.047 <0.032	<0.010 <0.044 <0.028	<0.026 <0.051 <0.022	<0.032 <0.032 <0.032	<0.027 <0.026 <0.015	<0.036 <0.014 <0.045	<0.053 <0.039 <0.042
Smed.	<0.017	<0.018	<0.064	<0.029	<0.036	<0.040	<0.052	<0.027	<0.071	<0.047	<0.047	<0.080
Prah.	<0.027	<0.020	<0.024	<0.024	<0.008	<0.026	<0.013	<0.024	<0.019	<0.060	<0.050	<0.018
Bezdan	<0.013	<0.019	<0.009	<0.012	<0.009	<0.020	<0.020	<0.020	<0.053	<0.045	<0.050	<0.016
S A V A												
Beogr.	<0.016 <0.019 <0.013	<0.019 <0.018 <0.028	<0.017 <0.030 <0.015	<0.037 <0.016 <0.035	<0.042 <0.035 <0.028	<0.042 <0.040 <0.028	<0.068 <0.139 <0.027	<0.104 <0.026 <0.086	<0.080 <0.105 <0.020	<0.026 <0.091 <0.030	<0.103 <0.037 <0.045	<0.029 <0.012 <0.096

Tabela 2. ^{137}Cs (Bq/m^3)

Mesto	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov	dec.
B E G E J												
Zrenj.	<0.019	<0.013	<0.025	—	<0.017	<0.037	<0.017	<0.027	<0.035	<0.046	<0.071	<0.083
T I S A												
Kanj.	<0.037	—	<0.072	<0.027	<0.015	<0.026	<0.026	<0.068	<0.045	<0.036	<0.031	<0.050
N I Š A V A												
Pirot	<0.018	<0.035	—	<0.045	<0.033	<0.029	<0.028	<0.024	<0.052	<0.039	<0.057	<0.075
T I M O K												
Beogr.	<0.025	<0.028	<0.026	<0.025	<0.037	—	<0.028	<0.018	<0.044	<0.075	<0.065	<0.029

Tabela 3. ^{137}Cs (Bq/m^3)

jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov	dec.
B E O G R A D											
<0.004	<0.006	<0.006	<0.007	<0.006	<0.002	<0.005	<0.003	<0.002	<0.006	<0.001	<0.003
N I Š											
<0.014	<0.031	<0.016	—	<0.071	<0.030	<0.520	<0.017	<0.032	<0.032	<0.027	<0.016
N O V I S A D											
<0.015	<0.014	<0.015	<0.030	<0.025	<0.039	<0.030	<0.015	<0.017	<0.023	<0.016	<0.022
K R A G U J E V A C (jezero[1] i vodovod[2])											
— [2] <0.044	— [2] <0.040	[1] <0.009 [2] <0.054	[1] <0.020 [2] <0.034	[1] <0.013 [2] <0.006	[1] <0.008 [2] <0.017	— [2] <0.050	— [2] <0.059	— [2] <0.032	— [2] <0.027	— [2] <0.020	— [2] <0.020

Tabela 4.

MESTO	MESEC	^{137}Cs (Bq/l)
Aleksinac	mart	< 0.102
Čačak	decembar	< 0.107
Ćuprija	mart	< 0.057
	decembar	< 0.117
Donji Milanovac	mart	< 0.099
Gornji Milanovac	decembar	< 0.230
Jagodina	mart	< 0.049
	decembar	< 0.035
Kladovo	septembar	< 0.046
Knjaževac	septembar	< 0.045
Lazarevac	decembar	< 0.081
Ljig	decembar	< 0.114
Negotin	mart	< 0.104
Paraćin	mart	< 0.030
	decembar	< 0.069
Pirot	mart	< 0.047
	decembar	< 0.057

ZAKLJUČAK

Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da je aktivnost ^{137}Cs u svim uzorcima vode, kako rečnih tako i pijaćih voda na teritoriji republike Srbije na samoj granici detekcije, za 1998-u godinu.

LITERATURA

[1] Ivan Draganić:Radioaktivni izotopi i zračenja, knjiga 1, 1981 Beograd

[2] Pravilnik o mestima i vremenskim intervalima sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini, ranom otkrivanju i obaveštavanju radioaktivne kontaminacije, Službeni list SFRJ, br 84, 1991

[3] Pravilnik o mestima i rokovima ispitivanja kontaminacije radioaktivnim materijama vazduha, zemljišta, reka, jezera i mora, čvrstih i tečnih padavina, vode za piće, ljudske i stočne hrane, Službeni list SFRJ, br 40, 1986

[4] Radioaktivnost u životnoj sredini u republici Srbiji, 1997 g.

ABSTRACT

Radionuclid ^{137}Cs is beta-gamma emitter. Biological specificity of radionuclid ^{137}C is that he can be switched by potassium ion into the body and could be fined in cells. Biologically time of half time of emission for that radionuclid is 20-140 days and and it is different from population to populations. Results of measurements indicate that this radionuclid is present on the border of detentions used methods in both types of waters, from rivers and city drinking container..

KVALITET VODE ZA PIĆE SA ASPEKTA RADIJACIONE HIGIJENE

Lj. Javorina, G. Pantelić, I. Petrović
KCS, Institut „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati višegodišnjeg sistematskog praćenja radiološke podobnosti vode za piće, poreklom sa teritorije republike Srbije. Svi uzorci su analizirani na ukupnu alfa i ukupnu beta aktivnost, u skladu sa preporukama Svetske Zdravstvene Organizacije o kontroli radioaktivnosti pijaće vode.

UVOD

Jonizujuće zračenje iz prirodnih ili veštačkih izvora permanentno utiču na čovečiji organizam. Značajnu ulogu u ukupnom ozračivanju stanovništva između ostalog ima sadržaj radionuklida u vodi za piće. Doza ozračivanja organizma od radionuklida unetih vodom za piće zavisi od količine unetih radionuklida i od njihovog metabolizma i kinetike u organizmu.

Proračun tolerantnog sadržaja radionuklida u vodi za piće zasniva se na ukupnoj količini radionuklida unetih u organizam u toku jedne godine pri konzumiranju 2 litra vode dnevno, uzimajući u obzir parametre metabolizma kod odraslog referentnog čoveka.

Svetska Zdravstvena Organizacija preporučuje korišćenje srednjih vrednosti ukupnih specifičnih aktivnosti α i β nestabilnih radionuklida za rutinsku kontrolu vode za piće. Te vrednosti su 0.1 Bq/l za ukupnu α i 1Bq/l za ukupnu β aktivnost. U skladu sa ovom preporukom doneti su novi zakonski propisi u našoj zemlji i to „Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće“ koji definiše radiološke osobine vode za piće [1].

Iako su nedavno doneti naši zakonski propisi koji se rukovode preporukama Svetske Zdravstvene Organizacije naš Institut je u svojoj dugogodišnjoj praksi ispitivanja radioaktivnosti voda za piće koristio navedeni kriterijum za rutinsku kontrolu po ugledu na naciolnalne institute zemalja širom Evrope koji su uključeni u monitoring radioakrtivnosti uzoraka iz životne sredine.

U sklopu poslova isipitivanja radioaktivnosti vode za piće po zahtevima raznih inspektorata sa teritorije Republike Srbije, vršena je analiza radioaktivnosti voda za piće u periodu od 1994–1999.godine po raznim kategorijama (izvorske, bunarske, vodovodske i mineralne vode).

METODA RADA

Analiza uzoraka vode za piće je vršena po sledećem postupku [2]:

– uparavanje 1 l vode do suva

– žarenje mineralnog ostatka na 450°C

– merenje ukupne α i β aktivnosti na proporcionalnom gasnom brojaču (Ar–CH_4) "COUNTMASTER" firme "ORTEC" efikasnosti 24%. Greška merenja iznosi 15%.

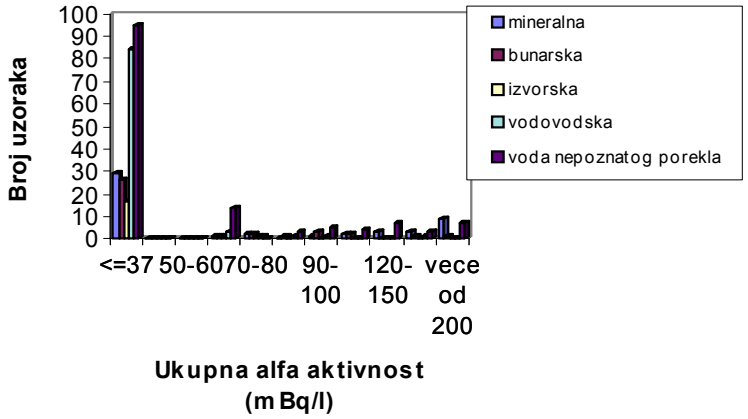
Ispitano je ukupno 361 uzorak vode. Izvršena je podela voda po poreklu u 5 kategorija: izvorske, mineralne, bunarske, vodovodske i pijaće vode bez naznake o poreklu.

REZULTATI I DISKUSIJA

Napravljena je baza podataka sa rezultatima ispitanih voda. U tabeli 1 je dat pregled analiziranih kategorija voda, i broj izvršenih analiza za svaku kategoriju.

Tabela 1. Pregled analiziranih voda za piće u periodu od 1994–1999g.

Kategorija voda	Mineralna	Izvorska	Bunarska	Vodovodna	Voda za piće nepoznatog porekla	Ukupno
Broj analiza	59	21	46	107	138	361
Broj voda sa prekoračenom α aktivnošću	17	4	0	1	21	43
Broj voda sa prekoračenom β aktivnošću	11	0	0	0	5	16



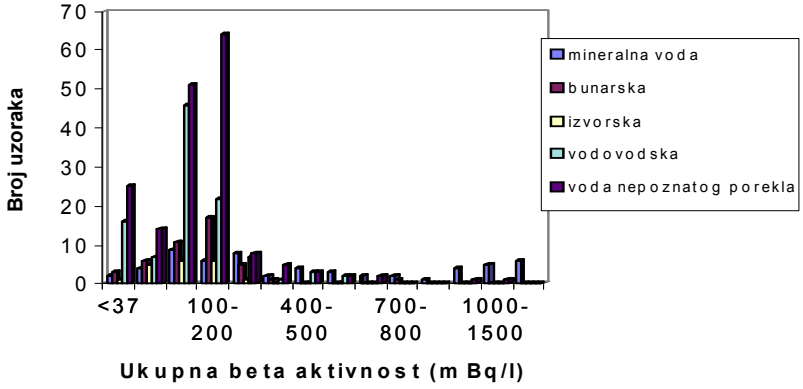
Slika 1. Raspodela kontrolisanih voda po izabranim intervalima ukupne alfa aktivnosti

Analizom rezultata merenja ukupne alfa i beta aktivnosti voda, utvrđeno je sledeće:

– U odnosu na kategoriju vode mineralne vode su imale najveću alfa i beta aktivnost: maksimalna ukupna α aktivnost je bila 2822 mBq/l i maksimalna ukupna β aktivnost je bila 5429 mBq/l,

– Nekategorisane vode su imale maksimalna ukupna α aktivnost 833 mBq/l i maksimalna ukupna β aktivnost 6855 mBq/l,

– Od ukupno 361 analiziraih voda 11.9% je imalo prekoračenu vrednost ukupne alfa aktivnosti i 4.4% prekoračenu vrednost ukupne beta aktivnosti.



Slika 2. Raspodela kontrolisanih voda po izabranim intervalima ukupne beta aktivnosti

Na slikama 1 i 2 su prikazane ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti voda za piće po kategorijama. Može se uočiti da većina analiziranih voda zadovoljava kriterijume ukupne alfa i beta aktivnosti za rutinsku proveru njihove upotrebljivosti za piće.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da je kriterijum procene podobnosti vode za piće zadovoljavajući za rutinsku proveru pijaćih voda.

LITERATURA

[1] "Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće", SL. SRJ 42/98

[2] R.Pavlović, S.Pavlović, T.Knežević: Nove preporuke Svetske Zdravstvene Organizacije za kontrolu radioaktivnosti vode za piće u svetlu izmena u međunarodnim standardima zaštite od zračenja", Zbornik radova Međunarodne konferencije "Kvalitet voda", 1998,pp.215–223

[3] Lj.Mijatović, I.Petrović, D.Vuković:"Kvalitet mineralnih voda za piće sa aspekta radijacione higijene" , časopis "Ekologica" posebno izdanje br.3, 1996.g., pp446–448

ABSTRACT

The study presents results of systematic monitoring of radiological acceptability of potable waters on the territory of the Republic of Serbia. All samples were analyzed for total alpha and total activity, in accordance with WHO recommendations on radioactivity control of potable water.

ISTRAŽIVANJE SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA NA PODRUČJU NIŠKE BANJE

G. Manić, D. Menković[1], S. Petrović[2], V. Manić[3]
Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika „Niš“,
[1] Institut za prevenciju, lečenje i rehabilitaciju reumatičnih i srčanih oboljenja „Niška Banja“,
[2] Direkcija za izgradnju grada Niša, Niš,
[3] Filozofski fakultet, SG za fiziku, Niš

SADRŽAJ

Određivan je sadržaj radionuklida u uzorcima mlevenog bigra koji se koristi u peloidoterapiji u Institutu „Niška Banja” kao i u uzorcima izvorskih voda Glavnog vrela i Školske česme u Niškoj Banji. Korišćena je metoda gamaspektroskopije sa HP Ge detektorom. Mleveni bigar je meren posle uspostavljanja radioaktivne ravnoteže ^{226}Ra - ^{222}Rn, 30 dana nakon hermetičkog zatvaranja uzorka. Određivanje sadržaja ^{222}Rn u izvorskim vodama Niške Banje, za trenutak uzorkovanja na vrelu, izvršeno je na osnovu eksperimentalnih rezultata za specifične aktivnosti ^{214}Pb i ^{214}Bi, nakon postizanja radioaktivne ravnoteže ^{222}Rn - ^{214}Bi.

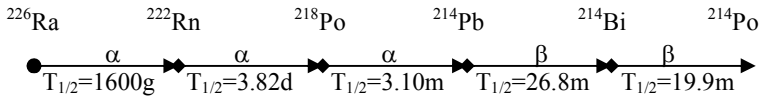
UVOD

Institut za prevenciju, lečenje i rehabilitaciju reumatičnih i srčanih oboljenja „Niška Banja“ iz Niške Banje u svom svakodnevnom radu koristi lekovito blato u pelidoterapiji. Ovo blato se spravlja mešanjem praha mlevenog bigra sa područja Niške Banje i banjske vode sa Glavnog vrela.

U cilju karakterizacije sirovina za izradu ovog lekovitog blata potrebno je izvršiti analizu sadržaja radionuklida. Osim Glavnog, karstnog vrela poznatog po radioaktivnosti još od 1909. godine [1] u Niškoj Banji se po sadržaju radona izdvaja Školska česma [2, 3].

TEORIJSKA RAZMATRANJA

^{222}Rn je proizvod radioaktivnog raspada ^{226}Ra, koji se odvija po shemi na slici 1.



Slika 1. Shema raspada ^{226}Ra -^{214}Po

Vode Niške Banje odlikuju se veoma niskim sadržajem ^{226}Ra (manje od 1Bq/l) [2], [3], a znatno većom aktivnošću ^{222}Rn, što se eksperimentalno pokazalo i u ovom radu. Zato je određivanje specifične aktivnosti ^{222}Rn u vodi, u trenutku uzorkovanja sa vrela, na osnovu aktivnosti njegovog drugog i trećeg potomka, ^{214}Pb i ^{214}Bi, moguće u slučaju postignute ravnoteže ^{222}Rn - ^{214}Bi.

Polazeći od teorije složenog radioaktivnog raspada [4] moguće je izvesti izraze za aktivnosti radionuklida ^{214}Pb i ^{214}Bi prisutnih u uzorku u funkciji vremena. Dobija se:

$$A_{^{214}Pb}(t) = A_{0^{222}Rn}(e^{-\lambda_1 t} + 0.128\,e^{-\lambda_2 t} - 1.128\,e^{-\lambda_3 t}) \quad (1)$$

$$A_{^{214}Bi}(t) = A_{0^{222}Rn}(e^{-\lambda_1 t} - 0.024\,e^{-\lambda_2 t} - 4.383\,e^{-\lambda_3 t} + 3.407\,e^{-\lambda_4 t}) . \quad (2)$$

U izrazima (1) i (2) $A_{0^{222}Rn}$ predstavlja aktivnost radona u početnom trenutku $t = 0$, odnosno trenutku uzorkovanja na izvoru. Parametri λ_1, λ_2, λ_3 i λ_4 su konstante poluraspada za ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb i ^{214}Bi, respektivno, i njihove vrednosti su poznate iz literature [4].

EKSPERIMENT

Mleveni bigar za spravljanje lekovitog blata je hermetički zatvoren u marineli posudu zapremine jedan litar. Posle trideset dana izvršena je gamaspektrometrijska analiza sadržaja radionuklida. Vreme snimanja spektra ovog uzorka je 300 ks. Izvršena je korekcija na fon koji je, takođe, sniman za vreme od 300 ks. Kalibracija sistema za niskofonsku gama spektroskopiju sa HP Ge detektorom relativne efikasnosti 25 % i FWHM = 1.85 keV (1332.51 keV) izvršena je uz pomoć marineli standarda, sa smešom radionuklida koji imaju gama prelaze u opsegu energija 40 – 2700 keV i čije su vrednosti aktivnosti u certifikatu specificirane uz mernu neodređenost ± 5% za nivo pouzdanosti 2σ.

Uzorci vode su hermetički zatvoreni u marineli posude zapremine jedan litar. Određivanje specifične aktivnosti ^{222}Rn, za trenutak uzorkovanja sa vrela, vršeno je na osnovu aktivnosti njegovog trećeg i četvrtog potomka ^{214}Pb i ^{214}Bi, za slučaj postignute ravnoteže ^{222}Rn - ^{214}Bi [4].

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja sadržaja radionuklida u uzorku mlevenog bigra, osnovne komponente za pripremu lekovitog blata, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Sadržaj radionuklida u uzorku mlevenog bigra

Redni broj	Radionuklid	Specifična aktivnost (Bq/kg)	Redni Broj	Radionuklid	Specifična aktivnost (Bq/kg)
1	^{212}Pb	8.4 ± 0.4	6	^{208}Tl	5.6 ± 0.3
2	^{214}Pb	253 ± 10	7	^{214}Bi	257 ± 1
3	^{235}U	2.9 ± 0.3	8	^{137}Cs	0.5 ± 0.2
4	^{228}Ac	12.9 ± 0.6	9	^{212}Bi	11.4 ± 1.5
5	^{226}Ra	259 ± 6	10	^{40}K	219 ± 4

Merna neodređenost sadržaja radionuklida prikazanih u tabeli 1 odnosi se na nivo pouzdanosti 2 σ Gauss-ove raspodele pri analizi spektralnih linija.

Iz tabele 1 vidi se da su u uzorku mlevenog bigra nađeni prirodni radionuklidi iz nizova raspadanja ^{238}U (^{226}Ra, ^{214}Pb, ^{214}Bi), ^{235}U, ^{232}Th (^{228}Ac, ^{212}Pb,^{212}Bi i ^{208}Tl), kao i prirodni izotop kalijuma ^{40}K. Od veštačkih radionuklida detektovano je prisustvo radionuklida cezijuma ^{137}Cs. Ujednačene aktivnosti ^{226}Ra, ^{214}Pb i ^{214}Bi (odstupanja manja od 2.4 %) ukazuju na dobro ispunjen uslov vekovne ravnoteže ^{238}U - ^{214}Bi, pa je $A_{238_U} = A_{226_{Ra}} = A_{214_{Pb}} = A_{214_{Bi}}$. Na taj način je moguće na osnovu aktivnosti bilo koga od navedenih potomaka ^{238}U izračunati masu ukupnog uranijuma prisutnog u uzorku.U tabeli 2 je masa ukupnog uranijuma sračunata na osnovu aktivnosti ^{214}Bi i poznatog podatka [4] o izotopskoj obilnosti ^{238}U.

Aktivnosti radionuklida iz prirodnog niza raspadanja ^{232}Th su za gotovo dva reda veličine manje u odnosu na aktivnosti članova ^{238}U niza. Masa ukupnog torijuma (tabela 2) određena je iz aktivnosti ^{228}Ac, drugog potomka u ovom nizu. Aktivnost ^{235}U direktno je odredjena na osnovu sopstvenih gama linija. Masa ukupnog kalijuma prisutnog u uzorku (tabela 2) je određena na osnovu aktivnosti izotopa ^{40}K. Merna neodređenost rezultata iz tabele 2 odnosi se na nivo pouzdanosti 2 σ Gauss-ove raspodele.

Tabela 2. Sadržaj ukupnog U, Th i K u uzorku mlevenog bigra

Masa ukupnog uranijuma (g/kg)	masa ukupnog torijuma (g/kg)	masa ukupnog kalijuma (g/kg)
0.021±0.005	0.0031±0.0001	6.48±0.13

U tabeli 3 dati su rezultati četiri merenja specifičnih aktivnosti ^{214}Pb i ^{214}Bi, trećeg i četvrtog potomka ^{222}Rn, respektivno, za uzorak vode glavnog vrela. U koloni 1 prikazana su vremena protekla od uzorkovanja sa izvora do trenutka koji se odnosi na sredinu intervala snimanja spektra. Vremena snimanja spektra su iznosila 3600 sekundi. U koloni 2 i 3 dati su odnosi specifičnih aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb na osnovu eksperimenta i na osnovu teorijskog razmatranja preko jednačina (1) i (2). Kolone 4 i 5 prikazuju rezultate merenja specifičnih aktivnosti ^{214}Pb i ^{214}Bi respektivno. U kolonama 6 i 7 date su vrednosti odnosa specifičnih aktivnosti ^{214}Pb(t), odnosno ^{214}Bi(t) i specifične aktivnosti $A_{0^{222}Rn}$ pri uzorkovanju. Na bazi ovih odnosa i merenih vrednosti specifičnih aktivnosti ^{214}Pb i ^{214}Bi, u kolonama 8 i 9 određene su aktivnosti $A_{0^{222}Rn}$ u trenutku uzorkovanja. $A_{0^{222}Rn}$ nije određivano za prvo prikazano merenje jer u tom slučaju nije ostvaren uslov ravnoteže (za ovo merenje je $t < 7\ T_{1/2}$).

Na osnovu n_1 rezultata, čiji je deo prikazan u tabeli 3, zaključuje se da specifična aktivnost izotopa ^{222}Rn, u trenutku uzorkovanja sa Glavnog vrela, ima vrednost:

$$A_{0^{222}Rn} = 177 \pm 4 \text{ Bq/l} \quad (n_1 = 21).$$

Analognim razmatranjem, za n_2 rezultata, dobija se vrednost specifične aktivnosti ^{222}Rn za školsku česmu:

$$A_{0^{222}Rn} = 546 \pm 9 \text{ Bq/l} \quad (n_2 = 21).$$

Tabela 3. Proračun specifične aktivnosti $A_{0^{222}Rn}$ (Bq/litar) na bazi $A_{^{214}Pb}$ i $A_{^{214}Bi}$ korišćenjem jednačina za složeni raspad ^{222}Rn za vodu Glavnog vrela

t (s)	A_{Bi}/A_{Pb} (EXP)	A_{Bi}/A_{Pb} (TEO)	A_{Pb} (EXP)	A_{Bi} (EXP)	A_{Pb}/A_{0Rn} (TEO)	A_{Bi}/A_{0Rn} (TEO)	A_{0Rn} na bazi A_{Pb}	A_{0Rn} na bazi A_{Bi}
3640	0.86	0.66	157	135	0.74	0.49	/	/
25860	1.02	1.00	168	171	0.95	0.95	177	180
94840	1.04	1.00	142	148	0.82	0.82	173	180
278910	1.02	1.00	97	99	0.56	0.56	173	176

ZAKLJUČAK

U radu je odredjen sadržaj radionuklida u uzorku mlevenog bigra koji se koristi u peloidoterapiji u institutu „Niška Banja“. Detektovani su prirodni radionuklidi iz nizova raspadanja ^{238}U (^{226}Ra, ^{214}Pb, ^{214}Bi), ^{235}U, ^{232}Th (^{228}Ac, ^{212}Pb,^{212}Bi i ^{208}Tl), kao i prirodni izotop kalijuma ^{40}K. Od veštačkih radionuklida detektovano je prisustvo izotopa cezijuma ^{137}Cs. Na osnovu izmerenih aktivnosti ^{214}Bi, ^{235}U, ^{228}Ac i ^{40}K, određena je masa ukupnog uranijuma, torijuma i kalijuma : 0.021 ± 0.005 g/kg, 0.0031 ± 0.0001 g/kg i 6.48 ± 0.13 g/kg, respektivno.

U radu je takođe određena aktivnost ^{222}Rn u trenutku uzorkovanja sa vrela, na osnovu aktivnosti ^{214}Pb i ^{214}Bi, nakon postizanja ravnoteže. Na osnovu teorijski predviđenih i eksperimentalnih rezultata dobijene su aktivnosti ^{222}Rn za školsku česmu: $A_{0^{222}Rn} = 546 \pm 9$ Bq/l i Glavno vrelo: $A_{0^{222}Rn} = 177 \pm 4$ Bq/l.

LITERATURA

[1] M. Leko: Ispitivanje radioaktivnosti voda u Srbiji, Glas Srp. kr. Akad. LXXXIII, Beograd, 1911. god.
[2] V. Vučić: Radioaktivnost voda i gasova Niške Banje i njihovo aktiviranje, SAN, Beograd , 1950.
[3] D. Protić: Mineralne i termalne vode Srbije, Geo institut, 1995. god., Beograd
[4] Henry Semat, Introduction to Atomic and Nuclear Physics, Chapman & Hall. Ltd. London, 1964.

ABSTRACT

INVESTIGIONS OF NATURAL RADIONUCLIDES CONTENT IN REGION OF NIŠKA BANJA

Content of radionuclides is determined in the sample of soil powder that is used for peloidotherapy. Also, two thermal springs where investigated. Low background gamma spectroscopy method is used. Sample of soil powder is measured thirty days after Marineli beaker is hermecitaly closed, when ^{226}Ra - ^{214}Bi equilibrium is reached. Two samples of thermal wather were measured in hermeticaly closed Marineli beakers after five hours of sampling time, when equilibrium ^{222}Rn - ^{214}Bi is reached. Equations of complex radioactive decays are used as well as experimental results of ^{214}Pb and ^{214}Bi activities for calculations of ^{222}Rn activity in the sampling moment.

BIOHEMIJSKA ANALIZA LIŠAJA KAO PRIRODNIH SAKUPLJAČA RADIONUKLIDA

S. Stanković, O. Nedić, A. Stanković
INEP-Institut za primenu nuklearne energije, Zemun

SADRŽAJ

U ovom radu opisan je postupak ispitivanja mogućnosti izolovanja ^{137}Cs iz lišaja Cetraria islandica, kao i analiza karakteristika jedinjenja u kome se ^{137}Cs nalazi. Primenom organskih rastvarača ekstrakcija radiocezijuma je bila mala (24,3%). Rastvori soli (organskih i neorganskih) su bili znatno efikasniji (do 84,5%). Ekstrakcija lišaja rastvorom trihlorsirćetne kiseline takođe se pokazala kao uspešna metoda za izolovanje radiocezijuma (87,7%), a istovremeno su dobijeni proizvodi - koncentrati ^{137}Cs. Analizom proizvoda koji je bio najradioaktivniji ustanovljena je organska priroda ^{137}Cs-jedinjenja. Na kraju, subcelularnom analizom lišaja utvrđena je heterogena raspodela radiocezijuma.

UVOD

Veliko sakupljanje radiocezijuma u lišajima i mahovinama, posebno posle akcidenta nuklearne elektrane u Černobilju 1986. godine usmerilo je naša istraživanja ka biohemijskom izučavanju vezivanja ovih radionuklida za navedene biljne vrste. Lišaji i mahovine su najpoznatiji bioindikatori zagađenja životne sredine kako teškim metalima, pesticidima, [1] tako i radionuklidima, jer svojim prisustvom na određenom staništu ukazuju na ekološke karakteristike tog staništa. Izmereni nivoi aktivnosti $^{137,134}Cs$ u lišaju bili su izrazito visoki u visokoplaninskim predelima neposredno posle Černobiljske havarije.[2]

Zbog široke primene lišaja i mahovina u medicini, kozmetičkoj i hemijskoj industriji, ljudskoj i stočnoj ishrani evidentna je opasnost od radijacionog opterećenja ljudi i životinja, kao posledica uspostavljanja lanca ishrane: biljka-životinja-čovek. Pored svojih bioindikatorskih karakteristika lišaji predstavljaju izvor prirodnih supstanci koje su važne sirovine u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji.

EKSPERIMENTALNI DEO

U cilju sagledavanja hemijske lokalizacije ^{137}Cs u lišaju sistematski je vršena serija ekstrakcija organskim rastvaračima i vodenim rastvorima raznih jedinjenja, pri čemu je posle svakog ekstrakcionog postupka merena radioaktivnost ^{137}Cs zaostala u lišaju [3]. Korišćen je lišaj *Cetraria islandica* kao model sistem.

Jedinjenja ekstrahovana organskim rastvaračima su bila slabo kontaminirana ^{137}Cs. Terpeni, steroidi i masne kiseline su se rastvarali u benzenu. Antrahinoni, depsidoni, hlorofil, polioli i različita aromatična jedinjenja se mogu ekstrahovati acetonom. Etanol služi za izolovanje specifičnih kiselina lišaja, depsidona, poliola i saharida. U tabeli 1. se vide rezultati sukcesivne ekstrakcije lišaja (10,0 g) organskim rastvaračima (po 200 ml).

Veći deo ^{137}Cs ostao je u lišaju *Cetraria islandica* posle tretmana organskim rastvaračima (75,7%), što znači da se kontaminirani lišaj može koristiti za komercijalnu ekstrakciju organskim rastvaračima. Vodeni rastvori su ekstrahovali više ^{137}Cs, što bi značilo da se ^{137}Cs nalazi u lišaju u obliku jedinjenja koje je rastvorno u vodi. Rezultati ekstrakcije 1%-nim vodenim rastvorima neorganskih soli: hloridima (amonijum, natrijum, kalijum i cezijum) pokazali su da je efikasnost ekstrakcije radiocezijuma od 73,6 do 84,5%. U ovom opsegu nalazili su se i rezultati ekstrakcije radiocezijuma organskim solima: natrijum-acetat, natrijum-kalijum tartarat, amonijum-oksalat. Efekat ekstrakcije hlorovodoničnom i sumpornom kiselinom bio je sličan (85,9%, odnosno 85,3%). U seriji monovalentnih katjona hlorida, amonijumova so je pokazala maksimalnu jonsku izmenu ^{137}Cs (18,5%), zatim cezijumova (11,1%) natrijumova (8,8%) i kalijumova so (7,6%), u odnosu na efekat izolovanja ^{137}Cs destilovanom vodom (66,0%). U tabeli 2. prikazani su rezultati ekstrakcije ^{137}Cs iz lišaja (10,0 g) 1%-nim rastvorima hlorida katjona prve analitičke grupe (pet puta po 200 ml).

Tabela 1. Ekstarkcija radiocezijuma organskim rasrvaračima.

Rastvarač	^{137}Cs-aktivnost zaostalog lišaja (Bq)
-	34,1
Benzen	32,2
Etiletar	31,4
Aceton	29,1
Etanol	25,8

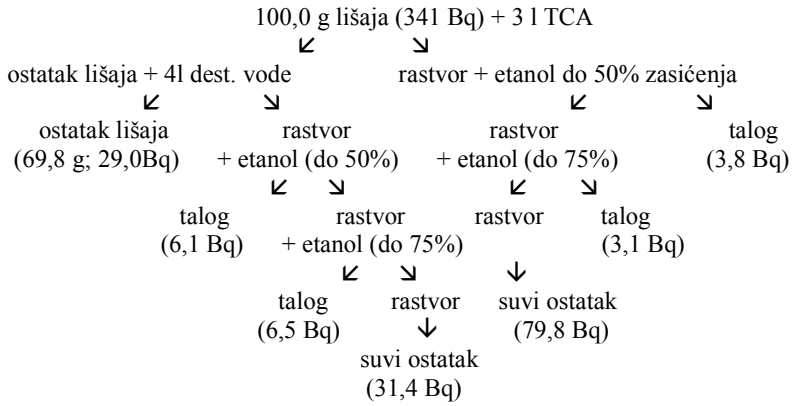
Tabela 2. Ekstrakcija radiocezijuma rastvorima hlorida.

Rastvor	^{137}Cs-aktivnost zaostalog lišaja (Bq)
-	34,1
Amonijum-hlorid	5,3
Natrijum-hlorid	8,6
Kalijum-hlorid	9,0
Cezijum-hlorid	7,8

Rezultati su pokazali da ^{137}Cs može pretrpeti jonsku izmenu i može biti oslobođen iz svog prirodnog jedinjenja jakim neorganskim kiselinama. Posle pet uzastopnih ekstrakcija, radioaktivnost ^{137}Cs se približavala konstantnoj vrednosti. Pošto se celokupan radiocezijum nije mogao izolovati na opisani način, jedno od objašnjenja bi moglo biti da je deo ^{137}Cs vezan za drugi tip jedinjenja na koje ne deluju ispitane vodene ekstrakcije. Ako bi se, sa druge strane, pretpostavilo da je sav ^{137}Cs vezan za jednu vrstu jedinjenja, onda bi dobijeni rezultati ukazivali da je to jedinjenje prisutno na različitim mestima u lišaju (ekstracelularno i intracelularno ili u okviru ćelijskog zida), što određuje opseg selektivnog izdvajanja.

U cilju bližeg upoznavanja prirode jedinjenja u kome se nalazi radiocezijum u lišaju, pristupilo se izolovanju 3%-nim rastvorom trihlorsirćetne kiseline (TCA) i sukcesivnom taloženju rastvornih jedinjenja dodavanjem etanola. Talozi koji su nastali pri 50%-nom i 75%-nom zasićenju etanola bili su malo radioaktivni, dok su talozi dobijeni kao

suvi ostatak posle uparavanja rastvarača sadržali najveći deo ^{137}Cs. Na šemi 1. prikazan je postupak ekstrakcije i distribucija ^{137}Cs u pojedinim talozima.

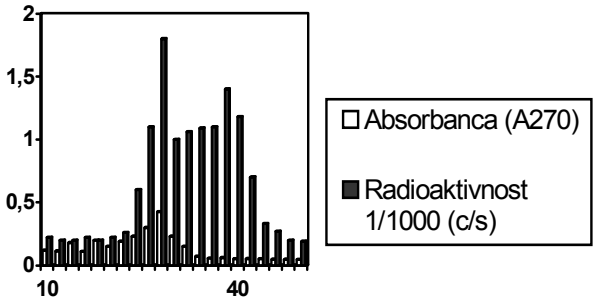


Šema 1. Ekstrakcija radiocezijuma rastvorom TCA

Zbir radioaktivnosti u talozima i ostatku lišaja posle ekstrakcije iznosio je 46,8% od početne radioaktivnosti lišaja. Veliki deo ^{137}Cs ispario je u toku koncentrovanja rastvora. U talozima nastalim pri 50%-nom, odnosno 70%-nom zasićenju etanola nalaze se biomakromolekuli (nukleinske kiseline, proteini, polisaharidi), što znači da je kontaminacija životno važnih makromolekula u lišaju minimalna. Najviši nivoi aktivnosti izmereni su u suvim ostacima u kojima su mali organski i neorganski molekuli. Opisanom metodom izolovano je 87,7% početne aktivnosti ^{137}Cs (izraženo preko aktivnosti po jedinici mase lišaja), a masa lišaja se smanjila samo 30,2%, odnosno od 3,41 Bq/g aktivnost je opala na 0,42 Bq/g lišaja. Na ovaj način je potvrđeno da se radiocezijum nalazi u obliku koji se može izolovati bez razaranja osnovne strukture lišaja.

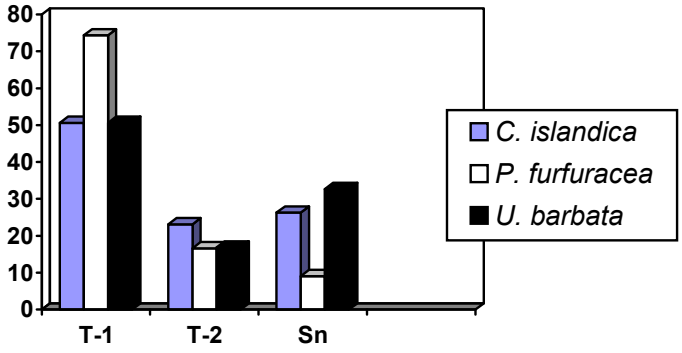
Da bi se utvrdila priroda jedinjenja u kome je ^{137}Cs, najaktivnija frakcija (suvi ostatak od 79,8 Bq) analizirana je gel-filtracijom na koloni Sephadex LH-20 uz eluiranje 85%-nim etanolom. Na slici 1. prikazan je profil razdvajanja komponenti suvog ostatka koje su absorbovale UV svetlost na 270 nm i koje su bile ^{137}Cs-radioaktivne. Rezultati ovakvog ispitivanja pokazali su da se radiocezijum nalazi vezan u organskim jedinjenjima.

Na kraju, da bi se stekao uvid u ćelijsku raspodelu ^{137}Cs jedinjenja, pristupilo se



Slika 1. Hromatografska analiza radioaktivnog taloga (od 79,8 Bq)

grubom frakcionisanju ćelija lišaja. Subcelularnom analizom utvrđena je heterogena raspodela ^{137}Cs.[4] Nivo aktivnosti ^{137}Cs je bio najviši u talogu koga čine ćelijski zidovi, jedro, celulozne tvorevine, skrob, lipidi (T-1, 1000 x g; 50,6%). Nivo aktivnosti ^{137}Cs je bio niži u supernatantu sastavljenom od citoplazme, ribozoma, endoplazmatičnog retikuluma, mitohondrija i vakuola (Sn; 23,1%), iz koga je centrifugiranjem prethodno izdvojen talog slične aktivnosti ^{137}Cs, koga čine plastidi odgovorni za fotosintezu i sintetezu organskih materija (T-2, 5000 x g; 26,3%). U posebnom eksperimentu sa različitim lišajima (pored *C. islandica*, analizirani su *Usnea barbata* i *Pseudoevernia furfuracea*) pokazano je da raspored radioaktivnosti nije univerzalan za lišaje, što je prikazano na slici 2. Ovi rezultati se nadograđuju na prethodne koji se odnose na organsku prirodu ^{137}Cs jedinjenja. Pošto svaka vrsta lišaja sadrži karakteristična organska jedinjenja za koje se radiocezijum može potencijalno vezati [5], za očekivati je da i lokalizacija i hemijsko ponašanje tih molekula bude različito.



Slika 2. Subcelularna analiza raspodele radiocezijuma
(T-1: talog na 1000 x g, T-2: talog na 5000 x g, Sn: zaostali supernatant).

ZAKLJUČAK

Svi dobijeni eksperimentalni podaci navode na zaključak da je ^{137}Cs u lišaju vezan u organskom jedinjenju, da je izmenljiv sa homologim katjonima, da se može izolovati vodenom ekstrakcijom bez razaranja osnovne strukture lišaja, da ne ulazi u sastav esencijalnih biomakromolekula i da je prisutan u različitim delovima ćelije.

LITERATURA

[1] Sloof J.E.: Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition, using transplants, Atm. Env., 29, 1995, 11-20.
[2] Gullitte O., De Brabant B., Gosia M.C.: Use of mosses and lichens for the evaluation of the radioactive fallout, deposits and flows forest-cover, Mem. Soc. Roy. Bot. Belg., 12, 1990, 89-99.
[3] Nedić O., Stanković A., Stanković S., Krainčanić M.: Chemical localization of ^{137}Cs in the lichen *Cetraria islandica*, Arch. Env. Cont. Tox., vol.29, 1995, 380-383.
[4] Vinset A.: The isolation of subcellular components, The cell biochemistry, physiology and morphology, ed. J. Brachet and A.E.Mirsky, Acad. Press., New York and London, 1959.
[5] Arup U., Ekman S., Lindblom L., Mattisson J.E.: High performance thin layer chromatography (HPTLC), an improved technique for screening lichen substances, Lichenologist, 25,1, 1993, 61-71.

ABSTRACT

BIOCHEMICAL ANALYSIS OF LICHENS AS NATURAL RADIONUCLIDE COLLECTORS

S. Stanković, O. Nedić, A. Stanković
INEP-Institute for the Application of Nuclear Energy, Zemun

An investigation of ^{137}Cs isolation procedures (from the lichen *Cetraria islandica*) is described in this work, as well as an analysis of the characteristics of the ^{137}Cs-compounds. Extraction of radiocesium with organic solvents was poor (24.3%). Salt solutions (organic and inorganic) were significantly more efficient (up to 84.5%). Lichen extraction with trichloroacetic acid solution was found to be a successful method for isolation of radiocesium (87.7%), yielding products which were ^{137}Cs concentrates. Analysis of the most radioactive product confirmed the organic nature of the main ^{137}Cs-compound. Finally, heterogenic distribution of radiocesium was demonstrated by analysis of subcellular lichen fractions.

ISPITIVANJE RADIONUKLIDA I TEŠKIH METALA U FOSFOGIPSU

M. B. Rajković, M. Marković[1],
R. Stevanović[1], G. T. Vladisavljević
Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Poljoprivredni fakultet, Zemun,
[1] Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Fosfogips je otpadni materijal koji nastaje pri proizvodnji fosforne kiseline dihidratnim postupkom. Radioaktivnost fosfogipsa potiče od radionuklida nastalih radioaktivnim raspadom urana koji je prisutan u nekim fosfatima i čija se koncentracija, u zavisnosti od vrste i porekla, može kretati od 10–400 ppm. Ispitivanja radionuklida u prirodnom gipsu, fosfogipsu sa deponije i prethodno prečišćenom fosfogipsu, izvršena u radu, potvrdila su prisustvo urana i ^{226}Ra u fosfogipsu, dok je, sa druge strane, zanemarljivo njihovo prisustvo u prirodnom gipsu. Utvrđena radioaktivnost koja potiče od ^{226}Ra predstavlja glavno ograničenje pri upotrebi fosfogipsa u građevinarstvu. Sa druge strane, u fosfogipsu je zabeleženo prisustvo teških metala, čije prisutvo nije ograničavajuće za primenu u poljoprivredi. Fosfogips, prečišćen postupkom predloženim u radu, po svojim fizičko–hemijskim svojstvima približava se prirodnom gipsu, a u smesi sa njim predstavlja potencijalnu sirovinu za upotrebu u privredi i poljoprivredi.

UVOD

Fosfogips (FG) je otpadni materijal koji se dobija pri proizvodnji fosforne kiseline dihidratnim *tzv.* ”mokrim” postupkom, koji može biti prikazan sledećom jednačinom: $Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 10H_2SO_4 + 20H_2O \rightarrow 10CaSO_4{\cdot}2H_2O + 6H_3PO_4 + 2HF$. [1] Fosfogips predstavlja sekundarni proizvod ali, zbog 5 do 8 puta više nastalih količina u odnosu na H_3PO_4, kaže se da je fosfogips *glavni proizvod* tehnološkog procesa. Uprkos sličnosti sa prirodnim gipsom [2], zbog prisustva preko 50 vrsta nečistoća, fosfogips se uobičajeno odlaže na deponije. Usled prisutnih radionuklida u fosfatu koji tehnološkim postupkom prelaze u fosfogips, fosfogips na deponijama predstavlja izdvojenu kategoriju radioaktivnog otpada jer, osim što sadrži toksične komponente, sadrži i uran i potomke radioaktivnog raspada urana (^{226}Ra, ^{222}Rn i ^{210}Po) [3,4].

U ovome radu izvršena je hemijska analiza, i ispitivanje radionuklida, fosfogipsa sa deponije, fosfogipsa koji je prečišćen odgovarajućim postupkom i prirodnog gipsa. Takođe, izvršena je analiza sadržaja teških metala u fosfogipsu i objašnjen postupak njegovog prečišćavanja radi upotrebe u privredi i poljoprivredi, kao zamena prirodnom gipsu.

MATERIJAL I METODE

Sva ispitivanja rađena su sa fosfogipsom koji je dobijen pri proizvodnji fosforne kiseline u IHP Prahovo. Prečišćavanje fosfogipsa izvršeno je sledećim postupkom: [5] napravljen je vodeni rastvor sumporne kiseline, koncentracije 28% , koji je zagrejan do temperature od 90°C, u rastvor je dodat fosfogips i napravljena emulzija uz neprekidno mešanje. Po dodatku fosfogipsa, dodat je $BaSO_4$ uz neprestalno mešanje, sve dok temperatura nije dostigla 85°C. Zatim se smesa ostavila da se ohladi. Po hlađenju, smesa se procedila kroz Bihnerov levak, pri čemu se čvrsta faza odvojila od tečne.

Radi ispitivanja prisustva radionuklida, uzorci prirodnog gipsa i fosfogipsa su prethodno sušeni na 105°C (24 sata) da bi se uklonila slobodna vlaga pa su sva merenja obračunavana na suvu supstancu. Veličina dobijenih čestica fosfogipsa je oko 500 μm. Vreme merenja svakog spektra je oko 24 časa. Uzorci su pakovani u plastične posudice koje su hermetički zatvarane da bi se zadržao razvijeni radon. Merenja su izvršena posle 20 dana da bi razvijeni radon došao u ravnotežu sa radijumom iz kojeg nastaje. Nisko fonska merenja su izvršena sa *CANBERRA* Hp Ge koaksijalnim detektorom sa relativnom efikasnošću od 14%, FWHM od 1,7 keV, postavljenim u vertikalni kriostat i zaštićen sa 2 cm gvožđa i 15 cm olova. Ukupna izmerena brzina brojanja fona u energetskom opsegu od 20–2880 keV iznosilo je 0,6 impulsa/sec. Spektrometar je povezan sa *CANBERRA 8k ADC "MCA 35^{+}"* višekanalnim analizatorom koji je povezan sa HP Vectra ES/12 kompjuterom i analiza – obrada gama spektra je izvršena pomoću "MicroSAMPO" programa. Vreme merenja uzoraka iznosilo je 160 ks, dok su merenja spektra fona bila znatno duža i vrše se regularno između merenja uzoraka. Aktivnosti Ra određena je poređenjem sa standardom SRM694 (*Standard Reference Material 694, National Bureau of Standards, US*) WPR (*West Phosphate Rock*), fosfatnom rudom sa poznatom koncentracijom urana (141,4±0,6 ppm) koji se nalazi u ravnoteži sa svojim potomcima raspada.

Sadržaj teških metala u fosfogipsu određen je metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS), a ispitivanja su izvršena na atomskom aposrpcionom spektrofotometru Varian SpectrAA – 10/20 Spectrofotometer Plus (Varian, Australia, Pty, Ltd, Springvale Rd, Victoria, Australia).

REZULTATI I DISKUSIJA

Radionuklidi u fosfogipsu vode poreklo od urana u nekim fosfatima, kao što su npr. fosfati poreklom sa Floride i iz Maroka i čija koncentracija, u zavisnosti od vrste i porekla i da li su primarni ili sekundarni može se kretati u različitom obimu od 10 do 400 ppm [6]. Uran se u fosfatima nalazi u ravnoteži sa potomcima radioaktivnog niza od kojih je najvažniji ^{226}Ra. Prilikom prerade fosfata, najveći deo urana prelazi u proizvode na bazi fosfata, a u hemijske proizvode (veštačka đubriva) prelaze i radioaktivni potomci urana kao što su ^{226}Ra i ^{210}Po.

Rezultati ispitivanja hemijskog sastava fosfogipsa sa deponije, prečišćenog fosfogipsa i prirodnog gipsa dati su u tablici 1, a rezultati ispitivanja prisutnih radionuklida u fosfogipsu sa deponije, prečišćenom fosfogipsu i prirodnom gipsu dati su u tablici 2.

Rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u fosfogipsu prikazani su u tablici 3.

Na osnovu prikazanih rezultata zapaženo je prisustvo urana i ^{226}Ra u znatnijoj količini u fosfogipsu, nego u prirodnom gipsu. Takođe zapaženo je i prisustvo teških metala u fosfogipsu, ali koji nemaju znatniji uticaj na fizičko hemijska svojstva fosfogipsa.

Primenom fsfogipsa u poljoprivredi za melioraciju soloneca, [7] ne unose se u znatnijoj meri teški metali koji mogu imati uticaj na čoveka i životnu sredinu. [8] Takođe, smesa prirodnog gipsa i prečišćenog fosfogipsa u znatnijoj meri snižava sadržaj radionuklida, do zakonski dozvoljenog nivoa, [9] što omogućava primenu takve smese i u građevinarstvu.

Tabela 1. Hemijska analiza prirodnog gipsa i fosfogipsa

Sastojci, u %	Fosfogips sa deponije	Prečišćeni fosfogips	Prirodni gips
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	74,16	67,76	–
$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$	–	23,16	81,34
$CaSO_4$, anhidrid	–	–	6,16
vezana H_2O	18,02	15,62	5,38
$CaSO_4$, ukupni	56,14	75,30	82,12
Slobodni CaO	0,77	1,44	0,70
slobodna voda na 45°C	0,34	0,26	1,30
gubitak žarenjem	2,18	1,69	0,98
SiO_2+nerastvorni ostatak	21,75	5,50	4,15
Al_2O_3+Fe_2O_3	0,04	0,11	0,06
$CaCO_3$	–	–	5,09
P_2O_5	0,84	0,21	–

Tabela 2. Rezultati ispitivanja radionuklida u prirodnom gipsu i fosfogipsu

Uzorak	masa (g)	Specifična aktivnost	
		U (ppm)	^{226}Ra (Bq/g)
prirodni gips	39,8	–	$(8,5\pm2,5)\cdot10^{-3}$
fosfogips sa deponije	46,69	11,1±0,8	0,514±0,0013
prečišćeni fosfogips	44,14	14±1	0,71±0,01
smesa prirodni gips+fosfogips	39,49	5,6±0,4	0,18±0,005

Tabela 3. Rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u fosfogipsu

Teški metal	Fe	Pb	Zn	Cd	Mn	Co	Ni	Cu
sadržaj u ppm	785	45	45	7	8	10	20	17

ZAKLJUČAK

Fosfogips sa deponije sadrži, osim nečistoća, i radionuklide koji praktično sprečavaju njegovu primenu u građevinarstvu i poljoprivredi. Predviđenim postupkom prečišćavanja i dužim sušenjem na temperaturi od 105°C dobija se stabilni oblik fosfogipsa koji je zato po svojim fizičko–hemijskim karakteristikama veoma sličan prirodnom gipsu, međutim, sadržaj radionuklida ostaje približno isti. Pošto sadržaj teških metala nije ograničavajući za primenu u poljoprivredi, ovako prečišćen fosfogips, daljim usitnjavanjem čestica do veličine od *cca.* 100 μm, predstavlja potencijalnu sirovinu za upotrebu u privredi i poljoprivredi, pa se i preporučuje kao adekvatna zamena prirodnom gipsu.

LITERATURA

[1] M.B.Rajković, V.Hadžić, I.Molnar, Otpadni fosfogips iz hemijske industrije: pojam, primena, perspektiva (monografija), Naučni inst.za rat. i povrt., N.Sad, 118, 1995

[2] M. B. Rajković, R. Stevanović, K. Karljiković–Rajić, G. Vladisavljević, The Application of Different Instrumental Techniques for Characterization of Phosphogypsum, 12th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA'96, Praha, Czech Republic, 25–30 August 1996, P5.84 [19]

[3] A.Kukoč, R.Stevanović, D.Čokeša i M.Marković, Raspodela urana i ^{226}Ra pri proizvodnji fosforne kiseline dihidratnim postupkom, II simpozijum "Hemija i zaštita životne sredine", 8–13.06.1993.god., V.Banja, Izvodi radova: VI–19, s.583–584

[4] M.B.Rajković, R.Stevanović, G.Vladisavljević, Fosfogips kao izdvojena kategorija radioaktivnog otpada, Internacionalni simpozijum "Opasan otpad i životna sredina", V.Banja, 13–15.maj 1996.god., Zbornik radova, s.405–415

[5] P.H.Lange,"Proces for Reducing Radioactive Contamination in Waste Product Gypsum", USA Patent, 4,146,568, Mar. 27, 1979

[6] F.Halashi, "The Recovery of Uranium from Phosphate Rock. Progress and Problems", 2nd international congress on phosphorus compounds proceedings, April 21–25, 1980, Boston, Mass.USA, pp.629–661

[7] M. B. Rajković, K. Karljiković–Rajić, Possibilities for Application of Phosphogypsum in Agriculture, Rev.Res.Work Fac.Agric., 43(1), 133–142, 1998

[8] M.B.Rajković, S.D.Blagojević, M.D.Jakovljević, G.T.Vladisavljević, Primena metode atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) za određivanje sadržaja teških metala u fosfogipsu, 39.savetovanje Srpskog hemijskog društva, N.Sad, 2–4.juni 1999

[9] Službeni list SFRJ br.8, 1987, s.226

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS IN THE PHOSPHOGYPSUM

Phosphogypsum is a waste product in phosphoric acid production using dihydrate wet phosphoric process. The radioactivity of the phosphogypsum is a consequence of the presence of radionuclides resulting from uranium radioactive decay. Presence of uranium in some phosphorites and its concentration depend on their source and variety whether they are primary or secundary can be 10–400 ppm. Radioactivity determined for phosphogypsum confirmed the presence of radionuclides U and ^{226}Ra. For this reason the methods of purification of raw phosphogypsum have been developed. An aqueous sulfuric acid solution having a concentration of 28 percent was admixed with a concentrated sulfuric acid solutions containing dissolved therein of barium sulfate at the temperature of 105°C, the slurry was cooled at a temperature of 30°C–35°C and then filtered. This purified phosphogypsum can be used indendently, as a substitute for natural gypsum, or mixed with the natural gypsum. The consideration of the phosphogypsum is necessary because of the removal (or at least the reducing) of the enormous spoil areas of phosphogypsum and the diminution of the polution.

MEĐUNARODNA GAMASPEKTROMETRIJSKA INTERKOMPARACIJA

G. Pantelić, I. Petrović
Institut „Dr Dragomir Karajović“

SADRŽAJ

Program ocene kvaliteta (Quality Assesment Program) je napravljen radi procene tačnosti merenja uzoraka iz životne sredine i organizuje se preko Laboratorije za merenja iz životne sredine iz Njujorka. Naša laboratorija učestvuje u ovim interkomparacijama od septembra 1997. godine. Rezultati merenja iz septembra 1998. godine pokazuju da je naša laboratorija imala 92 % rezultata koji spadaju u kategoriju prihvatljivih, a samo jedan rezultat je u kategoriji prihvatljivih sa upozorenjem. Neprihvatljivih rezultata nije bilo.

ORGANIZATOR INTERKOMPARACIJE

Program ocene kvaliteta (Quality Assesment Program) organizuje Laboratorija za merenja iz životne sredine (Environmental Measurements Laboratory) iz Njujorka. Program testira kvalitet merenja iz životne sredine koja obavljaju laboratorije prijavljene za ovaj Program. Od 1976. godine sintetički ili prirodni uzorci iz životne sredine, analizirani su u ovoj laboratoriji, a zatim su slati, u početku četiri, a zatim dva puta godišnje, zainteresovanim laboratorijama. Naša laboratorija se uključila u interkomparaciju u septembru 1997. godine. Vreme predviđeno za analizu uzoraka je 90 dana. 4 dana po isteku roka za slanje rezultata oni se mogu naći na internetu (adresa: www.eml.doe.gov), a mesec dana kasnije štampa se celokupni izveštaj svih merenja laboratorija učesnica [1].

METODA MERENJA

Za interkomparaciju se šalju sledeći uzorci: zemlja, vegetacija, voda i filter za vazduh. Uzorci vegetacije (100 g) i zemlje (200 g) pakovani su u plastične cilindrične posude, prečnika 6.8 cm i visine 13.5 cm. Voda (455 ml) je u staklenoj ambalaži. Filter za vazduh je prečnika 7 cm.

Merenje aktivnosti uzoraka vršeno je na čistom germanijumskom detektoru EG&G ORTEC relativne efikasnosti 25 % i rezolucije 1,85 keV (na 1,332 MeV). Svaki uzorak je meren više puta, od 80000 do 250000 s .

U prvim merenjima 1997. godine za kalibraciju detektora korišćeni su etaloni koje smo sami pravili [2, 3]. U sledećim interkomparacijama (1998. godine) za kalibraciju su nam služili i prethodni uzorci iz 1997. godne.

NAČIN VREDNOVANJA REZULTATA

Rezultati merenja se porede sa istorijski određenim granicama, na osnovu ranijih merenja, za svaki radionuklid posebno [1]. Ove se granice menjaju svake godine, prema prethodnim rezultatima merenja svih laboratorija učesnica. Za ovu interkomparaciju granice su utvrđene na osnovu merenja od 1993. do 1998. godine.

Tabela 1 pokazuje relativne granice za rezultate merenja uzoraka vegetacije, zemlje, vode i filtera za vazduh dobijenih u interkomparaciji septembar 1998. godine. Ova tabela je korišćena za kriterijume za prihvatanje rezultata. Kriterijum za prihvatanje rezultata je da oni padaju u interval određen množenjem stvarne vrednosti aktivnosti (koju daje Laboratorija za merenja iz životne sredine iz Njujorka) sa faktorima iz treće i četvrte kolone tabele 1 (donja i gornja granica). Prihvatljivi rezultati sa upozorenjem su oni koji padaju u interval dobijen množenjem stvarne vrednosti aktivnosti sa faktorima iz druge i treće kolone (najniža donja granica i donja granica) ili iz četvrte i pete kolone (gornja granica i najviša gornja granica) tabele 1. Iz ove tabele se vidi da kriterijumi nisu isti za iste radionuklide u različitim matriksima.

U tabeli 2 data je raspodela po prihvatljivosti rezultata (po broju analiza i procentualno) laboratorija učesnica u septembru 1998. godine za sve uzorke. Ukupno je učestvovalo 127 laboratorija, pri čemu nisu svi radili sve analize. Ukupan broj analiza je bio 3217. Na slici 1 je prikazana raspodela svih analiza po prihvatljivosti.

Tabela 1. Relativne granice za prihvatanje rezultata merenja

Nuklid	Najniža donja granica	Donja granica	Gornja granica	Najviša gornja granica
VEGETACIJA				
^{60}Co	0,569	0,86	1,24	1,46
^{137}Cs	0,80	0,90	1,25	1,40
^{40}K	0,79	0,90	1,24	1,42
ZEMLJA				
^{137}Cs	0,83	0,90	1,21	1,32
^{40}K	0,78	0,90	1,25	1,53
VODA				
^{60}Co	0,80	0,90	1,14	1,20
^{137}Cs	0,80	0,90	1,18	1,26
^{54}Mn	0,80	0,90	1,17	1,25
FILTER ZA VAZDUH				
^{60}Co	0,75	0,83	1,10	1,32
^{137}Cs	0,73	0,82	1,14	1,37
^{54}Mn	0,76	0,84	1,18	1,42
^{125}Sb	0,61	0,83	1,19	1,43

Tabela 2. Raspodela po prihvatljivosti rezultata laboratorija učesnica
A - prihvatljivi rezultati, W - prihvatljivi rezultati sa upozorenjem, N -neprihvatljivi rezultati

broj lab. učesnica	UZORCI	broj rezultata po prihvatljivosti			procenat rezultata po prihvatljivosti		
		A	W	N	A (%)	W (%)	N(%)
109	filter za vazduh	678	118	81	77	14	9
106	zemlja	838	65	50	88	7	5
82	vegetacija	323	72	35	75	17	8
108	voda	738	123	95	77	13	10

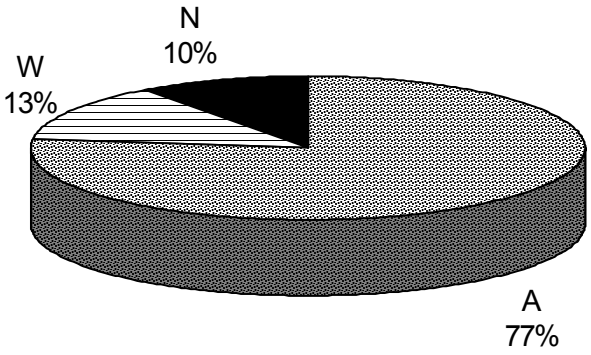
Tabela 3. Rezultati naših merenja, rezultati EML sa kojima se vrši poređenje
i raspodela po prihvatljivosti rezultata laboratorija učesnica
* kvalitet naših rezultata, ** broj laboratorija učesnica

Radionuklid	naši rezultati	rezultati EML	*	broj **	A (%)	W (%)	N(%)
VEGETACIJA							
^{60}Co	17.8 ± 1.2	20.0 ± 1.0	A	89	74*	16	10
^{137}Cs	367 ± 20	390 ± 20	A	90	87*	5	8
^{40}K	535 ± 20	460 ± 20	A	86	66*	23	11
ZEMLJA							
^{137}Cs	951 ± 20	954 ± 38	A	112	76*	10	14
^{40}K	315 ± 10	314 ± 13	A	102	68*	24	8
VODA							
^{60}Co	48.3 ± 1.5	49.4 ± 1.2	A	110	91*	4	5
^{137}Cs	48.2 ± 1.5	50.0 ± 1.7	A	111	87*	9	4
^{54}Mn	33.0 ± 1.1	32.4 ± 1.4	A	107	71*	16	13
FILTER ZA VAZDUH							
^{60}Co	8.1 ± 0.5	9.16 ± 0.58	A	107	88*	6	6
^{137}Cs	19.3 ± 0.7	22.47 ± 1.0	A	108	79*	13	8
^{54}Mn	4.3 ± 0.4	4.92 ± 0.40	A	104	81*	10	9
^{125}Sb	7.0 ± 0.2	8.89 ± 0.55	**W**	103	71	14*	15

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U prvim merenjima (1997. godine) za kalibraciju detektora korišćeni su etaloni koje smo sami pravili, a zatim smo u sledećim interkomparacijama za kalibraciju koristili i prethodno dobijene uzorke. To je doprinelo boljoj tačnosti rezultata, pošto su tada kalibracioni uzorci bili po dimenzijama i matriksu identični uzorcima koji su se merili.

Naša laboratorija je u ovoj interkomparaciji imala odlične rezultate, jer se 92 % rezultata nalazi u prvoj grupi (prihvatljivi), a samo jedan rezultat je u drugoj grupi (prihvatljivi sa upozorenjem). Nijedan rezultat merenja nije bio neprihvatljiv.



Slika 1. Raspodela svih analiza (od svih 127 laboratorija) po prihvatljivosti

LITERATURA

[1] Pamela D. Greenlaw: Semi-Annual Report Of The Department Of Energy, Office Of Environmental Management, Quality Assessment Program, EML-600, Environmental Measurements Laboratory, U. S. Department of Energy, New York, 1998

[2] G. Pantelić, I. Petrović: "Međunarodna gamaspektrometrijska interkomparacija filtera za vazduh", Simpozijum o merenjima i mernoj opremi, Beograd, 1998, 759-763

[3] G. Pantelić, I. Petrović: "Određivanje krive efikasnosti detektora korišćenjem prirodnih radioaktivnih materijala", Zbornik radova XIX Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Golubac, 1997, 141-144

ABSTRACT

INTERNATIONAL GAMMASPECTROMETRY INTERCOMPARISON

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

The Quality Assessment Program (QAP) is designed to test the quality of the environmental measurements being reported to the Department of Energy by its contractors. We participated in this program since September 1997. We had 92 % acceptable results in September 1998. Only one result was acceptable with warning. There were no unacceptable results.

MEĐUNARODNI REFERENTNI SISTEM

A. Kandić, V. Spasić Jokić
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd

SADRŽAJ

Međunarodni referentni sistem (Système international de référence - SIR) zamišljen je kao dopuna i proširenje međunarodnih poređenja merenja aktivnosti radionuklida organizovanih od strane Međunarodnog biroa za tegove i mere (Bureau international des poids et mesures - BIPM). U radu je prikazana organizacija i delatnost Međunarodnog referentnog sistema.

UVOD

Intenzivna primena jonizujućih zračenja i potrebe koje zahtevaju merenja koja su pouzdana i tačna, podstakla su BIPM da 1958. godine osnuje Konsultativni komitet za etalone za merenje jonizujućih zračenja (Comité Consultatif pour les Étalones de Mesure des Rayonnements Ionisants - CCEMRI). U okviru ovog komiteta 1969. godine formirane su četiri sekcije. Sekcija II se bavi merenjem radionuklida, a od 1975. godine priključena joj je i Sekcija IV, koja se do tada bavila etalonima α-energija.

Međunarodni referentni sistem (Système international de référence - SIR) zamišljen je kao dopuna i proširenje međunarodnih poređenja merenja aktivnosti radionuklida organizovanih od strane BIPM-a, a njegovo ostvarivanje započelo je 1976. Laboratorije učesnice dostavljaju svoje etalonirane uzorke rastvora radionuklida u standardnim staklenim ampulama BIPM-u, gde se vrše poređenja struja dobijenih u stabilnoj strujnoj jonizacionoj komori kada se u njoj nalazi rastvor dobijen od laboratorije učesnice i kada se u njoj nalazi referentni izvor radijuma. Na taj način se proverava rad laboratorije učesnice, ali se i omogućavaju međunarodna poređenja merenja radionuklida koja na drugi način ne bi bila moguća, kao i preciznije utvrđivanje interpolativne krive efikasnosti čime se daju naznake vezane za greške u nuklearnim parametrima ili merenjima aktivnosti.

Do 1996. u organizaciji SIR-a izvršeno je 491 merenje 55 različitih radionuklida koji su se nalazili u obliku rastvora u 665 ampula, a koje su dobijene od 26 laboratorija učesnica. [1]

Značaj ovog sistema je u obezbeđivanju međunarodne sledivosti etalona u oblasti radioaktivnosti. Na trinaestoj sednica CCEMRI-a prihvaćena je deklaracija o „Ekvivalentnosti nacionalnih i međunarodnih etalona u oblasti radioaktivnosti za potrebe međunarodne sledivosti“. [1]

Međunarodni i nacionalni merni sistemi, kao i uspostavljanje međunarodne sledivosti bitno zavise od ekvivalentnosti etalona nacionalnih i međunarodnih metroloških

laboratorija. U kontekstu merenja radioaktivnosti, Sekcija II CCEMRI-a preporučuje da takvu ekvivalentnost treba uspostaviti preko međunarodnih poređenja koje vodi BIPM-a, odnosno preko SIR-a, a na osnovu smernica koje donosi Sekcija II.

JONIZACIONE KOMORE

Da bi neka laboratorija postala članica SIR - a potrebno je da poseduje dve $4\pi\gamma$ jonizacione komore, od kojih bi jedna bila etalon, a druga svedok, sa odgovarajućom pratećom opremom. Komore se koriste alternativno za proveru međusobnog slaganja, ali se samo jedna koristi za merenje aktivnosti. Jonizacione komore trebalo bi, između ostalog, da poseduju visoku mehaničku i električnu stabilnost, odziv blizak linearnom, odgovarajuću osteljivost i malu zavisnost od položaja izvora i da se nalaze unutar olovnog štita čiji zidovi treba da budu debljine 5 cm. Za potrebe SIR-a BIPM je nabavio dve jonizacione komore sa šupljinom koje su napunjene azotom pod pritiskom od 2 MPa, tip IG11 (Centronic Ltd., Croydon, V. Britanija), koje su pažljivo testirane.

REFERENTNI IZVORI

Set od pet izvora koji sadrže različite količine vrlo čistog ^{226}Ra proizveden je 1973. u Unioin Minière (Brussels). Izvori se nalaze u zatopljenom Pt-Ir cilindru sa dvostrukim zidom. Radijum je u formi $RaSO_4$ sa dodatnom smešom $BaSO_4$ u cilju podešavanja gustine i da bi se izvor imobilisao. [2]

Najjači od svih izvora (308 μg radijuma), kada se unese u komoru proizvodi struju jonizacije od oko 330 pA. Ostala četiri izvora su slabiji i to svaki za faktor od oko 3,1 u odnosu na prethodni. Mesečne provere ovih odnosa izvora omogućavaju osetljive testove na slaganje i izvora i komora. Slaganje se dokazuje odsustvom trenda. Struja curenja i fona, čija ja tipična vrednost 33 fA određuje se pre i posle serije merenja izvora, a zatim se vrše korekcije. [2]

NESIGURNOST MERENJA

Prilikom određivanja nesigurnosti merenja, odnosno poređenja struja dobijenih u jonizacionoj komori kada se u njoj nalazi uzorak i kada se nalazi referentni izvor, uzete su u razmatranje različite komponente nesigurnosti. Najznačajnije komponente vezane su za dimenzije staklenih ampula (za ^{241}Am 0,084 % i za ^{60}Co 0,009 %) i za ponovljivost (0,04 %), koje se mogu odrediti eksperimentalno, dok se komponenta vezana za uticaj variranja sistemskih parametara, kao što je visoki napon, kompenzacioni napon, temperatura kondenzatora itd. može samo proceniti (0,02 %). Takođe, postoji i mali doprinos statistike jonske kolekcije (0,01 %). Prema preporuci BIPM-a za određivanje merne nesigurnosti INC-1 kombinovana nesigurnost merenja dobija se kao kvadratni koren sume kvadrata svih komponenti nesigurnosti. [2]

ORGANIZACIJA SIR-a

Na početku svake godine, nacionalne (po pravilu, zvanične laboratorije zemalja članica Metarske konvencije) i međunarodne laboratorije za metrologiju radionuklida pozivaju se, cirkularnim pismom, da dostave uzorke rastvora radionuklida emitera γ-zračenja koje su same preparirale i etalonirale. Od učesnika se zahteva da dostave spisak radionuklida, kao i odgovarajuće datume isporuke, da bi se omogućilo da BIPM na vreme pripremi odgovarajuće dozvole, a laboratorijama se dostavlja odgovarajući broj praznih ampula. Od učesnika se, takođe, traži da popune odgovarajuće formulare svim relevantnim podacima, od kojih su naročito važni: specifična aktivnost, referentni datum, masa i sastav rastvora, metode etaloniranja i radioizotopska nečistoća (sa nesigurnostima). [2, 3]

PREZENTACIJA REZULTATA

Pri poređenju rezultata merenja aktivnosti pokazalo se da je praktično da se za svaki uzorak odredi aktivnost potrebna da se proizvede struja jonizacije jednaka struji koja se dobija sa najjačim referentnim izvorom (br. 5). Ova vrednost se naziva ekvivalentna aktivnost i obeležava se sa A_e.

D. F. G. Reher je na osnovu preliminarne analize rezultata SIR-a pokazao da je ekvivalentna aktivnost, A_e, za bilo koji radionuklid proporcionalna inverznoj vrednosti kalibracione konstante i da to važi za sve jonizacione komore. Ova osobina dozvoljava da se rezultati SIR-a mogu ″prenositi″. Za jonizacione komore identične komori koja se koristi u SIR-u, kalibraciona konstanta data je egzaktno sa $1/A_e$. Za jonizacione komore koje se malo razlikuju od komore koja se koristi u SIR-u očekuje se da kalibraciona konstanta bude skoro proporcionalna sa $1/A_e$. Ova hipoteza je proverena u IRMM (Insitute for Reference Materials and Measurements, Geel) pomoću komore punjene argonom. Kada se ″najbolje vrednosti″ za A_e nacrtaju u odnosu na kalibracionu konstantu komore u IRMM, dobija se grafik koji je skoro linearan (za linearni fit, standardna devijacija nagiba je 1,4 %). [1]

Ova ″prenosivost″ podataka omogućava da se rezultati SIR-a koriste za kalibraciju drugih jonizacionih komora, što može biti od naročite pomoći pri uspostavljanju sekundarnih etalona u zemljama u razvoju.

PROŠIRENJE SIR-a

Iako je u prvih desetak godina SIR imao veliki uspeh, došlo se do zaključka da je potrebno proširenje SIR-a radionuklidima, kao što su čisti α, β i elektrozahvatni emiteri, koji se ne mogu meriti strujnim jonizacionim komorama, a takođe i niskoenergetski gama emiteri.

U okviru Sekcije II CCEMRI-a formirana je radna grupa zadužena za proširenje SIR-a, koja je u svom izveštaju od 1989. dala obimnu listu radionuklida koje treba meriti u okviru proširenog SIR-a, a takođe je i preporučila metode. Od preporučenih metoda izabrani su tečni scintilacioni brojači. Međutim, prošireni SIR još nije u rutinskoj fazi, a i ograničen je na nuklide sa dužim vremenom poluraspada i zato nije pogodan za poređenja relativnih aktivnosti mnogih kratkoživećih radionuklida važnih za nuklearnu medicinu.

LITERATURA

[1] Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, Rapport de la 14e session, BIPM, 1996, Sèvres

[2] A. Rytz, The International Refeerence System for Activity Measurements of γ-Ray Emitting Nuclides, Int. J. Appl. Radiat. Isot., 34 : 8, pp. 1047 - 1056, 1983

[3] A. Kandić, V. Spasić Jokić, Mogućnosti uključenja Jugoslavije u međunarodni referentni sistem, BIMEF '98, Novi Sad, 1998, Zbornik, str. 19

ABSTRACT

THE INTERNATIONAL REFERENCE SYSTEM

A. Kandić, V. Spasić Jokić
Federal Bureau of Measures and Precious Metals, Belgrade

The International Reference System was conceived as a complement to, and an extension of, International comparisons of activity measurements organized by the Bureau International des poids et Mesures. In this paper the organization and activity of International Reference System are presented.

JAČINE DOZA GAMA ZRAČENJA U VAZDUHU NA PODRUČJU NIŠKE BANJE

F. Adrović, I. Nikolić, M. Ninković[1]
Prirodno-matematički fakiltet, Priština
[1] INN „Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Rezultati koji su prikazani u ovom radu, početni su korak jednog sveobuhvatnog istraživanja prirodne radioaktivnosti na području Niške Banje i njene bliže okoline. Izmerene su jačine doza gama zračenja u vazduhu pomoću autonomnog uređaja ADL Gamma TRACER -a. Varijacije u intezitetu polja gama zračenja bile su prisutne i značajne od mesta do mesta, čak i na malim rastojanjima, jer se radi o području sa složenim geološkom strukturom.

UVOD

Područje Niške Banje je izabrano za istraživanje iz više razloga, prvenstveno zbog svoje geološkoj podloge i pedološkog pokrivača, rasčlanjenosti i složenosti reljefa. Niška Banja predstavlja prirodnu geološku retkost, sa nizom izvorišta termomineralnih voda. Osim toga, Niška Banja je područje nenarušene životne sredine, a zračenje koje se detektuje u nenarušenoj prirodnoj okolini obično se podrazumeva za nulti nivo od koga se onda računaju ostali doprinosi ozračenju stanovništva [1].

Sastav i struktura tla definiše njegovu poroznost i moć apsorpcije za različite radioaktivne elemente. Transport i migracija većine radioaktivnih elemenata je predvidljiva, zahvaljujući pre svega poznavanju njihovih fizičko-hemijskih osobina.

Međutim, generisanje radona, njegov transport i prodiranje, su veoma kompleksni procesi, čija uzajamnost se ne može niti kvantifikovati, niti kontrolisati. Velika rastvorljivost gasa radona u vodi podzemnim je jedan od bitnih faktora povećanja fona prirodnog zračenja. Radon oko deset puta rastvorljiviji u vodi nego u kiseoniku, ali je oko tri puta manje rastvorljiv od ugljen dioksida [2].

Za dovođenje hladnih podzemnih voda krečnjačkog dela masiva Suve planine u oblast Niške Banje ima koritnički rased, preciznije dva paralelna raseda zapadne strane Koritnika, između kojih su uklješteni titanski krečnjaci [3]. Pretpostavlja se da termalna voda izvora Niške Banje nastaje mešanjem obične atmosferske vode , kakvu daju vrela Suve Planine i Koritnika, i dubinske tople vode. U sklopu sistema „Niška Banja" utvrđeno je pet termalnih izvora. U samoj Banji to su: „Glavno vrelo" , „Suva banja" i „Školska česma". Na suprotnom obodu basena prisutna su dva termalna izvora, „Banjica" u selu Gornji Matejevac i istoimeni izvor u selu Pasjača. Hladnih izvora ima po obodu mnogo više nego termalnih.

METODOLOGIJA I MERNA TEHNIKA

Merenja jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu vršena su pomoću autonomne sonde ADL Gamma TRACER-a, sistema za kontinuirano merenje nivoa prirodne radijacije. Autonomni merni instrument Gamma TACER γ–radijacione doze kontinualno registruje u izabranim vremenskim intervalima. Kompletna elektronika i napon napajnja, smešteni su u hermetičkom kućištu. Tehnologija čipa za energetsko snadbevanje je oslobođena svakog održavanja i non-stop rada Gamma TACER uređaja za najmanje tri godine rada sa jednim punjenjem [4]. Preko interaktivnog infracrvenog porta, registrovane vrednosti se mogu dispozicionirati u svakom trenutku.

Na svim mernim punktovima, sonda je bila postavljena 1m iznad površine zemlje kada su merenja vršena na otvorenom prostoru, a na istom rastojanju sonda je bila postavljena od zidova i podloge kada su merenja vršena u zatvorenom prostoru. Pošto je na raspolaganju bila samo jedna merna sonda, vremenski interval snimanja podataka na mernim mestima iznosio je od 2 do 8 h . Na pojedinim lokacijama merenje je vršeno i u dužim vremenskim intervalima. To se pre svega odnosi na ona merna mesta koja su u probnim merenjima pokazala da imaju nešto veće jačine doza gama zračenja od prosečnih doza ostalih mernih mesta. Isto tako, u dužem vremenskom intervalu pomoću ADL instrumenta snimani su podaci na lokacijama gde su se vremenski uslovi vrlo brzo menjali u toku izvođenja merenja. To se pre svega odnosilo na uslove vetra i atmosferskih padavina, kada su merenja vršena na otvorenom prostoru.

REZULTATI I DISKUSIJA

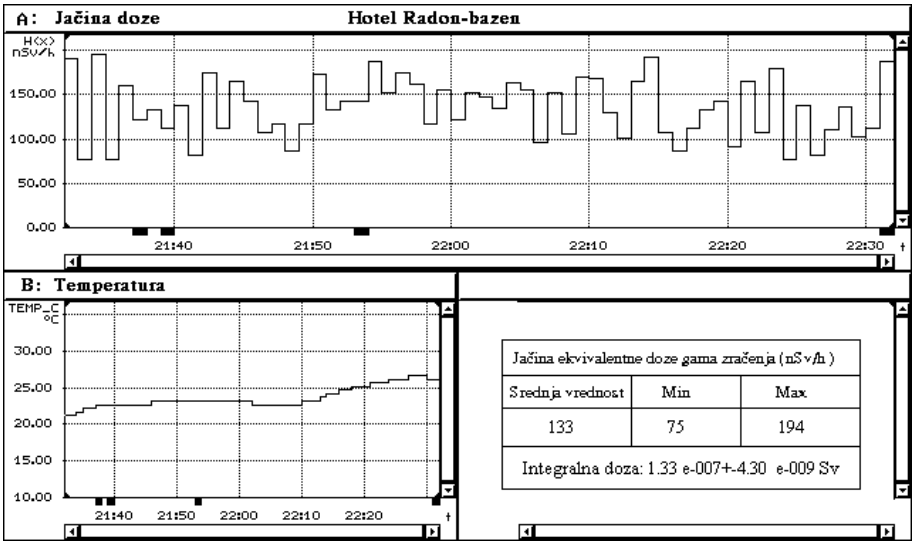
U tabeli 1 prikazane su izmerene vrednosti jačine doza gama zračenja na 10 mernih mesta u Niškoj Banji, kao i vrednost jačine doze u Gradu Nišu.

Tabela 1. Jačina ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu mernih mesta

Br. lokacije	Lokacija	Jačina ekvivalentne doze gama zračenja (nSv/h)		
		sred. vred.	min	max
1	Centralni park	100	62	140
2	Hotel Radon - Bazen	133	75	194
3	Glavni izvor	130	105	154
4	Suva Banja	135	96	171
5	Malo grlo	205	56	372
6	Glavno kupatilo	133	80	202
7	Školska česma I	146	79	179
8	Školska česma II	106	26	197
9	Bušotina NB-1	95	40	176
10	Hotel Ozren	102	34	197
11	Grad Niš-Čair	96	40	176

Da bi uslovi merenja bili na svim mernim mestima približno isti, merenja su vršena na svim lokacijama u približnim intervalima vremena i istom dobu dana. Primećeno je da su najveće varijacije jačine doza mernih mesta na otvorenom prostoru (Centralni park-merno mesto br.1, Bušotina NB-1- merno mesto br.9, kao i na mernom mestu br. 7 i 8 - Školska česma).

Sa merenjem se prvo počelo u Centralnom parku - merno mesto br.1. Vrednosti jačine doza gama zračenja u vazduhu na ovom mernom mestu kretale su se od 62 - 140 nSv/h. Merenja na ovoj lokaciji vršena su još nekoliko puta, ali vrednosti jačine gama doza nisu znatno varirale u toku ovih merenja. Posebno interesovanje bilo je za merenje jačine doze u vazduhu u bazenu hotela Radon. U toku dana nekoliko puta u različitim vremenskim intervalima vršena su merenja. Varijacije vrednosti jačine doze bile su neznatne izuzev vremenskih perida kada je vršeno čišćenje bazena. Da bi se eliminisao efekat provetravanja bazena na vrednost jačine doze, merenja su ponovljena i u vremenu kada je bazen bio zatvoren za posetioce. Na slici br.1 prikazane su vrednosti doza u tom vremenskom intervalu.



Slika 1. Jačina ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu bazena u hotelu Radon

Veoma bliske vrednosti jačine doza gama zračenja u vazduhu bazena hotela Radona izmerene su i na mernim mestima br. 4 i 6 - Suva Banja i Glavno kupatilo . Ova činjenica ukazuje na podzemnu vezu voda ovih izvora. Varijacije vrednosti jačine doza na ovim mernim mestima bile su neznatne i prosečno su iznosile oko 135 nSv/h. Merenja na ovim lokacijama vršena su za vreme stabilnih atmosferskih prilika, kada su u dužem vremenskom intervalu vladale velike suše. Neophodno bi bilo izvršiti dodatna merenja za vreme nestabilnih atmosferskih uslova, a naročito za vreme obilnih kiša i topljenja snega na obližnjim planinama.

Od posebnog interesa je bilo merno mesto br.7 i 8 - Školska česma. Razlog tom interesovanju bio je u temperaturskoj razlici vode sa ovih česama u odnosu na temperaturu termomineralnih voda Suve banje i Glavnog kupatila. Temperatura vode sa ovih česama iznosila je oko 22 ^{o}C , dok temperature voda Suve Banje i Glavnog kupatila su bile 39.3 i 40.1 ^{o}C , respektivno. Merenja na ovoj lokaciji ponavljana su dva puta u intervalima od 6^{30} - 9 i od 13^{30} - 16 časova. Srednja vrednost jačine doze u prvom merenju (jutarnjem) bila je 146 nSv/h, dok je u drugom poslepodnevnom merenju iznosila 106 nSv/h. Iz tabele 1 se

vidi da su srednje vrednosti jačine doza na ovom mernom mestu osetno veće od vrednosti mernog mesta br.6 - Glavno kupatilo, br.4 - Suva banja. Ovo ukazuje na različitu genezu voda Školske česme i termomineralnih voda Glavnog izvora i Suve banje.

Najveća vrednost jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu izmerena je na mernom mestu br.5 - Malo grlo (tabela 1). Merenje je vršeno iznad otvorenog kanala kojim ističe termomineralna voda kao prelivni višak iz kaptiranog izvora. Merna sonda je na početku merenja postavljena na dva metra od ovog kanala a kasnije i u samom otvoru ovog tunela. Srednja vrednost jačine doze gama zračenja kada se sonda nalazila van tunela iznosila je 176 nSv/h , a kada se sonda nalazila u samom tunelu njena srednja vrednost iznosila je 232 nSv/h. U određenim vremenskim intervalima jačina ekvivalentne doze gama zračenja iznosila i do 372 nSv/h, što je daleko najveća vrednost jačine doze gama zračenja u vazduhu u odnosu na vrednosti ostalih mernih mesta.

ZAKLJUČAK

Rezultati koji su dobijeni u ovom početnom istraživanju prirodne radioaktivnosti na području Niške Banje i njene bliže okoline, ukazuju na potrebu daljeg istraživanja, uključujući alfa i gamaspektrometrijska istraživanja. Posebno bi bilo neophodno da se kontinualno prati koncentracija radona u vazduhu i vodi zatvorenih kupatila i bazena Instituta za prevenciju, lečenje i rehabilitaciju „Niška Banja“.

LITERATURA

[1] Ištvan Bikit, Specifični problemi merenja prirodnih radionuklida, Jonizujuća zračenja iz prirode, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd, 1995.

[2] Godish, Thad Indoor Air pollution Control, Lewis Publishers, Michigen, 1990.

[3] Svetolik Stefanović, Niška Banja, Štamparija Drag, Gregorića, Beograd , 1941

[4] Volker Genrich, Long-term observation of the natural gamma beck -groundradiation,International Congress on Radiation Protection, Vien, 1996.

ABSTRACT

THE GAMMA DOSE RATES OF RADIATION IN THE AIR AT LOCATION OF THE NIŠKA BANJA

The measurements of the gamma dose rates of radiation in the air at Niška Banja, and 10 other surrounding locatons are described. The Niška Banja is geological relict with a complex geological structure of soil and a number of thermomineral springs.Variation of dose rates has been noticed.

"PUFF" ATMOSFERSKI DIFUZIONI MODEL ZA KONTINUALNU I DISKRETNU EMISIJU

Z. Gršić, B. Rajković[1], P. Milutinović[2]
Instirut za nuklearne nauke „Vinča", laboratorija „Zaštita"
[1] Fizički fakultet, Beograd
[2] Institut za fiziku, Zemun

SADRŽAJ

U matematičkim modelima emisija se definiše kao kontinualna-rutinska ili diskretna-akcidentalna u zavisnosti od odnosa trajanja emisije i vremena putovanja do mesta gde se računaju koncentracije zagađujuće materije emitovane u atmosferu. Gausovski difuzioni modeli, zbog niza dobrih osobina i skromnih zahteva za ulaznim podacima najčešće se koriste u praksi. Pri tome pravolinijski gausovski modeli se najčešće primenjuju za procene rasprostiranja prilikom kontinualnih emisija, dok se za diskretne-akcidentalne emisije najčešće koriste "puff" modeli. Pored toga što se "puff" modelom računaju trajektorije za diskretan oblak i raspodela koncentracije u oblaku, ovaj model može se koristiti i za kontinualnu emisiju, koja se pri tome prikazuje nizom sukcesivno emitovanih diskretnih oblaka-"puffova". U ovom radu prikazani su rezultati simulacije rasprostiranja zagađujuće materije iz industriske zone Pančeva, za datum 18.4.1999.

UVOD

Relativno jednostavan matematički aparat i skromni zahtevi za ulaznim podacima, kao i zadovoljavajući rezultati eksperimentalnih provera, svrstavaju gausovske difuzione modele u najčešće primenjivane modele u praksi. Kod pravolinijskih gausovskih modela polazi se od pretpostavke da je raspodela koncentracije zagađujuće materije normalna u odnosu na osu perjanice, dok se kod "puff" modela polazi od pretpostavke da je raspodela koncentracije normalna u odnosu na centar oblaka. Odrediti položaj centra diskretnog oblaka u bilo kom trenutku vremena $t = t_0 + \sum \Delta t$ predstavlja tako jedan od glavnih problema u radu sa "puff" modelima.

Položaj oblaka u horizontalnoj ravni određuju brzina i pravac vetra, a visina centra oblaka određena je u osnovi potisnom silom koja je posledica razlike gustina posmatranog oblaka i ambijentalnog vazduha. Osnovna jednačina gausovskog "puff" modela za oblak koji ima pravolinijsku putanju ima oblik:

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

gde je *ut* pređeni put oblaka niz vetar od mesta trenutne emisije, a standardne devijacije $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ su funkcija tog pređenog puta. *H* predstavlja visinu centra oblaka. U ovoj jednačini (x,y,z) predstavlja koordinate računske tačke u koordinatnom sistemu sa početkom vezanim za tačku emisije i x osom usmerenom niz vetar stalnog pravca i smera.

"PUFF" MODEL ZA PROMENLJIVE METEOROLOŠKE USLOVE

U graničnom sloju atmosfere važna osobina fizičkih polja je prostorno-vremenska promenjivost, pa je pretpostavka o pravolinijskoj putanji diskretnog oblaka isuviše stroga. Promenjiv karakter atmosferskih pojava u graničnom sloju atmosfere je nešto što je i iskustveno jasno, međutim tek masovnijom primenom računara osamdesetih i automatskih meteoroloških stanica, u praksi se koriste meteorološki podaci dobijeni merenjima sa većom učestanošću i kraćim vremenima usrednjavanja što bolje reprezentuje promenljiv karakter meteoroloških parametara. Jednačina "puff" modela u ovom slučaju ima oblik:

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

i razlikuje se od prethodne jednačine utoliko što standardne devijacije $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ne zavise od pravolinijskog pređenog puta *ut*, već od stvarno pređenog puta proizvoljnog oblika. Pored pravca i brzine vetra naročito treba obratiti pažnju na promenljivost turbulentnih uslova u graničnom sloju, koja se u model uključuje preko zavisnosti $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ od kategorija stabilnosti atmosfere i pređenog puta u vremenu $t = t_0 + \sum \Delta t$, uz uslov $\sigma_t = \sigma_{t-1} + \sigma_{t-1,t}$. Gornja jednačina odnosi se na diskretan oblak, a nije teško zamisliti da se kontinulna emisija može predstaviti sukcesivnom emisijom niza diskretnih oblaka za koji se svaki pojedinačno, u svakom vremenskom koraku računaju položaji centra oblaka, kao i doprinosi koncentracijama zagađujuće materije u računskim tačkama na izabranom domenu, od svakog pojedinačnog oblaka.

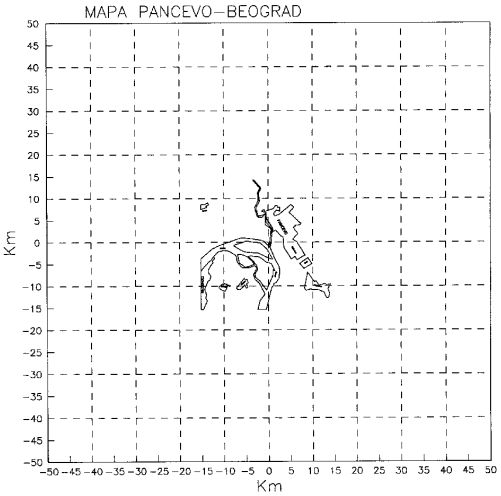
REZULTATI

Model je razvijen u aprilu '99., za potrebe brzih procena opasnosti za eventualne pogotke ciljeva u Insitutu „Vinča", a u ovom radu, radi ilustracije, primenjen je za slučaj Rafinerije nafte u Pančevu koja je bila pogođena NATO projektilima 18.4.1999. oko 1^h10^m po lokalnom vremenu.

Ulazni podaci dobijeni su pomoću automatske meteorološke stanice u Institutu „Vinča", kao deset minutne srednje vrednosti. Ova stanica je najbliža automatska meteorološka stanica industrijskoj zoni Pančeva, a udaljena je od industrijske zone oko deset kilometara, na suprotnoj obali Dunava.

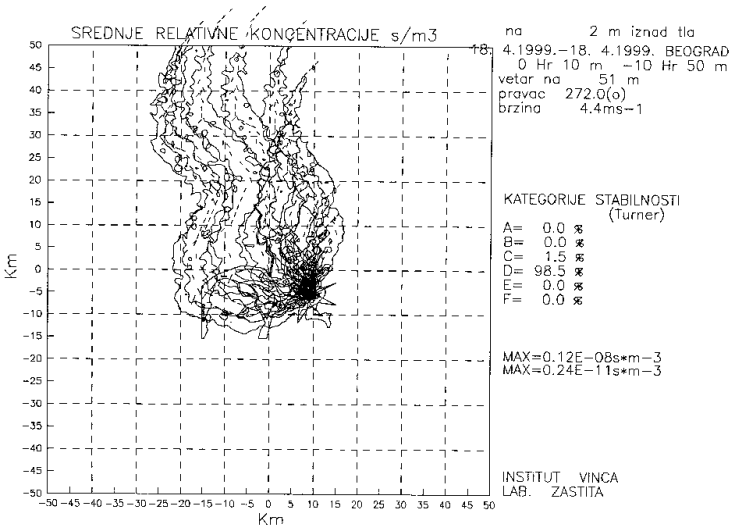
Od ulaznih podataka o izvoru u rafineriji, (mada treba naglasiti da je tog datuma pogođeno skoro istovremeno više različitih izvora u industrijskoj zoni Pančeva) znao se samo približno njegov položaj, a ostali podaci, kao na primer temperatura oblaka na izvoru, vertikalna brzina emisije ili pak fizička visina ili veličina otvora na rezervoarima iz kojih je

izlazio dim, dobijeni su kao rezultat numeričkih eksperimenata koji su dali rezltat, koji je najviše odgovarao onome što je moglo da se proceni osmatranjem dima koji se kretao iznad horizonta industrijske zone Pančeva.



Slika 1.

Rezultati ovih numeričkih proračuna, pri čemu je akcenat bio na trajektorijama "puffova" koji su se formirali na svaki sat u toku 10 minuta iz jednog izvora u rafineriji, prikazani su grafički na slici 2. Radi preglednost na slici 1. prikazana je osnovna mapa Pančeva, industrijske zone, Starčeva, kao i rubnih naselja Beograda prema Pančevu koja je podloga za sliku 2.



Slika 2.

ZAKLJUČAK

Prikazani model bio je u funkciji preduzimanja mere za smanjivanje posledica po živortnu sredinu od eventualnih pogodaka ciljeva u institutu „Vinča“ za vreme ratnih dejstava od marta do juna ’99. godine na teritoriji SRJ. Svi podaci koji su prikupljani na automatskoj stanici, modemskim vezama prebacivani su na računar, u realnom vremenu, u gradski centar za obaveštavanje stanovništva, odakle je po dogovorenoj proceduri sa institutom „Vinča“ trebalo da se upravlja aktivnostima za smanjivanje posledica po životnu sredinu. Pored toga što su u hodu pravljena softverska rešnja, od kojih je jedno rešenje i prikazani “puff” model, urađena su i tehnička rešenja koja su se odnosila pre svega na neprekidno napajanje seta senzora na meteorološkom stubu i neprekidno napajanje računara u meteorološkoj sobi odakle je išla “tt” veza prema gradskom centru za obaveštavanje. Ova veza imala je ozbiljniji prekid samo jedanput, kada je nestanak struje trajao duže od 20 časova.

Na svu sreću potreba za prikazanim rešenjima nije se direktno pojavila, osim kod dejstava po nekim drugim objektima u okolini Beograda.

Ovde svakako treba naglasiti da su sva ova iskustva pokazala koliko su bili u pravu zahtevi toliko puta ispostavljani, pre svih ovih događaja iz perioda mart-jun ’99., da se na svakom ekološki opasnom postrojenju uspostavi monitoring životne sredine. Skoro da je savršeno jasno da osim u retkim slučajevima, posao oko zaštite životne sredine nije ni približno dobro urađen, i da smo svi koji se bavimo zaštitom životne sredine ispustili , teška reč, životnu šansu da uradimo posao na kome bi se školovalo nekoloko sledećih generacija u oblasti zaštite životne sredine.

Ako industrijska zona Pančeva nije imala podatke koji su mogli da posluže za brze procene opasnosti po životnu sredinu, ni „Prva iskra“ u Bariču..., kako se može govoriti o sistemu zaštiti životne sredine na ovim prostorima, od zakonske regulative do praktičnih rešenja?.

Neka ovo pitanje bude zaključak ovog rada.

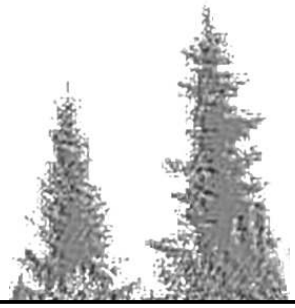
ABSTRACT

A “PUFF” DISPERSION MODEL FOR ROUTINE AND ACCIDENTAL RELEASES

Z. Grsić, B. Rajković[1] , P. Milutinović[2]
Institute of Nuclear Sciences “Vinca”
[1] Faculty of Physics, Belgrade University
[2]Institute of Physics, Zemun

A Puff dispersion model for accidental or routine releases is presented. This model was used as a constititutive part of an authomatic meteorological station.All measured quantities are continuosly displayed on PC monitor in a digital and graphical form, they are averaging every 10 minutes and sending to the civil information center of Belgrade. In the paper simulation of a pollutant plume dispersion from The oil rafinery “Pancevo” , on April 18th 1999 is presented.

3



RADON

ANALIZA REZULTATA MERENJA RADONA U REPUBLICI SRBIJI

I. Petrović, G. Pantelić
KCS, Institut „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja radona u 568 stanova u Republici Srbiji[1]. Izvržena je analiza dobijenih rezultata u zavisnosti od vrste stana, spratnosti, godine gradnje, vrste grejanja i materijala od koga je stan napravljen. Utvrđeno je da je najveća koncenracija radona u stanovima koji se nalaze u suterenu i prizemlju kuća, koji se greju na ugalj i koji su sagrađeni od cigle.

UVOD

Izlaganje stanovništva visokim koncentracijama radona i njegovih potomaka u zatvorenim prostorijama, za duži vremenski period predstavlja zdravstveni rizik [2]. Zakonska regulativa iz oblasti zaštite od zračenja doprinosi smanjenju ili predupredjenju zdravstvenog rizika [3 , 4]. Merenje koncenracije radona u stanovima u našoj zemlji će nam omogućiti prospekciju radona u stanovima i eventualno odrediti lokacije sa povećanim sadržajem radona, gde bi trebalo izvršiti njegovu redukciju.

METODA RADA

Izmerena je koncentracija radona u 568 stanova u: Beogradu, Novom Sadu, Knjaževcu, Šapcu, Kragujevcu, Prištini, Paliću, itd. Merenja su vršena u zimskom periodu pomoću kanistera sa aktivnim ugljem”EPA” na NaI detektoru [5].

Kanistri sa aktivnim ugljem su pripremani po EPA- proceduri, i uz svaki kanister je davano uputstvo korisnicima i upitnik koji su oni bili dužni da popune. Kanistri su bili izlagani 3 dana u prostorijama korisnika, nakon čega smo pristupali gamaspektrometrijskoj anilizi kanistara sa aktivnim ugljem i odredjivali koncentraciju radona u mernoj prostoriji. Merenja su vršena u zimskom periodu od 1991-1997 godine. Greške svih merenja su se kretale u opsegu od 5-10%, dok se minimalna detektovana aktivnost se kretala u opsegu od 5-7 Bq/m^3.

Formirana je baza podataka u koju uneti svi podaci iz upitnika i izmerena koncentracija radona u mernoj prostoriji sa podacima o:

1. mestu u kome se objekat nalazi (Beograd i ostala mesta u Srbiji)
2. vrsti objekta: kuća, stambena zgrada.
3. godini gradnje objekta u kojem se stan nalazi,

4. nivou na kome se stan nalazi,
5. vrsti grejanja i
6. vrsti materijala od koga je objekat napravljen.

Navedene upite smo koristili da bi ispitali distribuciju radona u zatvorenim prostorijama u zavisnosti od ovih uslova.Prilikom analize rezultata, naročito smo imali problema u svrstavanju objekata u pojedine kategorije. Mnogi korisnici nisu umeli ili nisu znali da unesu u upitnik razne podatke, kao naprimer: godina gradnje, gradjevinski materijal, itd, zbog čega nismo uzimali u obzir stanove sa nepopunjenim i nepouzdanim podacima.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati našeg ispitivanja koncentracije radona u stanovima u Republici Srbiji govore da je: koncentracija radona u 88 % stanova ispod 200 Bq/m^3 u 10% slučajeva koncentracija radona iznosi od 200-600 Bq/m^3, dok je samo u 2 % slučajeva izmerena koncentracija iznosila više od 600 Bq/m^3.

1. Ispitano je ukupno 568 stanova, i to 390 (69%) u Beogradu i 178 (31%)u ostalim mestima u Srbiji, čiji su rezultati dati u tabeli 1. U ukupnom broju stanova uneti su podaci i za 58 radnih prostorija, javnih objekata u Republici: vrtići, hoteli i banke.

Tabela 1. Srednja koncentracija radona u stanovima u Srbiji

Merna mesta	Broj stanova	Srednja koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SD	Medijana M	Srednja devijacija SSD
Beograd	390	84.06	146.27	27.00	89.79
Ostala mesta u Srbiji	178	89.39	115.59	41.79	89.39
Sva mesta u Srbiji	568	115.51	136.83	29.08	86.85

Rezultati ispitivanja nam pokazuju da ne postoji značajna razlika srednje koncentracije radona u stambenim prostorijama u Beogradu (gde živi približno 1/3 stanovništva Republike Srbije) u odnosu na ostala mesta u Srbiji. Srednja koncentracija radona u 568 stanova u Srbiji iznosi 115 Bq/m^3.

2. U tabeli 2. dat je pregled srednjih koncentracija radona u stanovima zavisno od toga da li se on i nalaze u stambenim zgradama ili kućama, zbog različitosti u načinu gradnje stambenih objekata, počev od: izbora lokacije, visine na kojoj se stan nalazi u odnosu na tlo, vrste gradjevinskih materijala itd.

Tabela 2: Koncentracija radona u stanovima u zavisnosti da li se oni nalaze u kući ili u stambenoj zgradi

Vrsta objekta	Broj ispitanih objekata	Sr. koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SD	Medijana M	Sred. St.dev. SSD
Kuća	206	140.07	167.00	83.25	114.88
Stanovi (u st.zgradama)	304	50.41	140.07	18.55	53.01

Iz ovih rezultata se može videti velika razlika izmedju srednje vrednosti koncentracije radona u kućama (140.07 Bq/m^3) i srednje vrednosti koncentracije radona u stanovima koji se nalaze u stambenim zgradama (50.41 Bq/m^3). Upravo ovaj rezultat nam je dao potvrdu o opravdanosti izdvajanja dve vrste objekata: kuće i stanove. Većina kuća su po svojoj konstrukciji prizemne i uglavnom ne poseduju podrumske prostorije ispod prizemnog nivoa, te na taj način omogućavaju lakše prodiranje radona do nivoa na kom se stanuje. Kod stanova u stambenim zgradama je drugačija situacija, jer stambene zgrade uglavnom poseduju podrumske prostorije, u kojima se ne stanuje, koji imaju obezbedjenu prirodnu ventilaciju, te na taj način onemogućavaju veliko prodiranje radona iz zemljišta u stanove.

3. U tabeli 3. je dat prikaz rezultata merenja radona u stanovima u zavisnosti od vrste grejanja. Može se videti da je srednja koncentracija radona u stanovima kod kojih se ugalj koristi za grejanje najveća (245.98 Bq/m^3) i da u zavisnosti od vrste grejanja opada po sledećem redoledu: grejanje na: ugalj, drva ili gas, struju, centralno grejanje sve do stanova sa klima uredjajima kod kojih je srednja koncentracija radona najmanja (13.25 Bq/m^3).
Rezultati bi se mogli objasniti na sledeći način: Visoka vrednost srednje koncentracije radona u stanovima koji se greju na ugalj je i očekivana, jer ugalj sadrži uran, radijum i torijum, koji se koncentrišu u pepelu koji nastaje njegovim sagorevanjem. Prirodni gas sadrži radon i on može biti značajni izvor radona. Gas koji se koristi u domaćinstvau u kuhinji ili za grejanje takodje povećava koncentraciju radona [6] u stanu u zavisnosti od potrošnje gasa (normalna dnevna potrošnja gasa je od 0.8m^3/dan-2.8 m^3/dan, respektivno, srednja koncentracija ^{222}Rn je 0.7 kBq/m^3, srednja aktivnost u kućama je 2500Bq/dan, rang-130-6500Bq/dan).

Grejanje na ugalj, struju, drva ili gas je individualno po domaćinstvu, pa se stoga u objašnjavanje ovih rezultata uzima u obzir socio-ekonomsko stanje domaćinstva, u smislu uštede u grejanju na račun slabijeg provetravanja boravišnih prostorija.

Tabela 3. Uticaj vrste grejanja na nivo radona u stanovima

Vrsta grejanja	Broj ispitanih objekata	Srednja koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SD	Medijana M	Srednja st.devijacija SSD
Ugalj	47	245.98	228.30	158.80	183.4
Drva,gas	27	151.23	180.54	36.10	144.01
Struja	111	104.44	137.43	58.80	86.48
Centralno	282	58.83	114.83	22.75	59.89
Klima	28	13.25	11.70	6.58	9.88

Centralno grejanje je postavljeno u stanovima u stambenim zgradama, i to u svim boravišnim prostorijama u stanu, srednja temperatura grejanja stanova je oko 20-23°C, što stanarima omogućava normalno provetravanje prostorija. Što se tiče klima uredjaja u stanovima, može se reći da oni ustvari podspešuju izmene vazduha u prostoriji i na taj način dovode do veoma niskog nivoa radona u njima.

4. U tabeli 4. su prikazani rezultati merenja radona u stanovima u zavisnosti od nivoa na kome se stan nalazi: suteren, prizemlje, prvi, drugi ili treći sprat.

Iz ove tabele se može videti da je izmerena najveća koncentracija radona u stanovima koji se nalaze u suterenu ili prizemlju, i da opada sa povećanjem spratnosti. Na

osnovu toga se može videti koliki je uticaj emanacije radona iz zemljišta na njegov sadržaj u stambenim prostorijama.

Tabela 4. Zavisnost koncentracije radona u stanovima od nivoa na kome se stan nalazi

Nivo na kome se nalazi ispitani objekat	Broj ispitanih objekata	Srednja koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SD	Medijana M	Srednja st. Devijacija SSD
Suteren	73	127.07	169.40	70.30	117.87
Prizemlje	201	131.72	164.15	62.5	118.20
I sprat	138	40.90	62.60	20.57	34.09
II sprat	27	20.57	15.32	14.70	12.53
III sprat	31	19.46	11.73	17.40	9.13

5. U tabeli 5. je dat prikaz rezultata merenja radona u stanovima u odnosu na period kada je objekat sagradjen. može se videti da je srednja koncentracija radona u stanovima koji su sagradjeni do 1945. godine 2 ili 3 puta veća od koncentracije radona u stanovima koji su sagradjeni u posleratnom periodu. Ova razlika se može pripisati vrsti gradjevinskog materijala od koga je objekat napravljen, pogotovo što se u predratnom priodu koristila glina [7] kao jedan od značajnih gradjevinskih materijala, koja u sebi sadrži radijum. Takodje se može reći da se u to vreme nije vršila dobra podna izolacija, što je omogućilo lako prodiranje radona u stanove iz zemljišta na kome je objekat sagradjen.

Tabela 5. Rezultati merenja radona u stanovima u odnosu na period kada je objekat sagradjen

Period u kome je objekat sagradjen	Broj ispitanih objekata	Srednja koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SSD	Medijana M	Srednja st. Devijacija SSD
Do 1919.g.	28	174.70	170.93	149.48	140.54
1920-1945g.	79	188.42	223.23	98.00	173.90
1946-1960g.	73	74.50	111.67	24.83	79.31
1961-1980g.	188	62.27	109.99	26.95	59.07
Posle 1981g.	145	58.32	19.91	27.30	52.08

6. U tabeli 6. je dat prikaz rezultata merenja radona u stanovima u zavsnosti od gradjevinskog materijala od koga je objekat sagradjen.

Tabela 6. Koncentracija radona u stanovima u zavisnosti od materijala od koga je objekat sagradjen

Materijal od koga je objekat sagradjen	Broj ispitanih objekata	Srednja koncentracija ^{222}Rn (Bq/m^3)	Standardna devijacija SD	Medijana M	Srednja st. devijacija SSD
Cigla	338	108.56	155.95	42.90	107.07
Beton	141	35.32	51.04	19.09	30.45
Ostalo	41	98.60	169.60	44.00	91.40

Iz ove tabele se može videti da je srednja koncentracija radona u stanovima koji su napravljeni od cigle (108.56 Bq/m^3) mnogo veća nego u stanovima koji su napravljeni

od betona. Zbog nepreciznog popunjavanja upitnika od strane gradjana i njihove neobaveštenosti o vrsti materijala od koga je napravljen objekat u kome stanuju , u rubriku ostalo spadaju ili drugi materiajli ili isti, pa stoga ne bi smeli komentarisati rezultate ove grupe.

Laboratorijska merenja transporta radona kroz razne uzorke betona [8] su pokazala da postoje 3 fizičke karakteristike cementa kojima se kvantifikuje prodiranje radona u stanove. To su: porozitet, propustljivost i difuzioni koeficijent.

U radu Renekena i Rosenberga [8] iz 1995. je prikazana serija eksperimenata u kojima je odredjivana: poroznost, permeabilnost i difuzioni koeficijent 3 različita miksa cementa. Eksperimentalni rezultati govore:

1) da se cement može upotrebiti kao barijera za radon pri njegovm transportu od zemljišta do atmosfere u stanu, ukoliko se biraju takve meševine cementa koje će imati najmanju propusnu moć za radon i

2) difuzija gasa radona je dominantan transportni mehanizam kroz cement.

Maksimalna koncentracija radona u stanovima prilikom ovog ispitivanja iznosila je 996 Bq/m^3 sa najvećom učestalošću koncentracije radona u stanovima od oko 50 Bq/m^3.

Srednja godišnja koncentracija u svetu (UNCSEAR 1993), iznosi 40 Bq/m^3 . Na osnovu pređenja dobijenih rezultata moglo bi se reći da srednja vrednost koncentracije radona u stanovima u našoj Republici koja je odredjena ovim radom i iznosi 115 Bq/m^3 i maksimalna vrednost od 960 Bq/m^3 , ne odstupaju značajno od vrednosti koje su dobijene u mnogim zemljama širom Evrope.

ZAKLJUČAK

Na osnovu navedenih rezultata i kategorizacije stanova po navedenim upitima, može se reći da je utvrdjena najveća koncentracija radona u stanovima koji se nalaze: u kućama u prizemlju i suterenu, koji se greju na ugalj i koji su sagradjeni od cigle.

LITERATURA

[1] I.Petrović: “Koncentracija radona u stanovima u Republici Srbiji”, magistarski rad, PMF, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 1998.

[2] "The radon book", B.KlavensijÖ, G. Åkerblom, The Swedish Concil for Building Research, Stockholm, 1994.

[3] "Sources and effects of ionizing radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1993, UN, New York 1993,18,31,45.

[4] International Basic Safety Standards for Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115, International Atomic Energy Agency,Vienna,1996., pp.291.

[5] D.J. Gray, S.T. Windham "EERF Standard Operating Procedures for ^{222}Rn Measurement Using Charcoal Canisters", United States Environmental protection Agensy, Montgomery, 1987.

[6] "Effects and Risks of Ionizing Radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1982, UN, New York 1982

[7] M.Vukotić: "Radioekološka ispitivanja radijuma-226 na teritoriji SR Srbije", magistarski rad, Beograd 1973.

[8] K.J. Renken, T.Rosenberg: "Laboratory measurements of the transport radon gas trough concrete samples", Health phys. 68 (6),1995, 800.

ABSTRACT

The study presents the results of radon measurements in 558 apartments in the Republic of Serbia. We analyzed the obtained results depending on the type of building, number of floors, year of construction, type of heating and the types of material the buildings were constructed from. It was found that the greatest radon concentration was in basement and ground floor apartments of private houses, heated with coal and built of bricks.

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE ^{222}RN U ZATVORENIM PROSTORIJAMA

N. Žikić, Lj. Čonkić, I. Bikit,
M. Krmar, Ž. Đurčić, M. Vesković, J. Slivka
Institut za fiziku, PMF, Novi Sad

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja koncentracije ^{222}Rn u školskim i predškolskim ustanovama na teritoriji grada Novog Sada metodom adsorpcije ^{222}Rn na aktivnom uglju. Gama-spektrometrijskom metodom pomoću scintilacionog detektora određena je aktivnost adsorbovanog radona i njegova koncentracija. Merenja su vršena u niskofonskim uslovima unutar gvozdene zaštite debljine 25 cm. Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracija ^{222}Rn varira u opsegu od 4.5 do 250 Bq/m^3 , što zavisi od vrste građevinskog materijala, zemljišta, kao i od ventilacije prostorija.

UVOD

Čovek je izložen stalnom dejstvu prirodnog jonizujućeg zračenja. Rezultati mnogih istraživanja pokazuju da primljene doze jonizujućeg zračenja nisu zanemarljive. Izvori ovog zračenja su prirodni radionuklidi prisutni u vazduhu, zemljištu, građevinskom materijalu, kao i u samom organizmu čoveka, kao i kosmičko zračenje. Procenjeno je da preko 40% ukupne godišnje doze koju primi pojedinac od prirodnih izvora zračenja potiče od radioaktivnog gasa radona ^{222}Rn i produkata njegovog raspada. Internacionalna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) donela je preporuke za zaštitu [1] u kojima se definišu tolerantne granice koncentracije aktivnosti ovog gasa u prostorijama u kojima borave ljudi. Radon je u maloj koncentraciji uvek prisutan u atmosferi, ali u zatvorenim prostorijama može doći do njegove akumulacije. Pošto čovek provodi dve trećine vremena unutar stambenih i radnih prostorija posebna pažnja je usmerena na ispitivanje sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu na kojem se podiže zgrada, kao i njihovog sadržaja u korištenom građevinskom materijalu. Ovde su dati rezultati merenja koncentracije radona u predškolskim i školskim ustanovama na teritoriji grada Novog Sada.

POREKLO RADONA U STAMBENIM PROSTORIJAMA

Radon ^{222}Rn ($T_{1/2}$= 3.824 dana), inertan gas bez boje i mirisa, je potomak ^{226}Ra koji je član uranijumovog niza. Radon se raspada emitujući alfa čestice , da bi se preko 11 narednih, uglavnom kratkoživućih potomaka niz završio stabilnim olovom ^{206}Pb.

Radon prodire u kuće iz raznih izvora [2]. Najvažniji izvori radona u prostorijama su: proces ekshalacije radona iz građevinskih materijala i prodor radona iz zemljišta. Srednja vrednost koncentracije aktivnosti ^{222}Rn u atmosferi iznosi oko 14 Bq/m^3 i zavisi od sastava tla [3]. U prostorije do drugog sprata radon dospeva iz tla kroz pukotine u betonskim zidovima i podrumskim pločama , kroz veze između zidova i ploče i pored instalacionih cevi [4]. Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama istog kvaliteta gradnje varira zbog različitog hemijskog sastava , poroznosti i različitih fizičkih osobina zemljišta.

Pošto je radon inertan gas, dolazi do njegove emanacije, što znači da onog časa kada se stvori raspadom radijuma izlazi iz svih hemijskih veza u kojim se njegov predak nalazio pa se putem difuzije ili nekih drugih transportnih procesa širi atmosferom. Ukoliko se radon raspadne izvan organizma njegovi kratkoživući potomci ^{218}Po, ^{214}Po, ^{214}Pb i ^{214}Bi, koji su hemijski aktivni elementi, vezuju se za čestice prašine, aerosole i vodene kapi u vazduhu, tako da pri udisanju dospevaju u pluća gde se talože. Ukoliko do raspada radona dođe unutar organizma, potomak koji nije hemijski inertan se vezuje za tkiva i nakon toga se nastavlja proces raspada ostatka radioaktivnog niza.

MERENJE I REZULTATI

Postoji nekoliko metoda za određivanje koncentracije radona. Jedna od najčešće primenjivanih je metoda adsorpcije na aktivnom uglju [2]. Aktivni ugalj se nalazi u kanistru, koji se prilikom merenja otvara i postavlja na željenu lokaciju. Radon iz vazduha difuzijom dospeva u kanistar i adsorbuje se na aktivnom uglju, koji ima veliki afinitet prema adsorpciji radona.

Tabela 1. Izmerene vrednosti koncentracije ^{222}Rn

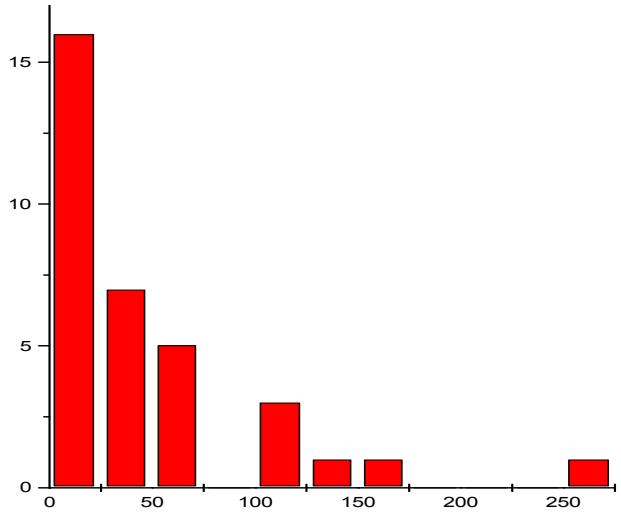
lokacija	^{222}Rn [Bq/m^3]	lokacija	^{222}Rn [Bq/m^3]
1.	4.5 ± 0.9	*18.*	33.3±1.9
2.	148 ± 3.0	*19.*	54.5±2.3
3.	24.1±1.4	*20.*	54.1±2.3
4.	26.5±1.5	*21.*	53.4±2.2
5.	36.9±1.9	*22.*	19.7±1.6
6.	46.5±1.9	*23.*	115.5±3.2
7.	66.4±2.2	*24.*	101.8±3.0
8.	40.5±1.7	*25.*	250.1±4.6
9.	162.7±3.5	*26.*	13.8±1.5
10.	113±4.0	*27.*	8.8±1.3
11.	28.9±1.8	*28.*	12.7±1.4
12.	52.0±2.2	*29.*	9.6±1.4
13.	<1.1	*30.*	12.3±1.5
14.	<1.2	*31.*	13.2±1.7
15.	<1.2	*32.*	17.6±1.8
16.	2.7±1.4	*33.*	19.5±1.7
17.	6.6±1.6	*34.*	27.2±1.8

Radon adsorbovan u zrnima aktivnog uglja se raspada na potomke : ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi i ^{210}Pb. Za određivanje koncentracije ^{222}Rn važni su ^{214}Pb i ^{214}Bi koji emituju gama

zračenje poznatih energija (^{214}Pb – 295 keV i 352 keV; ^{214}Bi – 609 keV). Do radioaktivne ravnoteže između radona i njegovih potomaka dolazi posle nekoliko časova, pa se gama-spektometrijskim merenjem može odrediti aktivnost adsorbovanog radona, a time i njegova koncentracija u zatvorenim prostorijama.

Prilikom merenja radonski kanistri su postavljani u prizemne prostorije na odabranim lokacijama i izlagani ne kraće od 48 časova. Nakon toga kanistri su zatvarani i gama- spekrometrijskom metodom pomoću scintilacionog detektora određivana je aktivnost adsorbovanog radona i njegova koncentracija. Merenja su vršena u niskofonskim uslovima unutar gvozdene zaštite debljine 25 cm. Rezultati su predstavljeni u Tabeli 1.

Iz Tabele 1. može se uočiti da koncentracija radona varira u opsegu od 4.5 do 250 Bq/m^3, što zavisi kako od količine radona koja migracijom stiže iz dubljih slojeva zemljine kore i podzemnih voda, ekshalacije radona iz građevinskog materijala , tako i od metoda koje se preduzimaju za smanjenje koncentracije radona u zgradama, pre svega od provetravanja prostorije[5]. ICRP daje preporuke da koncentracije radona u ravnoteži sa potomcima u vazduhu ne treba da prelaze 400 Bq/m^3 za stare i 200 Bq/m^3 za nove zgrade, na osnovu čega se može zaključiti da su izmerene vrednosti u granicama prihvetljivih vrednosti [6].



Slika 1. Histogram zavisnosti frekvencije pojavljivanja različitih koncentracija ^{222}Rn u Bq/m^3

LITERATURA

[1] Protection against ^{222}Rn at home and at work; International Commission on Radiological Protection; Publ. 65, Pergamon Press, New York, (1994)

[2] Radon update, Facts Concerning Environmental Radon, Idaho State University, http://www.physics.isu.edu/radinf/radon.htm

[3] Rogers V. C. et al: "Radon Diffusion Coefficients for Residential Concretes", Health Physics vol.63 (1994)

[4] I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar, B. Pavlić: "Istraživanje radioaktivnosti građevinskog materijala", XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Zbornik radova, 1995

[5] I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar, B. Pavlić: " Građevinski postupci za smanjenje koncentracije radona u zgradama", XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Zbornik radova
[6] G. Marković, D. Nikezić, P. Marković: "Određivanje koncentracije radona u stambenim prostorijama naselja Rudnik", XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Zbornik radova, 1995

ABSTRACT

Radon comes from the natural radioactive decay of radium and uranium found in the soil beneath the house. The amount of radon in the soil depends on complex soil chemistry, that varies from one house to the next. The amount of radon that escapes from the soil to enter the house depends on the weather, soil porosity, soil moisture and the suction within the house. In this paper we present measured values of radon concentration in the schools in Novi Sad, using method of charcoal canisters. The concentration of the radionuclides is determined by measuring intensities of gamma transitions by NaI(Tl) scintillation detector.

RADON
U NEKIM SPECIFIČNIM RADNIM PROSTORIMA

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

SADRŽAJ

Koncentracije radona i produkata njegovog raspada mjerene su tokom 24 časa u vazduhu nekih specifičnih radnih prostora, u kojima je očekivano povećano prisustvo radona. Mjerenja su rađena pomoću monitora radona "AlphaGUARD" na bazi impulsne jonizacione komore i monitora radnog nivoa radona TN-WL-02. Izuzev u kaptaži izvora vode za gradski vodovod, nađene su veoma niske koncentracije radona, što se objašnjava intenzivnim provjetravanjem prostorija u uobičajenom režimu rada u njoj.

UVOD

Izvori radona u zgradama su prije svega tlo ispod zgrade i građevinski materijal, a zatim, u znatno manjoj mjeri, voda za piće i atmosferski vazduh. Koncentracija radona u zgradama je najveća u suterenu i prizemlju i pretežno je uslovljena njegovim dotokom iz tla ispod zgrade. Voda iz vodovoda obično sadrži radon u koncentraciji reda veličine 1 Bq/l, a izvorska i bunarska nekoliko puta veću [1]. Međutim, pri zagrijavanju i rasprskavanju vode gas radon se oslobađa iz nje. Poznato je da njegova koncentracija u kupatilu, poslije 15-tak minuta tuširanja toplom vodom, može dostići vrijednost reda veličine 10.000 Bq/m^3 [2]. Nagomilavanju radona u zatvorenom prostoru posebno doprinosi slabo provjetravanje zbog energetskih i drugih razloga.

Polazeći od ovih dobro poznatih činjenica, uradili smo jednodnevna mjerenja radona u nekoliko specifičnih radnih prostora, u kojima smo očekivali povećano prisustvo radona, bilo zbog toga što je prostorija u suterenu i sa slabim provjetravanjem, ili što u prostoriji ili njenoj blizini postoji proticanje, rasprskavanje ili isparavanje vode.

Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) preporučuje za akcioni nivo koncentraciju radona u stanovima iz opsega (200-600) Bq/m^3, a u radnim prostorima iz opsega (500 – 1500) Bq/m^3 [3].

MJERNA OPREMA

Za mjerenje radona korišćen je multiparametarski monitor "AlphaGUARD", a za mjerenje koncentracije produkata raspada radona monitor radnog nivoa TN-WL-02.

Prenosni monitor radona "AlphaGUARD" (proizvođač Genitron Instruments, tip PQ 2000 PRO, spoljašnje dimenzije 31.5×17.5×12.0 cm, masa 4.5 kg) je impulsna jonizaciona komora, aktivne zapremine 0.56 dm^3, priključena na napon 750 V i namijenjena za alfa spektrometriju sa digitalnim procesiranjem signala. Veliki filter od staklenih vlakana dozvoljava da u komoru difuzijom uđe gas radon, dok produkti raspada radona bivaju zadržani na filteru. Ovakav instrument omogućava mjerenje koncentracija radona u opsegu (2 - $2\cdot10^6$) Bq/m^3. Kalibraciona greška monitora za ^{222}Rn je ±3 %. Osjetljivost uređaja na toron je u pasivnom načinu rada manja od 10 % od njegove osjetljivosti na radon. Instrument pored radona simultano mjeri i temperaturu vazduha, atmosferski pritisak i relativnu vlažnost vazduha.

Mjerač radnog nivoa radona (Radon Working Level Meter), firme Thomson & Nielsen Electronics, je ručni instrument za mjerenje koncentracije produkata raspada radona u vazduhu stambenih i poslovnih zgrada. Pomoću male pumpe, integrisane u instrument, vazduh se kontinualno propušta brzinom 1 dm^3/min kroz filter dijametra 25 mm, sa porama veličine 0.8 μm, tako da se produkti raspada radona sakupljaju na filteru. Njihova aktivnost se mjeri pomoću alfa-osjetljivog mikročipa, postavljenog naspram filtera, a broj registrovanih impulsa se pokazuje na displeju. Ukupna greška mjerenja ovim instrumentom je oko 20 % i obuhvata nestabilnost protoka vazduha kroz filter, grešku kalibracije instrumenta i statističku grešku brojanja α-čestica.

METOD MJERENJA

U prostoriji u kojoj je mjeren radon, ni prije niti tokom samog mjerenja, ni na koji način nijesu mijenjani uobičajeni uslovi i režim rada u njoj.

Mjerno mjesto unutar radne prostorije, na kojem su postavljani mjerni instrumenti, po mogućnosti birano je tako da ne bude izloženo strujanju vazduha stvorenom uređajima za grijanje, ventilaciju ili kondicioniranje vazduha i da ne bude u blizini vrata, prozora, peći, kamina i električnih uređaja, kao ni u blizini spoljašnjih zidova zgrade. Instrumenti su postavljani na visinu (1.0 - 1.5) m iznad poda i barem 0.5 m daleko od zida prostorije. Svako mjerenje je rađeno po 24 sata, tokom februara i marta 1999. godine.

Koncentracija potencijalne alfa energije c_p u vazduhu, izražena jedinicom WL (Working Level, WL=$2.083\cdot10^{-5}$ J/m^3), određuje se prema formuli:

$$c_p = \frac{N_\alpha}{4.8(t_m - 0.5)} \cdot 10^{-3}[WL], \tag{1}$$

gdje je N_α ukupan broj α-čestica registrovanih instrumentom TN-WL-02 tokom mjerenja, a t_m je trajanje mjerenja izraženo u satima.

Koncentracija potencijalne alfa energije u vazduhu može se izraziti i preko ekvivalentne ravnotežne koncentracije c_{eq} radona ^{222}Rn u vazduhu, koja odgovara neravnotežnoj smješi potomaka radona u vazduhu, prema formuli:

$$c_{eq} = \frac{c_p}{0.27} \cdot 10^3 \left[Bq / m^3\right], \tag{2}$$

gdje je c_p izraženo u [WL].

Vrijednost ravnotežnog faktora F se sada može dobiti, prema njegovoj definiciji, iz formule [3]:

$$F = \frac{c_{eq}}{c}, \tag{3}$$

gdje je c koncentracija roditeljskog nuklida, tj. radona, u vazduhu, koja se direktno mjeri monitorom "AlphaGUARD".

REZULTATI MJERENJA

U Tabeli 1 navedeni su radni prostori u kojima smo mjerili radon i prikazani rezultati mjerenja, zajedno sa ukupnom greškom mjerenja. Pri razmatranju ovih rezultata moramo imati u vidu da su oni indikativni, ali da ne moraju biti i reprezentativni za posmatrane prostorije, zbog mogućih jakih sezonskih varijacija u koncentracijama radona tokom godine.

Tabela 1. Mjerna mjesta i rezultati mjerenja radona

Radni prostor	Provjetravanje	c_p [mWL]	c [Bq/m^3]	F
Podzemno sklonište	nikakvo	23 ± 4	166 ± 10	0.52 ± 0.09
Laboratorija u polusuterenu	slabo	-	60 ± 4	-
Samoposluga u suterenu	slabo	9.9 ± 1.8	100 ± 7	0.36 ± 0.07
Hidroelektrana duboko u planini	intenzivno	5.9 ± 1.1	61 ± 4	0.36 ± 0.07
Vodenica	intenzivno	-	22 ± 1	-
Kaptaža izvora za gradski vodovod	slabo	412 ± 74	2100 ± 77	0.73 ± 0.13
Kuhinja studentskog doma	intenzivno	-	35 ± 2	-
Bolnička perionica	intenzivno	3.00 ± 0.54	17 ± 1	0.65 ± 0.12

Iz tabele se vidi da jedino u prostoriji nad kaptažom izvora, koji značajnim dijelom snabdijeva gradski vodovod Podgorice, koncentracija radona prevazilazi maksimalnu vrijednost dozvoljenu međunarodnim preporukama. Koncentracije radona u ostalim radnim prostorima su daleko ispod graničnih vrijednosti i na izgled neočekivano niske. Ovo tim prije ako imamo u vidu da smo praktično u isto vrijeme (u februaru ove godine), istim instrumentima i istim metodom mjerenja, u Podgorici u jednom stanu u prizemlju individualne zgrade našli koncentraciju radona od 1800 Bq/m^3, a u jednoj kancelariji na prvom spratu, u centru grada, 1500 Bq/m^3.

Da bi se razumjeli rezultati iz Tabele 1, potrebno je imati u vidu neke osobenosti posmatranih radnih prostora.

Mala hidroelektrana, koja je u cjelini ukopana duboko u planini, ima izvanrednu prirodnu ventilaciju: kapija kojom se ulazi u tunel se praktično ne zatvara, a prostorije u

elektrani su pretežno povezane prolazima bez vrata, dok se rijetka postojeća vrata ne zatvaraju.

Vodenica, stara 300 godina, takođe ima veoma dobru prirodnu ventilaciju, kroz brojne namjenske i nenamjenske otvore i pukotine u podu, zidovima i na krovu.

Uzorkovana kuhinja i perionica se veoma intenzivno koriste, ali se stvorena para efikasno odvodi aspiratorima i ventilacionim uređajima, a i prozori i vrata se uglavnom drže otvorenim.

Sklonište u suterenu zgrade tehničkih fakulteta u Podgorici je veoma prostrano, sa puno prostorija. Mjerenje radona je rađeno u prostoriji koja se nikada ne otvara i koja praktično nema ventilacije. Zbog toga iznenađuje nađena relativno niska koncentracija radona (ponovljeno mjerenje je potvrdilo taj rezultat), iako je sklonište izgrađeno izuzetno solidno, sa debelim betonskim pločama, a pijesak i šljunak iz rijeke Morače, koji su korišćeni za pravljenje betona, imaju veoma niske koncentracije urana.

LITERATURA

[1] Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York, 1988.

[2] Brenner D.J.: Radon - risk and remedy. W.H. Freeman and Company, New York, 1989.

[3] Protection against radon-222 at home and at work. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 65, Pergamon Press, New York, 1994.

ABSTRACT

INDOOR RADON IN SOME SPECIFIC WORKPLACES

D. Radusinović, T. Anđelić, P. Vukotić[1]

Center for Ecotoxicological Researches of Montenegro, Podgorica

[1] Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

Indoor concentrations of radon and its progeny are measured for 24 hours in some specific workplaces, where an elevated radon level might be expected. The measurements are performed by radon monitor "AlphaGUARD", based on pulsed ionization chamber, and by radon working level monitor TN-WL-02. Except in one case, very low radon concentrations are found, what can be explained with very intensive ventilation of these workplaces in usual working conditions.

SIMULACIJA SKIM – OFF METODE ZA MERENJE KONCENTRACIJE RADONA AKTIVNIM UGLJEM

V. Urošević, D. Nikezić[1]
Zastava Automobili d.d.,
[1] Prirodno Matematički Fakultet, Kragujevac

SADRŽAJ

Smanjenje efekata ekstremnih varijacija u koncentraciji radona na rezultat merenja aktivnim ugljem moguće je ostvariti Skim off metodom. U ovom radu simuliran je ovaj postupak primenom metode konačnih elemenata. Posebno su razmatrini periodi aktivne adsorpcije i zasićenja. Najbolji rezultati dobijeni skim off metodom se postižu ako se sa površine ukloni sloj debljine 3.44 mm.

UVOD

Za merenje koncentracije radona u vazduhu koriste se razne tenike koje imaju širok opseg osetljivosti i periode integraljenja, a najpoznatije su trag detektori i kanister sa aktivnim ugljem. Kanister sa aktivnim ugljem bez difuzione barijere može meriti srednju koncentraciju radona ako je vlažnost manja od 55% i ako fluktuacije nivoa radona nisu veće od faktora pet [1]. Za prevazilaženje ovih ograničenja i poboljšanje osrednjenih vremenskih karakteristika uvedena je difuziona barijera [1,2]. Postavljanjem barijere na otvoru kanistra maksimalno se smanjuje proces desorpcije, što dovodi do povećanja perioda aktivne adsorpcije. Analiza prostorno-vremenske raspodele koncentracije radona u porama aktivnog uglja pokazuje dva perioda u toku izlaganja uglja atmosferskom radonu; (a) period aktivne adsorpcije i (b) period zasićenja adsorbovane aktivnosti radona. Analiza ukazuje da se period aktivne adsorpcije završava i počinje period zasićenja kada se u kanistru sakupi 85% od ukupne količine radona u odnosu na dugotrajno (beskonačno) izlaganje [3].

Cilj ovog rada je da koristeći sve prednosti koje pruža simulacija proučimo mogućnosti za poboljšanje integralnih karakteristika kanistra sa aktivnim ugljem. Jedan od načina poboljšanja integralne karakteristike je redukovanje efekata ekstremnih varijacija u koncentraciji. Da bi se smanjili efekti ekstremnih varijacija u koncentraciji moraju se obezbediti uslovi merenja u kojima će na kraju perioda izlaganja doprinos koncentraciji radona zbog pojave pika biti jednak ili blizak nuli. Jedan od metoda je Skim-off metod [4].

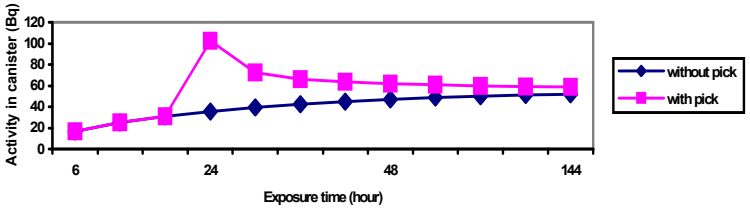
SLUČAJ PROMENLJIVE KONCENTRACIJE RADONA U ATMOSFERI

Pošto se u prostorno-vremenskoj raspodeli koncentracije radona u porama jasno izdvajaju i uočavaju dva perioda, to je i analiza efekta pojave pika u koncentraciji

podeljena na dva dela. Potrebno je odgovoriti na sledeća dva pitanja: (a) Koliko je vreme potrebno da bi kanister sa aktivnim ugljem prihvatio i odreagovao na pojavu pika u koncentraciji? (b) Za koje vreme se taj pik amortizuje tj. odgovor kanistra sa aktivnim ugljem postane jednak srednjoj koncentraciji za dati period izlaganja?

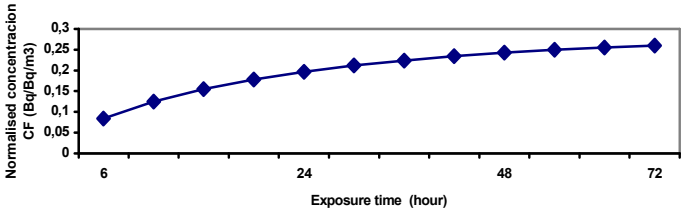
Pojava pika u koncentraciji za vreme aktivne adsorpcije

Kao primer pojave pika u periodu aktivne adsorpcije simulirana je pojava pika od 1000 Bqm^{-3} u trajanju od 6 sati, od 18. do 24. sata od početka izlaganja (slika 1).



Slika 1 Promena aktivnosti u kanistru za konstantan nivo koncentracije i kada se pik u koncentraciji javi u četvrtom intervalu.

U ovakvim i sličnim situacijama kada je simuliran promenljiv nivo radona, može se odrediti koncentracija radona u vazduhu na osnovu odziva modela. Za ovo je potrebno poznavanje ukupne aktivnosti radona u kanistru i vrednosti kalibracionog faktora (CF) kanistra za dati period izlaganja. Vrednost kalibracionog faktora se može odrediti sa kalibracione krive. To je teorijski dobijena kriva, za datu vrstu uglja, geometriju kanistra i temperaturu. Ona predstavlja normalizovanu aktivnost radona u kanistru u odnosu na konstantan nivo spoljašnje koncentracije za različite periode izlaganja (slika 2).



Slika 2. Normalizovanu koncentraciju u kanistru u odnosu na konstantan nivo spoljašnje koncentracije za različite periode izlaganja

U periodu aktivne adsorpcije model kao odziv,za vreme pika daje koncentraciju koja je dva do tri puta veća od teorijski srednje kocentracije za ukupan period izlaganja. Takođe, simulacija pokazuje da kanister sa aktivnim ugljem amortizuje udar za vreme od 24 sata i tek nakon tog intervala vremena daje odgovor koji je približno jednak stvarnoj srednoj koncentraciji sa odstupanjem ±4%.

Pojava pika za vreme perioda zasićenja

Period zasićenja karakteriše pojava da aktivnost adsorbovanog radona u kanistru ostaje približno konstantna tokom vremena ako je spoljašnja koncentracija konstantna. Kao posledica zasićenja aktivnosti radona unutar pora je i neznatna promena vrednosti CF čije se vrednosti kreću u intervalu od (0.26-0.279)Bq/Bqm^{-3} za period od trećeg do šestog dana izlaganja. Kao i u slučaju aktivne adsorpcije i u periodu zasićenja, kanister sa aktivnim ugljem daje dva puta veću vrednost koncentracije od teorijski srednje vrednosti za ukupan period izlaganja. Period amortizacije pika, (vreme za koje će kanister sa aktivnim ugljem kao odgovor dati koncentrciju koja je jednaka stvarnoj srednjoj vrednosti spoljašnje koncentracije) je 36 sati.

SMANJENJE EFEKATA EKSTREMNIH VARIJACIJA U KONCENTRACIJI RADONA – SKIM OFF METOD

Analizirajući prostorno vremensku raspodelu koncentracije možemo zaključiti da pojava pika u koncentraciji u različitoj meri utiče na tačnost merenja Ako se pik u koncentraciji javi u periodu aktivne adsorpcije , onda je potrebno 24 sata da bi kanister sa aktivnim ugljem kao odgovor dao koncentraciju koja je jednaka stvarnoj srednjoj koncentraciji za taj period vremena. Slična situacija je i u periodu zasićenja kada je za amortizaciju potrebno 36 sati. Znači pojava pika u koncentraciji 36 sata pre završetka perioda izlaganja će se ispoljiti tako da će kanister sa aktivnim ugljem kao odgovor dati koncentraciju koja je dva do tri puta veća od stvarne koncentracije za taj interval merenja. Ovi efekti su jače izraženi ako se pik javlja u trenutku završetka perioda izlaganja.

Koristeći pogodnosti koje omogućava simulacija potrebno je proučiti celokupan problem, smanjiti ova ograničenja i napraviti takva merenja čiji će rezultati što bliže odražavati vrednost srednje koncentracije za vreme perioda izlaganja.

Da bi se smanjili efekti ekstremnih varijacija koncentracije na rezultat merenja, potrebno je obezbediti takve uslove merenja u kojima će na kraju perioda izlaganja doprinos koncentraciji radona zbog pojave pika biti jednaka ili bliska nuli. Ovo se može uraditi na dva načina.

Prvi način za smanjenje efekta ekstremnih varijacija u koncentraciji na kraju perioda izlaganja je *skim off metod*. Metod se sastoji u uklanjanju površinskog dela aktivnog uglja na kraju perioda izlaganja čime se ublažavaju efekti pojave pika u koncentraciji.

Drugi način za smanjenje efekta ekstremnih varijacija u koncentraciji na kraju perioda izlaganja je *added adsorber metod* [4]. Ovaj metod se sastoji u tome da se na kraju perioda izlaganja doda novi sloj svežeg aktivnog uglja preko postojećeg.

Skim off method ima prednosti nad Added Asorber metodom prvenstveno zbog jednostavnosti u manipulacijama sa kanistrom. Naime ova metoda ima samo dve akcije, početak izlaganja i kraj izlaganja kada se uklanja deo aktivnog uglja koji se nalazi umrežen u gornjem delu kanistra.

U našoj situaciji "Skim off method" bi se simulirao tako što bi se redefinisali granični uslovi. Raspodela koncentracije i ukupna aktivnost u kanistru bi se računali, ne od slobodne površine aktivnog uglja, kako je to radjeno u [5], već od površine koja je ispod nje na nekom rastojanju, koje je jednako debljini uklonjenog sloja.

U tabeli 1 su prikazane vrednosti koncentracije dobijene simulacijom na modelu u funkciji relativnog vremena t_1/t pojave pika pre kraja izlaganja. Pretpostavlja se

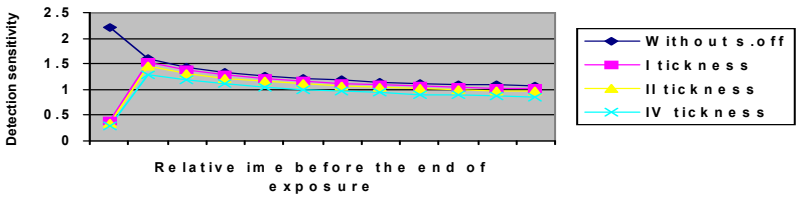
da je ukupno vreme izlaganja t a da je t_1 vreme pojave pika pre kraja izlaganja. Simulirana je situacija kada je kanister sa aktivnim ugljem izložen spoljašnjoj koncentraciji od 200 Bqm^{-3} sa pojavom pika u trajanju od šest sati. U tabeli je u prvoj vrsti dato relativno vreme pojave pika; u drugoj vrsti su date vrednosti koncentracije, dobijene simulacijom na kraju izlaganja bez "Skim off metoda", kada se pik u koncentraciji javljao u navedenim vremenskim intervalima. Period amortizacije traje najviše 36 sati. Nakon ovog perioda kanister sa aktivnim ugljem daje koncentraciju koja je približno jednaka srednjoj vrednosti spoljašnje koncentracije. Znači, Skim–off metod treba primeniti u periodu amortizacije, tj. 36 sati pre kraja izlaganja da bi se eliminisao doprinos u koncentraciji zbog pojave pika. U trećoj, četvrtoj i petoj vrsti su date vredosti koncentracije na kraju perioda izlaganja dobijene simulacijom Skim–off metoda, kada se pik u koncentraciji javljao u navedenim vremenskim intervalima. Treća vrsta daje vrednosti koncentracije kada je skinut jedan sloj debljine 0.86 mm , četvrta kada je uklonjen sloj debljine 1.72 mm i peta kada je uklonjen sloj debljine 3.44 mm. Vrednost koncentracije se dobija pomoću CF za dati period izlaganja i odgovarajuće vrednosti aktivnosti koja se dobija simulacijom na modelu kao odziv na spoljašnju pobudu u periodu zasićenja .

Teorijski srednja vrednost za period od 144 sata ako se javi pik u koncentraciji u jednom intervalu vremena (šest sati) je 233 Bq/m3. U peridu zasićenja za amortizaciju udara je potrebno 36 sat (šest untervala). Najbolji rezultati dobijeni skim–off metodom za ovaj period vremena se postižu ako se skine 3.44 mm

Tabela 1. Vrednosti koncentracije radona dobijene na kraju perioda izlaganja simulacijom na modelu kada se pik javlja u različitim intervalima bez i sa skim off metodom. U prvoj vrsti je dato relativno vreme pojave pika mereno unazad od završetka perioda izlaganja u odnosu na ukupan period zasićena

Koncentracija (Bq/m3)													
t_1 / t	0	0.08	0.16	0.25	0.33	0.42	0.5	0.58	0.66	0.75	0.92	1	AVG
Bez skim off	441.3	318.5	285.5	267.1	253.9	243.8	235.9	229.4	224.1	219.7	216.2	213.3	
Skinut I sloj	392.1	306.3	274.3	258.2	243.1	233	225.1	218.7	213.3	209	205.4	202.5	284
Skinuta II sloja	349.4	291.6	262.8	244.9	232.3	222.3	214.4	207.9	202.9	198.6	195	192.1	270
Skinuta IV sloja	281.5	259.6	237.7	222.3	210.4	200.7	193.2	187.1	182	178.1	174.5	172	234

U kojoj meri Skim–off metod popravlja integralnu karakteristiku najbolje je prikazati preko krive osetljivosti, koja daje osetljivost detektora u zavisnosti od vremena t merenog od kraja perioda izlaganja u odnosu na ukupan period izlaganja. Analizom krivih osetljivosti, prikazanih na slici 3 , može se zaključiti da sa povećanjem debljine uklonjenog sloja krive postaju ravnije a samim tim i uredjaj dobija bolju integralnu karakteristiku .



Slika 3. Detection sensitivity in function of time before the end of exposure Bq/Bq/m3

Ravnajući krivu osetljivosti, Skim off metod onemogućava da ralativno kratki pikovi u koncentraciji radona na kraju perioda izlaganja izobliče (distort) ovo merenje, ili

Skim– off metod smanjuje osetljivost modela na pojavu pika u koncentraciji radona koji se javlja na kraju perioda izlaganja.

ZAKLJUČAK

Da bi se smanjili efekti ekstremnih varijacija u koncentraciji potrebno je obezbediti takve uslove merenja u kojima će na kraju perioda izlaganja doprinos koncentraciji radona zbog pojave pika biti jednak ili blizak nuli. Jedan od načina smanjenja ovih efekata je Skim–off metod. Najbolji rezultati dobijeni skim–off metodom za ovaj period vremena se postižu ako se sa površine ukloni sloj debljine 3.44 mm.

LITERATURA

[1] Cohen, B.L; Nason,R. A diffusion barrier charcoal adsorption collector for measuring radon concentrations in indoor air. Health Phys.50:457-463;1986.

[2] Prichard,H.M.; Marien,K. A passive diffusion Rn-222 sampler based on activated carbon adsorption. Health Phys. 48:797-803;1985.

[3] Urošević,V.Nikezić, D.Vulović,S.Kojić,M Optimisation of radon measurement with active charcoal . Health Physics Vol76 Number 5 1999.

[4] Cohen, B.L.; Cohen, L.S. Theory and practice of radon monitoring with charcoal adsorption. Health Phys.45:501-508;1983.

[5] Nikezić, D. Urošević, V. A theoretical study of radon measurement with activated charcoal. To be published in Nucl. Instrum. Meth. Radiat. Meas. A.; 1998.

MJERENJE RADIJUMA I RADONA KOINCIDENTNIM METODOM NA SPEKTROMETRU PRIPJAT–2M

N. Antović, S. K. Andruhovič[1], A. V. Berestov[1],
E. A. Rudak[1], P. Vukotić, S. Dapčević
Prirodnomatematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica,
[1] Institut za fiziku, Akademija nauka Bjelorusije, Minsk, Bjelorusija

SADRŽAJ

Metod određivanja ^{226}Ra i ^{222}Rn pomoću 6–detektorskog gama spektrometra PRIPJAT–2M, zasnovan na koincidentnom mjerenju γ–zraka od 609 keV iz dvojnih kaskadnih prelaza koji slijede β^-–raspad ^{214}Bi, prikazan je u ovom radu. Dati su i primjeri mjerenja radona u uzorku vode i mjerenja radijuma u uzorku zemlje. Koincidentni metod ima zadovoljavajuću tačnost i bolju osjetljivost od drugih metoda koji su danas u upotrebi za mjerenje radona i radijuma.

UVOD

Mjerenja aktivnosti radijuma i koncentracije radona u životnoj sredini su veoma aktuelna. Gama–spektrometrijski se radijum i radon određuju na osnovu fotolinija njihovih potomaka ^{214}Bi (242 keV, 295 keV, 352 keV) i ^{214}Po (609 keV, 1120 keV, 1765 keV). U ovom radu prikazan je metod određivanja radijuma i radona na 6–detektorskom spektrometru PRIPJAT–2M, putem koincidentne detekcije γ–zračenja iz dvostrukih kaskada koje prate β^-–raspad jezgra ^{214}Bi.

KARAKTERISTIKE SPEKTROMETRA

Spektrometar PRIPJAT–2M [1] čine 6 NaJ(Tl) detektora, njihova čelična i olovna zaštita, elektronika tipa CAMAC i PC računar. Svaki od kristala NaJ(Tl) ima dijametar 15 cm i visinu 10 cm. Čela detektora se nalaze na stranicama kocke, ivice 17.5 cm, zatvarajući prostorni ugao veličine 0.7x4π str i formirajući relativno veliku detekcionu komoru unutar spektrometra. Amplitudna analiza spektara se radi sa 6 ADC–a sa po 256 kanala, energetska rezolucija spektrometra za fotoliniju na 662 keV je 10.5 %, a vremenska rezolucija koincidencija je 40 ns.

Signal sa detektora stiže u odgovarajući pojačivač, gdje se formiraju dva signala sa dužinama 50 ns i 600 ns, koji idu na vremensku i na amplitudnu analizu. Signal dužine 50 ns ide na ulaz brojača i ulaz hodoskopa, a signal dužine 600 ns ide na ulaz ADC–a.

Softver omogućava rad spektrometra u dva režima. U prvom – integralnom režimu š1–6ć, svaki od detektora registruje ukupno γ–zračenje koje stiže do njega. Moguće

je pratiti pojedinačne spektre svih šest detektora, te dobiti sumarni spektar. U drugom – koincidentnom režimu {1–1}–{2–6}, dobijaju se nekoincidentni spektri {1–1} i spektri koincidencija {2–6} (višestrukosti od 2 do 6) svih šest detektora pojedinačno, kao i sumarni spektar {1–1} i sumarni spektar {2–6}. Softverski se oduzima spektar fona i u posmatranom spektru izvora zračenja dobijaju podaci o pikovima i izračunavaju aktivnosti izvora.

OSNOVI METODA I EKSPERIMENT PROVJERE NJEGOVE TAČNOSTI

Proračuni i eksperimenti pokazuju da je osetljivost detekcije zračenja spektrometrom PRIPJAT–2M u režimu dvostrukih koincidencija za red veličine bolja nego u režimu bez koincidencija ili u režimu trostrukih koincidencija [2]. To znači da je doprinos dvostrukih koincidencija u ukupnom spektru koincidiranih impulsa najveći. Činjenica da se nuklidi iz uran–radijumskog niza ne deekscitiraju 3–fotonskim kaskadama značajnijeg intenziteta pogoduje određivanju radijuma i radona koincidentnim metodom. Spektrometar PRIPJAT u koincidentnom režimu daje spektar koincidencija višestrukosti m=2,...,6, ali pri merenju radona dobijeni spektar uključuje ustvari samo dvostruke koincidencije i to samo iz najintenzivnijih dvojnih kaskada, koje sve pripadaju ^{214}Po. U svakoj od tih kaskada je drugi prelaz onaj koji sa nivoa pobude 609.316 keV vodi u osnovno stanje ^{214}Po. Intenzitet fotolinije 609.312 keV je 0.461. Najintenzivnija je kaskada kojom se deekscitira nivo 1729.611 keV (1120.287 keV + 609.312 keV), gdje je intenzitet prve linije 0.151. Ostale dvojne kaskade od praktičnog interesa su: kaskada 1238.110 keV + 609.312 keV gdje je intenzitet prve linije u kaskadi 0.0579, kaskada 768.356 keV + 609.312 keV sa intenzitetom prve linije od 0.0494 i kaskada 934.061 keV + 609.312 keV sa intenzitetom prve linije 0.0303 [3]. Tako se određivanje aktivnosti ^{222}Rn, odnosno ^{226}Ra, vrši na osnovu intenziteta fotopika na 609 keV, dobijenog koincidentnom registracijom ovog γ–zraka sa još jednim, bilo kojim, od mogućih γ–prelaza u kaskadi koji prate β^-–raspad ^{214}Bi.

Određivanje efikasnosti detekcije γ–zraka energije 609 keV na PRIPJATu u različitim režimima njegovog rada rađeno je semiempirijski [2], na osnovu krivih zavisnosti fotoefikasnosti i totalne efikasnosti od energije zračenja, dobijenih snimanjem seta kalibracionih izvora. Tako je dobijeno da je efikasnost registracije fotona od 609 keV u integralnom režimu $\varepsilon(m\geq1)$=0.101, u nekoincidentnom $\varepsilon(m=1)$=0.0675 i u režimu dvostrukih koincidencija $\varepsilon(m=2)$=0.0337.

Tačnost koincidentnog metoda mjerenja radijuma i radona i uopšte rada spektrometra PRIPJAT–2M i njegovog softvera provjerena je mjerenjem izvora ^{226}Ra (visina 1.3 cm, prečnik 0.1 cm, masa 0.09 g i aktivnost 63000 Bq), kod koga je uspostavljena sekularna ravnoteža između ^{226}Ra, ^{222}Rn i njegovih produkata raspada. Izvor je pozicioniran u centar detekcione komore i mjeren oko 50 s živog vremena u oba režima – integralnom i koincidentnom. Fon je sniman u oba režima. Brzina brojanja fonskih impulsa u energetskom opsegu (200 – 2000) keV u integralnom režimu {1–6} iznosi 22.1 imp/s, u nekoincidentnom režimu {1–1} je 20.1 imp/s i u režimu koincidencija {1–6} 1.9 imp/s.

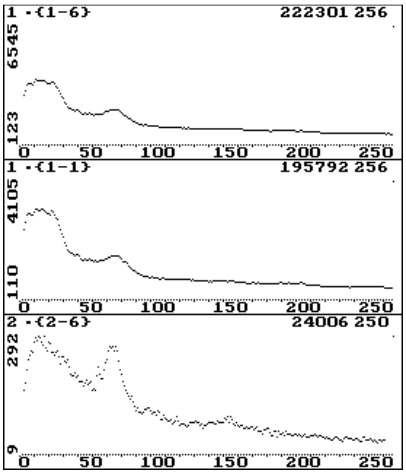
U dobijenim spektrima ^{226}Ra fotopik na 609 keV najizraženiji je u režimu koincidencija. Relativni odnos odbroja u fotopiku i u odgovarajućem dijelu spektra fona za režim {1–6} je 59, za nekoincidentni režim {1–1} je 38, dok je za koincidentni režim {2–6} ovaj odnos čak 257. Uz korekciju registrovanog broja impulsa u piku 609 keV na gubitke usljed efekta sumiranja na svakom pojedinačnom detektoru [4], dobijene su slijedeće vrijednosti za fotoefikasnost: $\varepsilon(m\geq1)$=0.094, $\varepsilon(m=1)$=0.062 i $\varepsilon(m=2)$=0.035. Odstupanje

ovih eksperimentalnih vrijednosti u odnosu na vrijednosti efikasnosti predviđene koincidentnim metodom u svim slučajevima manje je od 9 %, a u koincidentnom režimu {2–6} manje je od 4 %.

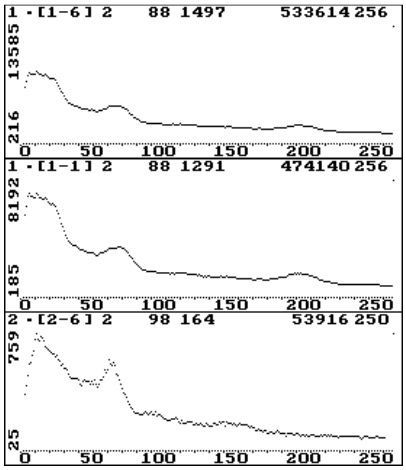
MJERENJE RADONA U VODI I RADIJUMA U ČVRSTIM UZORCIMA

Koncentracija radona u vodi u prirodi je na nivou 1 Bq/l [5]. Najveći broj postojećih tehnika mjerenja radona u vodi zasnovan je na korišćenju detektora γ–zračenja sa tečnim scintilatorom, koji se miješa sa uzorkom vode, a detekcioni limit metoda je 0.74 Bq/l za 40 min snimanja spektra γ–zračenja, odnosno 0.15 Bq/l za 1000 min snimanja [6].

Uzorak bunarske vode za piće od 1 l, smješten je u staklenu mjernu posudu dijametra 11 cm , visine 12 cm i debljine zida 0.2 cm. Posuda je zatim hermetizovana i mjerenje je započeto nakon 4 sata, kada je uspostavljena radioaktivna ravnoteža ^{222}Rn i njegovih potomaka. Spektri γ–zračenja vode snimani su u oba režima rada PRIPJATa po 30 min. Sumarni spektri, dobijeni poslije oduzimanja fona, prikazani su na Sl.1, gdje je integralni spektar označen sa {1–6}, nekoincidentni sa {1–1}, a koincidentni sa {2–6}. Koincidentnim metodom dobijena je koncentracija radona u analiziranom uzorku vode od (7.7±1.1) Bq/l.



Slika 1. Spektri vode: integralni {1–6}, neko–incidentni {1–1} i koincidentni {2–6}.



Slika 2. Spektri zemlje: integralni {1–6}, nekoincidentni {1–1} i koincidentni {2–6}.

Prema formuli izvedenoj na osnovu granice L_D sigurne registracije impulsa iz analiziranog izvora zračenja [7]:

$$A_{min} = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{N_b}}{t}$$

gdje je N_b broj impulsa koji potiču od fona i od Comptonove raspodjele u domenu posmatranog fotopika, a t vrijeme mjerenja, može se naći minimalna aktivnost koju je moguće registrovati spektrometrom PRIPJAT–2M u različitim režimima njegovog rada. Primjena ove formule na spektre zračenja 1 l bunarske vode, snimane 30 min, pokazuje da je donja granica sigurne detekcije radona preko fotopika na 609 keV: u režimu {1–6} A_{min}=1.11 Bq/l, u režimu {1–1} A_{min}=0.85 Bq/l i u režimu {2–6} A_{min}=0.25 Bq/l. Ovi rezultati potvrđuju preimućstvo režima {2–6} nad režimom {1–6}, kao i veću osjetljivost koincidentnog metoda mjerenja radona u odnosu na druge metode koji su danas u upotrebi.

Istim metodom urađeno je i mjerenje aktivnosti ^{226}Ra u uzorku zemlje, mase 1.2 kg, koji je prethodno bio hermetizovan više od 40 dana radi uspostavljanja sekularne ravnoteže između ^{226}Ra i ^{222}Rn. Spektar je sniman 1 h (Sl.2) i dobijena je aktivnost od (8.4 ± 1.0) Bq. Isti taj uzorak je zatim sniman 72 h na poluprovodničkom detektoru efikasnosti 20 % i dobijena je aktivnost ^{226}Ra u uzorku od (9.9 ± 1.5) Bq. Kao što se vidi, ovi rezultati su u zadovoljavajućoj saglasnosti, ali se na PRIPJATu rezultati istog kvaliteta dobijaju puno brže.

LITERATURA

[1] S.K. Andruhovič, A.V. Berestov,V.I. Gutko, A.M. Hilmanovič. Visokočuvstviteljni mnogodetektorni gama spektrometri PRIPJAT. Preprint Instituta fiziki AN BSSR, Minsk (1995).

[2] N. Antović. Razvoj koincidentnog metoda mjerenja radona na višedetektorskim sistemima. Magistarski rad, Fizički fakultet u Beogradu, 1998.

[3] S.Y. Chu, H. Nordberg, R.B. Firestone, L.P. Ekstrom, P. Kanjanarat. VuENSDF data files, 1996

[4] F. De Corte. The k_0–standardization method. University of Gent, 1987

[5] V. Lebed, M.C. Role, G. Tynen. *Health Phys*. 72, 762 (1997)

[5] R.W. Field, B.C. Kross. *Health Phys*. 74, 249 (1998)

[6] A.I. Alabdula'ali. *Health Phys*. 70, 103 (1996)

[7] R.A. Kuznjecov. Aktivacioni analiz. Atomizdat, Moskva, 1974.

ABSTRACT

COINCIDENCE METHOD OF RADIUM AND RADON MEASUREMENTS BY PRIPJAT–2M SPECTROMETER

N.Antović, S.K.Andruhovič[1], A.V.Berestov[1],
E.A.Rudak[1], P.Vukotić, S.Dapčević
Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica
[1] Institute of Physics, Belarus Academy of Sciences, Minsk, Belarus

Method of ^{226}Ra and ^{222}Rn measurement by 6–detector γ–ray spectrometer PRIPJAT–2M, based on coincidence counting of 609 keV photons from two–step cascade transitions that follow β^-–decay of ^{214}Bi, is presented. Examples of radon measurement in vater sample and radium in soil sample are given. Besides a good accuracy, this method has better sensitivity than many other methods in use nowadays.

RASPODELA TRAGOVA NA DETEKTORU CR39 OZRAČENOG RADONOM ZA RAZLIČITE FAKTORE RAVNOTEŽE

D. Kostić, D. Nikezić, D. Krstić
Prirodno matematički fakultet, Kragujevac

SADRŽAJ

Teorijski je tretiran problem raspodele tragova u zavisnosti od površine otvora traga u slučaju kada je detektor CR39 izložen radonu i njegovim kratkoživećim potomcima. Računati su parametri otvora traga i odredjivana je njihova raspodela u zavisnosti od površine otvora za date debljine skinutog sloja derektora i različite faktore ravnoteže.

UVOD

Jedan od preostalih problema u nauci o radonu jeste dugovremensko i integraciono merenje koncentracije kratkoživećih radonovih potomaka. Bilo je više raznih pokušaja rešavanja ovog problema korišćenjem trag detektora. Otkriveni trag detektor izložen alfa zračenju radonove serije nosi informaciju o koncentraciji potomaka. Jedna od mogućnosti dobijanja te informacije jeste studiranje raspodele tragova po nekom parametru traga. Ovaj rad predstavlja preliminarni izveštaj napora u tom pravcu. Osnovna ideja se sastoji u tome da se poredjenjem teorijski predvidjene i eksperimentalno izmerene raspodele tragova po nekom od parametara nadje veza gustine tragova i faktora ravnoteže izmedju radona i njegovih kratkoživećih potomaka.

Izvedena je jednačina zida traga u čvrstim trag detektorima u dve dimenzije [1]. Program zasnovan na toj jednačini daje veliku i malu poluosu i površinu otvora traga. U ovom radu dati su neki od rezultata raspodele tragova u zavisnosti od površine otvora traga na detektoru CR39 koji je izložen radonu i njegovim kratroživećim potomcima iz vazduha. Sistemetski je varirana debljina skinutog sloja detektora, kao i faktor ravnoteže radona i njegovih kratroživećih potomaka u vazduhu.

MODEL

Posmatran je slučaj otrivenog detektora CR39 postavljenog u atmosferu radona i njegovih kratroživećih potomaka. Kada alfa čestica prodre u detektor stvara se latentni trag, koji se hemijskim nagrizanjem može vizualizovati. Pri hemijskom nagrizanju razlikuje se brzina nagrizanja neoštećne površine detektora V_b i brzina nagrizanja duž traga čestice V_t. Razmatran je slučaj promenljive brzine V_t, koja raste sa povećanjem dubine traga da bi na kraju naglo opala na nulu. Kada hemijski rastvor koji nagriza detektor stigne do krajnje

tačke traga čestice dalje nagrizanje se vrši u svim pravcima stalnom brzinom V_b. Kinetika razvoja traga razmatrana je od strane više autora [2–5]. U radu [1] izvedena je dvodimenzionalna jednačina zida traga u sledećem obliku:

$$y(x) = -\int_x^L \frac{dx}{\sqrt{V^2(x) - 1}} \tag{1}$$

gde su: x i y koordinate tačke na zidu traga; $V(x)=V_t/V_b$; L je dužina traga u detektoru date relacijom:

$$L = \int_0^T V_t dt \tag{2}$$

a T je vreme nagrizanja detektora.

Jednačina prave koja u dve dimenzije predstavlja površinu detektora nakon nagrizanja je data u obliku:

$$y = -tg\theta + \frac{V_b T}{\cos\theta} \tag{3}$$

gde je θ upadni ugao alfa čestice meren od površine detektora. Iz preseka jednačina (1) i (3) odredjuju se dimenzije otvora traga. U slučaju da je trag u obliku elipse velika i mala osa otvora traga računaju se korišćenjem relacija:

$$D = \frac{y_1 + y_2}{\sin\theta} \qquad \text{i} \qquad d = \sqrt{y_1 y_2} \tag{4}$$

gde su y_1 i y_2 koordinate tačaka preseka zida traga i površine detektora nakon nagrizanja.

Uvedene su veličine: S definisana kao proizvod velike i male ose otvora traga (S=Dd) koja opisuje površinu otvora traga, i veličina s definisana kao količnik velike i male ose otvora traga (s=D/d) koja opisuje zakrivljenost elipse.

OPIS RAČUNSKOG PROGRAMA RNCR39

Na osnovu dobijenih jednačina napravljen je računski program RNCR39.for u standardnom jeziku FORTRAN 90. U programu se vrši Monte Karlo simulacija detekcije većeg broja alfa čestica emitovanih od radona i negovih kratkoživećih potomaka u prostoru ispred detektora. Sastoji se iz sledećih delova:

– ulaz parametara: incidentna energija i ugao alfe čestice, debljina skinutog sloja;

– biranje slučajne tačke u prostoru u kojoj je emitovana alfa čestica i pravca njenog kretanja;

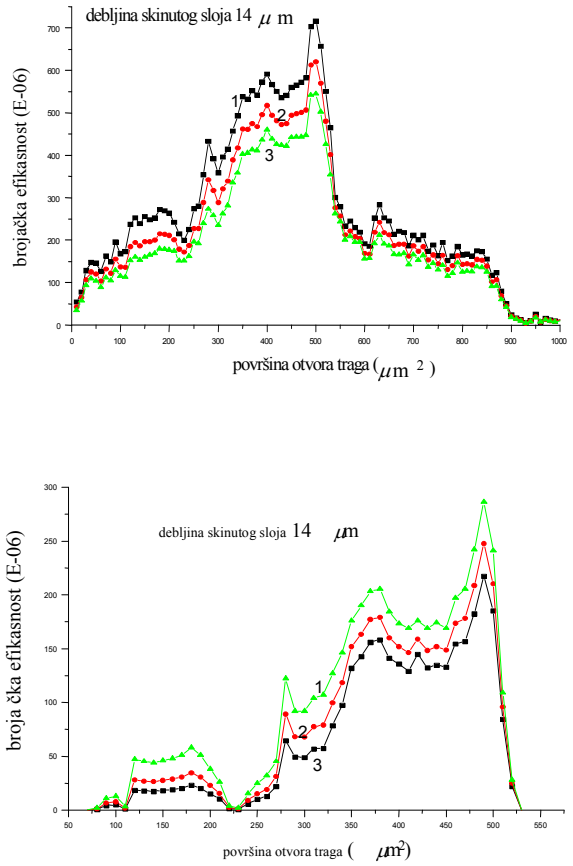
– računanje parametara traga, površine otvora traga i zakrivljenosti otvora traga;

– ponavljanje „istorije“ većeg broja alfa čestica;

– klasifikacija tragova prema površini otvora traga i prema uslovu $1.6 \geq s \geq 1.1$;

REZULTATI

Proracun je obavljen za milion alfa čestica energije 7.69 MeV (^{214}Po), 6.0 MeV (^{218}Po) i 5.49 MeV (^{222}Rn) emitovanih iz vazduha ispred detektora. Varirana je debljina skinutog sloja detektora pri nagrizanju od 8 do 20 μm. Raspodela broja tragova u zavisnosti od povrsine otvora traga radjena je za slučajeve kada koncentracije ^{222}Rn, ^{218}Po i ^{214}Po stoje u odnosima 1:1:1, 1:0.8:0.6 i 1:0.6:0.4. Od velikog broja rezultata koji su dobijeni računanjem ovde su kao primer na slici 1 prikazani rezultati dobijeni za sva tri faktora ravnoteze i debljine skinutog



Slika 1. Raspodela tragova po površini otvora traga

sloja 14 μm. Na gornjem grafiku Slike 1 prikazana je raspodela za sve dobijene tragove bez obzira na njihov oblik, dok je na donjem grafiku prikazana raspodela samo eliptičnih tragova koji zadovoljavaju uslov $1.6 \geq s \geq 1.1$. Na oba grafika krive označene brojem *1* predstavljaju rezultate dobijene za koncentracije koje zadovoljavaju uslov ^{222}Rn:^{218}Po:^{214}Po=1:1:1; *2* rezultate za uslov ^{222}Rn:^{218}Po:^{214}Po= 1:0.8:0.6; i krive označene sa *3* rezultate za koncentracije ^{222}Rn:^{218}Po:^{214}Po= 1:0.6:0.4.

DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Tragovi čije su površine manje od 250 μm^2 potiču samo od ^{214}Po, tragovi površine od 250 do 320 μm^2 potiču od ^{214}Po i ^{218}Po, dok tragovi površina većih od 320 μm^2 potiču od oba ova radioaktivna izotopa i radona. To znači da se merenjem gustine tragova manjih od 250 μm^2 može dobiti informacija o koncentraciji ^{214}Po. Primenom Jacobi-Porstendörfer-ovog modela mogu se odrediti koncentracije ostalih radonovih potomaka.

U daljem radu pažnja će se posvetiti proučavanju svih relevantnih parametara potrebnih za ovladavanje metodom merenja kratkoživećih radonovih potomaka čvrstim trag detektorom CR39.

LITERATURA

[1] Nikezic D. and Kostic D. (1997) Simulation of track growth and determining the track parameters. Radiation Measurements 28, 185-190.

[2] R.P.Henke and E.Benton. On geometry of tracks in dielectric nuclear track detectors. Nuclear Instruments and methods. 97. 483-489 (1971)

[3] G. Somogyi and S.A. Szalay. Track-diemeter kinetics in dielectric trrack detectors. Nuclear Instruments and methods. 109. 211-232 (1973)

[4] H.G.Paretzke, E.V.Benton and R.P.Henke. On particle track evolution in dielectrik track detectors and charge identification through track radius measurement. Nuclear Instruments and methods. 108. 73-80 (1973)

[5] G.Somogyi. Development of etched nuclear tracks. Nuclear Instruments and methods. 173. 21-42 (1980)

ABSTRACT

The track distribution on the detector CR39 was calculated for various equilibrium factors between radon and its short lived progeny. Monte Carlo method was applied for the calculations. The calculations were done for different thickness of the layer removed by the etching. It was found that the tracks with the surface opening less than 250 μm^2 have originated by ^{214}Po.

PRIKAZ PROGRAMA LUDEP ZA PRORAČUN DOZE U LJUDSKOM RESPIRATORNOM TRAKTU

D. Vučić, D. Nikezić[1]
Tehnoloski fakultet, Leskovac
[1] Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac

SADRŽAJ

LUDEP (LUng Dose Evaluation Program) je kompjuterski program za IBM-kompatibilne PC. Osnovna namena mu je izračunavanje doze u respiratornom traktu, pri čemu teorijsku osnovu predstavlja model ljudskog respiratornog trakta, koji je objavljen kao ICRP Publikacija 66. Ovim programom je, takođe, moguće izvršiti procenu doze i u ostalim organima tela u zavisnosti od uslova koje definiše sam korisnik. Dobijene rezultate je moguće fitovati sa eksperimentalnim podacima. Baze podataka ugrađene u ovaj program sadrže: biokinetičke modele (prema ICRP 30), podatke vezane za raspade radionuklida (ICRP 38), kao i funkcije vezane za ekskreciju (ICRP 54).

UVOD

Model ljudskog respiratornog trakta koji se koristi u radijacionoj zaštiti usvojen je od strane Meunarodne komisije za radijacionu zaštitu (ICRP) kao ICRP Publikacija 66 [1]. Ovaj model, za razliku od prethodnih, realistično opisuje, pre svega, depoziciju udahnutih radionuklida u respiratornom traktu, a zatim i njihovo biokinetičko ponašanje i dozu primljenu u respiratornom traktu. Naročito je značajno računanje doze po pojedinim regionima respiratornog trakta i mogućnost primene na različite starostne grupe.

Kao direktna primena ovog modela razvijen je kompjuterski program u cilju dobijanja doznih koeficijenata za profesionalno izložena lica i opštu populaciju. Program je nazvan LUDEP (LUng Dose Evaluation Program) i razvijala ga je grupa autora istovremeno sa nastajanjem modela plua ICRP 66 [2].

U principu, LUDEP je kreiran za dve osnovne primene:

1) da testira dati model pluća u pogledu pretpostavljene depozicije, čišćenja i zadržavanja radionuklida u plućima, i to u odnosu na referentne eksperimentalne podatke;
2) da testira mogućnosti praktične primene modela pluća.

Program je prvobitno dizajniran samo za određivanje doze u respiratornom traktu [3], ali je vremenom evoluirao do mogućnosti izračunavanja doze u svim telesnim organima. Poslednja verzija ovog programa [2] svakako nije i konačna; dalji razvoj programa ide u smeru određivanja promena kod biokinetičkog modela u zavisnosti od uzrasta (starosti), kao i u pravcu daljeg razvoja dozimetrije pojedinih organa.

OPIS SOFTVERA

Program LUDEP je kreiran za IBM-kompatibilne PC, a može se startovati kako iz DOS-a, tako i iz Microsoft Windows ili Windows 95. Korisniku omogućava izra□čunavanje ili procenu doze prema scenariju koji definiše sam korisnik. Program je rađen u modularnoj formi, pri čemu svaki modul pretstavlja specifičnu funkciju, kao npr.: izračunavanje depozicije, apsorpcija u plućima, transport čestica, izbor radionuklida, biokinetički model. Svaki od ovih modula se automatski poziva iz centralnog programa, čime korisnik ima direktnu kontrolu nad izvršavanjem.

U program je ugrađeno nekoliko baza podataka: podaci o raspadu radionuklida prema Oak Ridge National Laboratory [4] i ICRP Publikaciji 38 [5]; biokinetiki model prema ICRP Publikaciji 30 [6]; bio-funkcije prema ICRP Publikaciji 54 [7].

ULAZNI PARAMETRI

Ovi parametri su dati preko sedam programskih opcija.

1. Režim izloženosti radionuklidima je determinisan putem tri komplementarne oblasti:

(1) *vrsta fizičke aktivnosti* (spavanje, sedenje, lake i teže fizičke vežbe) direktno određuje vrednost spirometrijskih parametara (količina udahnutog vazduha u toku jednog udisaja, brzina i učestanost disanja i dr.); bitna je i procentualna zastupljenost pojedinih tipova fizičke aktivnosti u toku dana;

(2) *tip izloženosti radionuklidima* sadrži dve opcije: profesionalnu i opštu izloženost, a postoji i mogućnost da korisnik sam definiše vrstu izloženosti

(3) *način primanja radionuklida* može biti akutan i hroničan, a putevi ulaska u telo su:inhalacijom, putem hrane ili injekcijama direktno u krv

2. Vreme izloženosti za koje se izračunava doza ili kumulativna doza direktno zavisi od načina primanja radionuklida (akutno ili hronično) i izraženo je u danima i godinama.

3. Depozicija predstavlja, u stvari, frakcionalnu depoziciju aerosola u svakom od pet regiona respiratornog trakta. Ona direktno zavisi od veličine aerosola i njihovih fizioloških parametara, kao i od parametara vezanih za fizičku aktivnost subjekta (spirometrijskih parametara).

(1) Parametri vezani za *veličinu aerosola* su: AMAD (activity median aerodinamic diameter), AMTD (activity median thermodynamic diameter), gustina i oblik čestica

(2) U *fiziološke parametre* spadaju: respiratorni "mrtvi prostor" i funkcionalni rezidualni kapacitet. Oni zavise od uzrasta i težine subjekta.

(3) *Spirometrijske parametre* čine: frekvenca disanja, vrednost plućne ventilacije, količina vazduha uneta jednim udisajem i protok vazduha kroz bronhije.

4. Transport čestica pretstavlja način na koji se deponovane čestice kreću kroz regione respiratornog trakta, kao i način njihovog čišćšenja (odstranjenja) iz disajnih puteva.

5. Absorpcija zavisi od rastvorljivosti čestica i sposobnosti njihovog prelaska u krv. Prema rastvorljivosti, čestice su podeljene u nekoliko osnovnih i više među-kategorija, a sve prema modelu datom u ICRP 66 [1].

6. Radionuklidi. Ova opcija omogućava korisniku da odabere radionuklid koji je od interesa i dobije sve relevantne podatke vezane za njega. Ugrađene su dve baze podataka: prema ICRP Publikaciji 38 [5] i prema Oak Ridge National Laboratory [4].

7. Biokinetički model se može preuzeti iz ICRP Publikacije 30 [6] ili kreirati sopstveni. Svi organi u telu (a ne samo pluća) mogu biti izvor i meta za radionuklide

IZRAČUNAVANJE DOZE

U zavisnosti od odabranih ulaznih parametara moguće je izračunati primljenu dozu ili izvršiti procenu izloženosti za različite organe u telu, uz selektiranje određenih opcija programa.

1. Doza u pojedinom telesnom organu. U ovoj opciji postoji mogućnost selektiranja jednog od dvadesetak organa. Izračunava se apsorbovana i efektivna doza.

2. Doza u respiratornom traktu daje veliki dijapazon detalja za određivanje doze u svakom pojedinom regionu respiratornog trakta.

3. Doza lanca raspada odabranog radionuklida je prelazni korak u određivanju doze izabranog organa.

4. Ekskrecija i zadržavanje su biološke veličine, koje je, takođe, moguće eksplicitno odrediti.

5. Upoređivanje izračunate doze sa eksperimentalnim podacima omogućava procenu izloženosti za postojeće ili neke buduće situacije.

HARDVERSKI ZAHTEVI

Za instaliranje LUDEP-a i pridruženih baza podataka neophodan je hard disk sa najmanje 2.1 MB slobodnog prostora. Softver se može pokrenuti sa bilo kog IBM PC, AT, XT ili kompatibilnih (8086, 80286, 80386, 80486 ili pentiuma), kao i sa MS-DOS 3.0 ili višeg. Međutim, zbog dužine pojedinih izračunavanja, preporučuje se aritmetički co-procesor (8087, 80287 ili 80387). Program automatski detektuje co-procesor i koristi ga ako on postoji. Za rad LUDEP-a potreban je RAM od 481 kB. Preporučuje se i VGA color monitor zbog prikaza svih dijagrama.

LITERATURA

[1] International Commission on Radiological Protection. Human respiratory trct model for radiological protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP, 24, Nos 1-3 (1994).

[2] Birchall, A, Jarvis, N.S, Bailey, M.R, Dorrian, M-D, and James, A.C. Implementation of the ICRP Publication 66 respiratory tract model: LUDEP 2.0 Chilton, NRPB-R287 (In preparation).

[3] Birchall, A, Bailey, M.R, and James, A.C. LUDEP:A lung dose evaluation program.Radiat. Prot. Dosim.,38, No. 1, 167-174 (1991).

[4] Kocher, D.C. Radioactive Decay Data Tables. Washington DC, Technical Information Center, US Department of Energy. Report No. DOE/TIC-11020 (1981).

[5] International Commission on Radiological Protection. Radionuclide transformations: Energy and intensity of emissions. ICRP Publication 38 Ann. ICRP, 11-13 (1983).

[6] International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30. Part 1: Ann. ICRP,2, Nos 3-4 (1979); Part 2:Ann.ICRP,4, Nos 3-4 (1980);Part 3:Ann. ICRP,6, Nos 2-3 (1981); Part 4:Ann. ICRP,19, No.4 (1988).

[7] International Commission on Radiological Protection. Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers:Design and interpretation. ICRP Publication 54.Ann. ICRP,19, Nos 1-3 (1988)

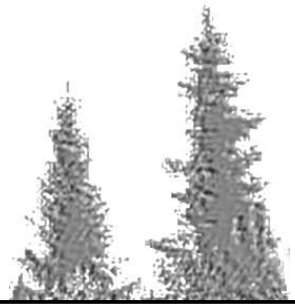
ABSTRACT

LUDEP (LUng Dose Evaluation Program) is a computer program for IBM-compatibile personal computers, for calculating internal doses using the ICRP Publikation 66 Respiratory tract model. This program, also, enables the user to calculate doses and dose

rates from intakes of radionuclides to other body organs for a wide range of user-defined conditions. There are the facilites for fitting the calculated data to experimental data.

This program includes databases containing the ICRP Publication 30 biokinetic models, ICRP Publication 38 radionuclide decay data and ICRP Publication 54 excretion functions.

4



DOZIMETRIJA

JEDNAČINE JONIZACIONE KOMORE

D. Novković, M. Tomašević, K. Subotić, Z. Milošević
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Izveden je redukovani sistem diferencijalnih jednačina jonizacione komore koje važe za plan paralelne, cilindrične i sferne jonizacione komore. Numerička rešenja redukovanog sistema data su za jonizacione komore punjene vazduhom.

UVOD

Jonizaciona komora je detektor koji je u širokoj upotrebi u dozimetriji jonizujućeg zračenja. Fizički fenomeni na kojima je zasnovan rad jonizacione komore, objašnjeni su još krajem prošlog i početkom ovog veka, pre nego što je dozimetrija jonizujućeg zračenja zasnovana kao posebna oblast fizike. Thomson J. J. je u svom članku "Teorija provođenja elektricitete kroz gasove naelektrisanim jonima" još 1899 g. [1] dao osnovna objašnjenja fenomena na kojima je zasnovan rad jonizacione komore. U skladu sa Thomsonom [2], fizički procesi u jonizacionoj komori mogu se svrstati na sledeći način:

(i) Gas u jonizacionoj komori se jonizuje pod uticajem zračenja. Fizička veličina koja karakteriše jonizaciju je broj jonskih parova stvorenih u jedinici vremena u jedinici zapremine, q.

(ii) Suprotan proces ovome je rekombinacija kod koje se joni sa suprotnim naelektrisanjem neutrališu. Količina rekombinovanih jona jednaka je $\alpha n_1 n_2$, gde je α koeficijent rekombinacije a n_1 i n_2 broj pozitivnih i negativnih jona po jedinici zapremine.

(iii) Pod uticajem električnog polja joni se kreću prema odgovarajućim elektrodama. Brzina drifta jona je proporcionalna jačini električnog polja, $\mathbf{E}$, t. j., $\mathbf{v}_1=k_1\mathbf{E}$ i $\mathbf{v}_2=k_2\mathbf{E}$, gde je k_1 i k_2 pokretljivost pozitivnih i negativnih jona, respektivno.

Thomson [1] je prvi postavio diferencijalne jednačine jonizacione komore za plan paralelnu geometriju, a Seeliger [3] za cilindričnu i sfernu geometriju. Vektorski oblik diferencijalnih jednačina jonizacione komore validan za sve geometrije dao je Aglincev [4],

$$\begin{aligned} &div(\mathbf{E}) = e / \varepsilon\ (n_1 - n_2) \\ &q - \alpha n_1 n_2 = div\,(k_1 n_1\,\mathbf{E}) \\ &q - \alpha n_1 n_2 = -div\,(k_2 n_2\,\mathbf{E}) \\ &j = e\mathbf{E}\ (k_1 n_1 + k_2 n_2). \end{aligned} \tag{1}$$

Prva jednačina sistema (1) je Poisson-ova, druga i treća jednačina predstavljaju balans jona: broj stvorenih manje broj nestalih jona zbog rekombinacije jednak je broju jona koji izađu iz posmatrane zapremine zbog dejstva električnog polja, dok četvrta jednačina pokazuje da je gustina struje jednaka broju pozitivnih i negativnih jona koji prođu u jedinici vremena kroz jedinicu površine.

REDUKOVANI SISTEM DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA JONIZACIONE KOMORE

Diferencijalne jednačine jonizacione komore ne mogu se rešiti u konačnom obliku, već se moraju rešavati numerički. Mie [5] je prvi rešavao diferencijalne jednačine za plan paralelnu geometriju koristeći se specijalnim funkcijama. Novković i dr. [6,7] postavili su metod za rešavanje diferencijalnih jednačina jonizacione komore "shooting" metodom. Sistem jednačina (1), koji za svaku geometriju ima poseban oblik, može se redukovati na samo dve diferencijalne jednačine koje važe za sve tri geometrije [7]

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= f_1 - \frac{k_1}{k_1 + k_2} f \\ \frac{df_1}{dt} &= 1 - \frac{\alpha\varepsilon}{2e(k_1 + k_2)} \frac{f_1(f - f_1)}{\varphi}, \end{aligned} \tag{2}$$

sa graničnim uslovima

$$\begin{aligned} f_1(0) &= 0 \\ f_1(1) &= f. \end{aligned} \tag{2a}$$

U gornjem sistemu konstanta f je stepen saturacije jonizacione komore, funkcija f_1 jednaka je odnosu struje pozitivnih jona i saturacione struje, funkcija φ je proporcionalna kvadratu jačine električnog polja:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varepsilon k_0 E^2 / (2eqd^2) && \text{za plan-paralelnu,} \\ \varphi &= 2\varepsilon k_0 (Er)^2 / [eq(b^2 - a^2)] && \text{za cilindričnu i} \\ \varphi &= 9\varepsilon k_0 (er^2)^2 / [2eq(b^3 - a^3)] && \text{za sfernu geometriju,} \end{aligned} \tag{3}$$

gde je $k_0 = k_1 k_2/(k_1+k_2)$, d je međuelektrodski razmak kod plan-paralelne komore, a i b su poluprečnici unutrašnje i spoljašnje elektrode kod cilindrične i sferne komore.

Promenljiva t jednaka je:

$$\begin{aligned} t &= x / d \\ t &= (r^2 - a^2)/(b^2 - a^2) \\ t &= (r^3 - a^3)/(b^3 - a^3), \end{aligned} \tag{4}$$

za plan paralelnu, cilindričnu i sfernu geometriju, respektivno.

Sistem jednačina (2) se rešava na sledeći način [7]:

(i) Izabere se stepen zasićenja, f,

(ii) bira se interval varijacije za φ, [$\varphi_{\min}$, $\varphi_{\max}$],

(iii) dati interval se podeli na n subintervala

$$\Delta\varphi = (\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) / n,$$

$$\varphi_{0l} = \varphi_{\min} + l\Delta\varphi, \quad l = 0, 1, \ldots, n,$$

(iv) pomoću Runge-Kutta metode rešava se sistem (2) za (n+1) početnih uslova,

$$f_1(0)=0 \text{ i } \varphi(0)= \varphi_{0l},$$

(v) iz dobijenih pozitivnih rešenja formiraju se razlike $s_l = \left|1 - f_1(1) / f\right|$,

(vi) traži se minimalna vrednost prethodnih razlika kao i odgovarajuća početna vrednost od φ_{0l}, koju označavamo sa φ_{0r},

(vii) formira se novi suženi interval varijacije od $\varphi(0)$,

$$\varphi_{\min} = \varphi_{0r} - \Delta\varphi \quad \text{i} \quad \varphi_{\max} = \varphi_{0r} + \Delta\varphi$$

koji se deli na n novih podintervala.

Procedura se ponavlja dok se drugi granični uslov, $f_1(1)=f$, ne zadovolji sa željenom tačnošću.

(viii) Kada se nađe funkcija φ, iz relacija (3) može se izračunati jačina električnog polja unutar komore, a numeričkom integracijom jačine električnog polja i potencijalna razlika između elektroda, V.

Uvođenjem generalisanog parametra ξ, koji je uveo Boag [8]:

$$\xi = \sqrt{\alpha / ek_1k_2}\sqrt{eq}\frac{d_{eq}^{\ 2}}{V},$$

može se dobiti generalisana saturaciona kriva $f = f(\xi)$, koja zavisi samo od dimenzija komora i gasa u komori. d_{eq} je

$$d_{eq} = d,$$

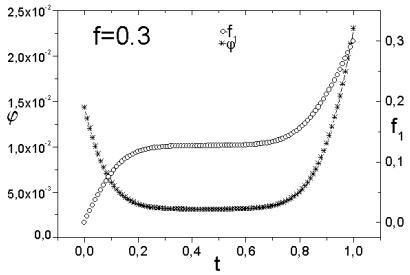
$$d_{eq} = \sqrt{(b^2 - a^2)\ln(b/a)/2} \quad \text{i}$$

$$d_{eq} = (b-a)\sqrt{(b/a + a/b + 1)/3}$$

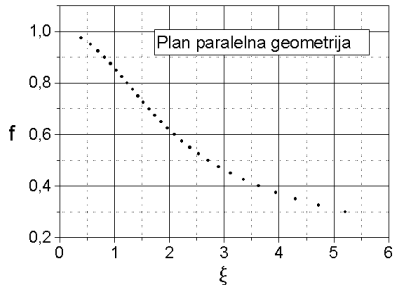
za plan paralelnu, cilindričnu i sfernu geometriju, respektivno.

REZULTATI

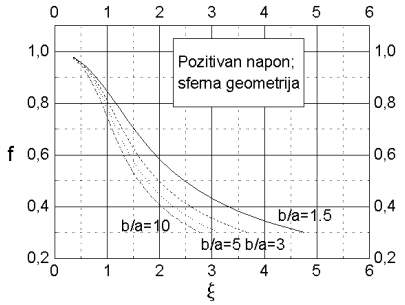
Sistem diferencijalnih jednačina (2) sa graničnim uslovima (2a) je veoma nestabilan, specijalno za niske vrednosti stepena zasićenja, f. Npr. da bi se postigla tačnost od 10^{-5} ($f_1(0)=f(1\pm10^{-5})$), potrebno je pogoditi $\varphi(0)$ sa deset tačnih cifara. Na sl. 1 prikazana su krive f_1 i φ. One su zaravnjene u intervalu $0.25<t<0.65$, pa je sistem (2) nestabilan.



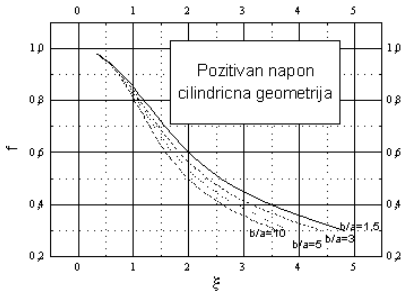
Slika 1.



Slika 2.



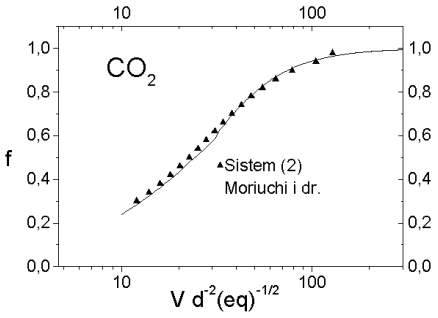
Slika 3.



Slika 4.

Zavisnost stepena zasićenja od parametra ξ za plan paralelnu geometriju data je na sl. 2. Ta kriva je ista za oba polariteta napajanja. Međutim, cilindrična i sferna geometrija imaju različite krive $f(\xi)$ za različite polaritete napajanja. Sl. 3 i 4 pokazuju generalisane krive saturacije za različite odnose b/a za sfernu i cilindričnu geometriju.

Eksperimentalnu proveru teorije jonizacione komore izvršio je Moriuchi i dr. [9]. Dobro slaganje njihovog eksperimenta i našeg računa može se videti na sl. 5.



Slika 5.

LITERATURA

[1] Thomson J. J., Phil. Mag., (1899), 47, 257.
[2] Thomson J. J. and Thomson G. P., (1928), On the theory of the conduction of electricity through gases, 3rd edition, vol. 1, New-York.
[3] Seeliger R, Ann. Phys. Lpz., (1910), 33, 319.
[4] Аглинцев К. К., (1957), Дозиметрия йонизирующих излучений, Москва (Готсиздат).
[5] Mie G., Ann. Phys. Lpz., (1904), 13, 857.
[6] Novković D., Milošević Z., Subotić K. and Manić-Kudra S., Phys. Med. Biol., (1996), 41, 725.
[7] Novković D., Tomašević M. and Subotić K., Phys. Med. Biol., (1998), 43, 559.
[8] Boag J. W. and Wilson T., Br. J. Appl. Phys., (1952), 3, 222.
[9] Moriuchi Y., Katoh A., Takata N., Tanaka R. and Tamura N., (1977), Proc. Symp. National and International Standardization of Radiation Dozimetry (Atlanta, GA) (Vienna: IAEA), p. 45.

ABSTRACT

A system of reduced differential equations generally valid for plane-parallel, cylindrical and spherical geometry has been derived. The system has been solved numerically for plane-parallel, cylindrical and spherical ionization chamber filled with air.

KALIBRACIJA BRAHITERAPIJSKIH IZVORA ZRAČENJA VISOKIH AKTIVNOSTI

N. Milošević, J. Stanković[1], Lj. Gržetić[1],
G. Apostolidis[1], R. Radovanovic
Institut za biofiziku Medicinskog fakulteta, Beograd
[1] Institut za onkologiju i radiologiju Srbije, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazane dve metode kalibracije brahiterapijskog izvora zračenja visoke aktivnosti (^{192}Ir). Izmerena jačina kerme izvora zračenja manja je od očekivanog odstupanja svih fizičkih procedura u brahiterapiji (5%).

UVOD

Osnovni cilj brahiterapije ogleda se u tačnoj aplikaciji doze zračenja na metu (tumor). Precizno određivanje različitih fizičko–tehničkih parametara jedan je od osnovnih uslova za preciznu aplikaciju doze zračenja u brahiterapiji. Sa fizičko–tehničkog aspekta kalibracija i kontrola izvora zračenja predstavlja jednu od najvažnijih procedura kontrole kvaliteta u brahiterapiji,. Izvori zračenja u brahiterapiji se opisuju jačinom kerme u vazduhu dK/dt (cGy h^{-1}) ili aktivnošću.

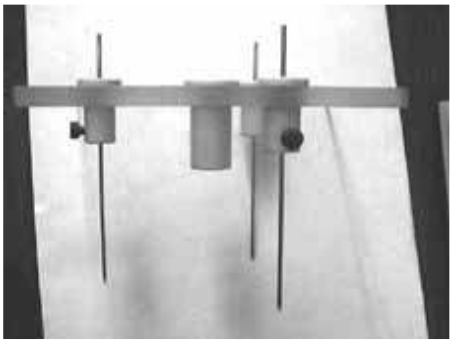
Slika 1. Microselectron HDR

MATERIJALI I METODE

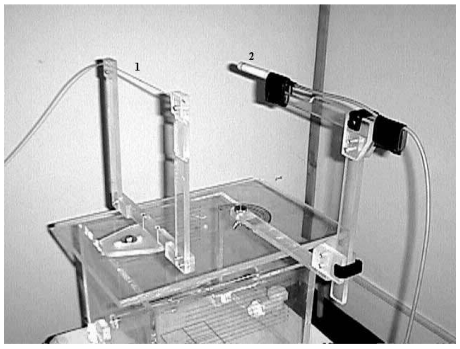
Kalibracija radioaktivnog izvora zračenja ^{192}Ir [1] izvedena je na uređaju Microselectron HDR (Nucletron–Oldelft B.V., Holandija) prikazanog na slici 1. Dozimetrijski komplet sastojao se od naprstka jonizacione komore (Farmer tip – NE 2571) i pripadajućeg elektrometra (NE 2570). Kalibracija izvora zračenja obuhvata dve procedure: merenja u vodi i merenja u vazduhu.

[1] Vrednosti aktivnosti i jačine kerme u vazduhu dostavljenih od strane proizvođača (Malincrotdh, Diagnostica) su izmerene upotrebom jonizacione komore sa šupljinom (well type chamber).

Merenja u vodi izvedena su u vodenom fantomu dimenzija 30x30x30 cm sa nosačem katetera–igala. Na nosaču, igle su raspoređene u temenima jednakostraničnog trougla dok se komora nalazi u centru trougla (slika 2), pri čemu je normalno rastojanje izmedju centra komore i ose svake igle 5,1 cm.



Slika 2. Nosač komore i igala



Slika 3. Kalibracioni fiksator

Merenja u vazduhu vršena su direktnom metodom sa jednom pozicijom izvora zračenja u kateteru (izvor zračenja se nalazi na određenom rastojanju od detektora). Merenje je izvedeno uz pomoć kalibracionog fiksatora pri stalnoj geometriji (stalan odnos izvor–jonizaciona komora i fiksator–zidovi prostorije). Na slici 3 je prikazan kalibracioni fiksator sa montiranom cilindričnom jonizacionom komorom i kateterom u koji ulazi izvor zračenja (^{192}Ir).

REZULTATI

Merenja u vodi

Ukupna jačina apsorbovane doze zračenja u referentnoj tački koja se poklapa sa sredinom centralne elektrode jonizacione komore izračunava se kao doprinos iz svake pozicije po jednačini:

$$\dot{D}_r = \left[6(\dot{D}_1(d_1) + \dot{D}_2(d_2) + \dot{D}_3(d_3) + \dot{D}_4(d_4)) + 3\dot{D}_0(d_0) \right] \quad (1)$$

gde je $\dot{D}_i$ – doprinos jačini doze iz pojedinačne pozicije izvora zračenja u jednom kateteru (i = 0,1,2,3,4) koja se nalazi sa jedne strane centralne ravni, d_i – rastojanje date pozicije od tačke koja je centar sistema i t – vreme merenja. Doprinos $\dot{D}_i$ ukupnoj jačini doze zračenja izračunat je pomoću jednačine:

$$\dot{D}_i = \Gamma \cdot C_\lambda \cdot A_d \cdot S(d_i) \cdot d_i^{-2} \quad (2)$$

gde je Γ – gama konstanta za dati izvor zračenja, C_λ – konverzioni faktor ekspozicione doze u apsorbovanu dozu zračenja za merenja u vodi, A_d – deklarisana aktivnost izvora zračenja, $S(d_i)$ – van Kleffens–ov korekcioni faktor i d_i – rastojanje date pozicije od tačke koja je centar sistema.

Transport izvora zračenja do željene pozicije utiče na izmerenu jačinu apsorbovane doze. Da bi se taj uticaj otklonio izvode se dva sukcesivna merenja od kojih je jedno duže u odnosu na drugo. Tada je izmerena jačina apsorbovane doze jednaka

$$\dot{D}_m = \frac{D_{1m} - D_{2m}}{t_1 - t_2} \tag{3}$$

Koristeći ICRU protokol izmerena apsorbovana doza određena je jednačinom

$$D_m = M_{sr} \cdot N_X \cdot C_\lambda \cdot f_{p,T} \tag{4}$$

gde je M_{sr} – srednje pokazivanje elektrometra (nC), N_X – kalibracioni faktor ekspozicione doze za datu komoru, C_λ – faktor konverzije ekspozicione u apsorbovanu dozu za merenja u vodi i $f_{p,T}$ – korekcioni faktor aklimatizacije, s obzirom da je jonizaciona komora otvorenog tipa.

Stvarna aktivnost izvora zračenja izračunava se iz odnosa merene i izračunate jačine apsorbovane doze zračenja pomoću jednačine

$$A_s = A_d \cdot \frac{\dot{D}_m}{\dot{D}_r} \tag{5}$$

a jačina kerme u vazduhu na rastojanju $d_{ref} = 1$ m od izvora zračenja, jednačinom

$$\dot{K} = C_\lambda \cdot \Gamma \cdot A_s \cdot d^{-2} \tag{6}$$

Merenja u vazduhu

Izvor zračenja nalazi se na rastojanju d = 10 cm od detektora i ovo rastojanje se ne menja tokom merenja. Prvo se pronalaze najoptimalniji uslovi merenja izborom pozicije izvora zračenja u kateteru koja se nalazi u ravni normalnoj na uzdužnu osu komore i prolazi kroz centar aktivne zapremine komore.

Izmerena jačina kerme u vazduhu na rastojanju $d_{ref} = 1$ m od izvora zračenja data je jednačinom

$$\dot{K} = \frac{M_{sr} \cdot C_{room} \cdot f_{p,T} \cdot N_K}{t} \cdot \left(\frac{d_m}{d_{ref}}\right)^2 \tag{7}$$

gde je M_{sr} – srednja vrednost očitavanja elektrometra (nC), C_{room} – korekcioni faktor povratnog rasejanja, $f_{p,T}$ – faktor aklimatizacije, N_K – kalibracioni faktor kerme date komore, d_m – rastojanje izvor–detektor.

Rezultati određivanja jačine kerme u vazduhu za merenja u vodi i vazduhu prikazana su u tabeli 1 (sve vrednosti su normalizovane na dan deklarisanja).

Tabela 1. Izračunate i izmerene vrednosti pri kalibraciji izvora zračenja ^{192}Ir.

Veličina	vrednost
deklarisana aktivnost A_d (GBq)	421,8
deklarisana jačina kerme $(dK/dt)_d$ (cGy h^{-1})	4,643
izmerena jačina kerme u vodi (dK/dt) (cGy h^{-1})	4,863
izmerena jačina kerme u vazduhu (dK/dt) (cGy h^{-1})	4,530

DISKUSIJA

Veličine koje karakterišu izvor zračenja proizvođač dostavlja sa mernom nesigurnošću od oko 10%. Za potrebe brahiterapije neophodno je izvršiti dodatnu kalibraciju izvora zračenja korišćenjem različitih protokola, a sve u cilju da ukupno odstupanje fizičkih procedura u brahiterapiji bude niže od 5%.

Analizom dobijenih rezultata sledi da pri kalibraciji u vodi izmerena jačina kerme je 4,7% veća od očekivane vrednosti. Kalibracijom u vazduhu izmerena jačina kerme je 2,4% manja od očekivane vrednosti.

Odstupanje koje se javlja između stvarne (izmerene) jačine kerme i sertifikovane vrednosti nije veće od očekivanog ukupnog odstupanja, ali ukazuje na potrebu provere izvora zračenja pri njegovom prijemu od strane proizvođača u cilju pravilnog planiranja brahiterapije i povećanja njenog kvaliteta.

LITERATURA

[1] H.Meertens, A Calibration Method for Selectron LDR sources, Proc. of 3rd International Selectron Users Meeting, Innsbruck, Austria 1984, (Brachytherapy 1984), pp. 59–67.

[2] D. Šajinović, Lj. Gržetić, J. Stanković, D. Lalić, G. Bačić, Comparison of Two Protocols for Absorbed Dose Determination in High Energy Photon Beam, Physical Chemistry '98, 4th International Conference of Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Sept. 23–25, 1998, Belgrade, Papers, p.p. 361–363.

[3] A.B.Wallace, Comparison of the Measured Air Kerma Rate of a micro–Selectron HDR Iridium–192 Source Using a Nucletron Perspex Calibration Jig & a Nucletron Well Chamber for Varying Source Strengths, Nucletron–Oldelft Activity Report No.7, 1995, p.p. 48 – 51.

ABSTRACT

HIGH ACTIVITY BRACHYTHERAPY SOURCE CALIBRATION

N. Milošević, J. Stanković[1], Lj. Gržetić[1],
G. Apostolidis[1], R. Radovanovic
[1]Institute of Biophysics, Medical School University of Belgrade, Belgrade
[2]Institut of Oncology and Radiology of Serbia, Belgrade

In this paper, two calibration procedure (in water phantom and in air) for high activity brachytherapy source (^{192}Ir) are compared. Difference in determinated air kerma rate determined by two independent methods was less than 2.5%.

KALIBRACIJA JONIZACIONE KOMORE U SNOPU NISKOENERGETSKOG X-ZRAČENJA

G. Nišević, V. Spasić-Jokić[1],
Institut za radiologiju VMA, Beograd
[1] Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd

SADRŽAJ

U radu je prikazana kalibracija jonizacione komore u snopu niskoenergetskog X-zračenja. Kalibracija je obavljena na osnovu novog protokola predloženog od strane IPEMB, koji koristi koncept kerme u vazduhu i nove faktore povratnog rasejanja. Rezultati ukazuju da se kalibracioni faktor, određen na ovakav način razlikuje od faktora određenog korišćenjem konverzionog faktora za 0,1% do 2,6%, u zavisnosti od kvaliteta zračenja i položaja komora u odnosu na pravac anoda - katoda.

UVOD

Protokol za određivanje apsorbovane doze X - zračenja ispod 300 kV koji je predložio IPEMB (Institution of Physics and Engineering in Medicine and Biology) unosi novine u odnosu na postojeći Tech. Rep. 277 IAEA (Internatioanl Atomic Energy Agency), a koje se odnose na sledeće: [1]

– Određivanje apsorbovane doze je bazirano na metodi određivanja kerme u vazduhu;

– Koristi se kalibracioni faktor jonizacione komore za kermu u vazduhu;

– Preporučuju se novi faktori povratnog rasejanja, dok su uticaj perturbacije i drugi faktori korekcije inkorporirani u jednačine za izračunavanje doze;

– Predloženo je novo razvrstavanje kvaliteta zračenja, kao i tipovi sekundarnih etalona i merila za pojedine kvalitete zračenja.

MATERIJAL I METODE

Prema preporuci IPEMB korišćeni su: cilindrična jonizaciona komora NE 2571 No.2715, sa elektrometrom Keithley 35040, vlasništvo Saveznog zavoda za mere i dragocene metale, kao sekundarni etalon i cilindrična jonizaciona komora NE 2515/3 No.4338, sa elektrometrom Farmer NE 2570, kao merilo čiji se kalibracioni faktor određuje, vlasništvo Instituta za radiologiju Vojnomedicinske akademije.

Prilikom određivanja kalibracionog faktora korišćeni su osnovni principi, koji se odnose na kvalitet snopa i geometriju merenja.

Osnovna preporuka je da se kalibracija sprovede u snopu istog kvaliteta u kome će se i merilo koristiti, što se i postavlja kao jedan od osnovnih metroloških principa. Određivanje kalibracionog faktora je izvršeno u snopu niskoenergetskog X-zračenja i to za dva kvaliteta zračenja;

1. 55 kV; 0,78 mm Al ; HVL 0,8 mm Al i
2. 70 kV; 1,25 mm Al; HVL 1,55 mm Al

Merenja su vršena u vazduhu metodom istovremenog ozračivanja obe komore. Komore su bile učvršćene na stalku. Rastojanje od fokusa do centra jonizacione komore je bilo 20 cm (10 cm aplikator i još 10 cm od kraja aplikatora do centra komore). Komore su bile na međusobnom rastojanju (njihovi centri) od 2,5 cm. Korišćen je četvorougaoni aplikator dimenzija 7x7 cm sa ekvivalentnim prečnikom kružnog polja od 7,9 cm. Merenja su vršena u dva položaja: paralelno sa pravcem anoda-katoda i normalno na pravac anoda-katoda.

U svakom kvalitetu zračenja i za svaki položaj je izvršeno po trideset merenja.

Prilikom određivanja kalibracionog faktora korišćen je formalizam formiranja parova vrednosti očitanih na elektrometrima dve komore uz promenu mesta komora, a prema jednačini:

$$M_e/M_m = [\ (M_e/M_m)_a (M_e/M_m)_b\ ]^{1/2} \qquad (1)$$

gde su:
M_e/M_m – srednja vrednost odnosa pokazivanja elektrometra etalonske komore i merila
$(M_e/M_m)_a$ – srednja vrednost odnosa pokazivanja elektrometra etalonske komore i merila kada se merilo nalazi levo od reperne tačke na rendgen-aparatu
$(M_e/M_m)_b$ – srednja vrednost odnosa pokazivanja elektrometra etalonske komore i merila kada se merilo nalazi desno od reperne tačke na rendgen-aparatu
iz čega se izvodi kalibracioni faktor

$$N_{Km} = N_{Ke}(M_e/M_m) \qquad (2)$$

REZULTATI

Rezultati određivanja kalibracionog faktora jonizacione komore NE 2515/3 u snopu 55 kV X-zračenja su prikazanu u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati određivanja kalibracionog faktora u snopu 55 kV X-zračenja

parametar	paralelno sa pravcem anoda-katoda	normalno na pravac anoda-katoda
$(M_e/M_m)_a$	0,964 ± 0,001	0,987 ± 0,002
$(M_e/M_m)_b$	0,964 ± 0,001	0,985 ± 0,002
(M_e/M_m)	0,964	0,986
N_{Km}	12,464 x 10^7 Gy/C	12,747 x 10^7 Gy/C
Δ [%]	0,6	1,6

Δ ima smisao odstupanja kalibracionog faktora određenog metodom kerme u vazduhu od faktora određenog merenjem ekspozicione doze i primenom faktora konverzije.

Rezultati određivanja kalibracionog faktora jonizacione komore NE 2515/3 u snopu 70 kV X-zračenja su prikazanu u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati određivanja kalibracionog faktora u snopu 70 kV X-zračenja

parametar	paralelno sa pravcem anoda-katoda	normalno na pravac anoda-katoda
$(M_e/M_m)_a$	0,948 ± 0,003	0,977 ± 0,002
$(M_e/M_m)_b$	0,948 ± 0,003	0,975 ± 0,002
(M_e/M_m)	0,948	0,976
N_{Km}	12,060 x 10^7 Gy/C	12,400 x 10^7 Gy/C
Δ [%]	2,6	0,1

Iz tabela 1 i 2 se vidi da vrednost kalibracionog faktora pored toga što zavisi od kvaliteta snopa zavisi i od geometrije merenja. Odstupanja u vrednosti kalibracionog faktora u slučaju kada su komore paralelne na pravac anoda - katoda u odnosu na položaj normalan na pravac anoda - katoda iznosi 2,2 % za 55 kV, a 2,8 % za 70 kV X- zračenje.

ZAKLJUČAK

Novi koncept, koji donose preporuke IPEMB zadovoljava metrološki princip da se kalibracijom sprovedenom u istom kvalitetu snopa zračenja izbegavaju greške usled različitog spektra zračenja pri kalibraciji i primeni merila. Metrološka sledivost sekundarnog etalona sa primarnim postoji u nacionalnim metrološkim organizacijama, uglavnom, za kalibraciju baziranu na konceptu kerme, budući da se međunarodne interkomparacije primarnih etalona sprovode za jedinicu kerme u vazduhu.

Primenjeni koncept određivanja kalibracionog faktora merila je tačniji budući da izbegava mnoge zamke koje kriju različite konverzije iz jedne veličine u drugu, kao i iz jednog kvaliteta snopa zračenja korišćenog pri kalibraciji u drugi, koji se koristi pri rutinskoj primeni merila.

LITERATURA

[1] The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x - rzys beloww 300 kV generating potential. Phys.Med.Biol. 41 (1996) 2605-2625

ABSTRACT

IONIZATION CHAMBER CALIBRATION IN LOW-ENERGY X-RAYS

G. Niševič, V. Spasič-Jokič[1]
Institute of Radiology, Military Medical Academy , Belgrade
[1]Federal Bureau of Measures and Precious Metals, Belgrade

Ionization chamber calibration in low-energy x-rays is shown in this paper. Calibration was performed according to new code of practice proposed by IPEMB using air kerma concept and new backcscatter factors. It was seen from obtained results that calibration factors determined by air kerma method differed from old ones for 0,1 % to 2,6 % in dependence of beam quality as well as ionization chambers position related to anode - catode direction.

TRANSPORT PROTONA TEHNIKAMA MONTE KARLO

R. D. Ilić
INN „Vinča“, Laboratorija za fiziku (010), Beograd

SADRŽAJ

Izgradnja akceleratorske instalacije TESLA u Vinči motivisala je autora da primeni iskustvo iz razvoja Monte Karlo programa transporta elektrona za razvoj programa SRNA za numeričke eksperimente sa protonima u radioterapiji i dozimetriji. Simulaciona Monte Karlo šema zasniva se na teoriji višestrukog rasejanja protona i modelu raspada složenog jezgra posle apsorpcije protona. Program SRNA radi u 3D izvora protona energije od 100 keV do 250 MeV i 3D geometriji materijalne sredine složenog sastava. Numerički eksperimenti pokazuju da su modeli transporta u saglasnosti sa teorijskom slikom prolaza protona i rezultatima afirmisanih programa iz ove branže.

UVOD

Program SRNA nalazi se u razvoju i služi za simulaciju transporta protona tehnikama Monte Karlo u numeričkim eksperimentima (NE) u radoiterapiji i dozimetriji i drugim NE sa protonima na akceleratoru TESLA u Vinči. Razvoj programa SRNA, po prirodi fizičkih procesa prolaza naelektrisanih čestica, proširenje je iskustva iz razvoja i korišćenja našeg programa FOTELP [1]. Obilje geometrijskih formi i broj materijala u NE zahtevali su da program simulira transport protona u tri dimenzije (3D). Sa druge strane, akcelerator TESLA proizvodiće protone energije do *30 MeV* na prvom kanalu i protone energije do *70 MeV* na drugom kanalu. Te okolnosti uslovile su da se u početku razvoja programa postavi gornja granica eneregije protona do *100 MeV*. Međunarodna saradnja predpostavlja simulacionu podršku eksperimenata i na mašinama koje proizvode protone do *250 MeV*. Zato je razvoj programa SRNA usmeren na opseg energija protona od *100 keV* do *250 MeV* i materijale čiji su konstituenti elementi od $Z=1$ do $Z=92$.

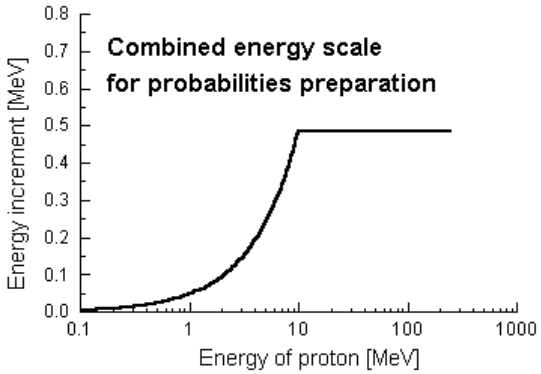
MODEL TRANSPORTA PROTONA

Program SRNA radi u *3D* izvora protona i *3D* geometriji složenih materijalnih sredina koje opisuju ravni i površine drugog reda. Simulacija protona zasniva se na teoriji višestrukog rasejanja naelektrisanih čestica [2,3], gubitku energije sa fluktuacijom [4] i našem modelu simulacije stvaranja i raspada složenog jezgra posle apsorpcije protona u neelastičnim nuklearnim interakcijama.

Trajektorija protona deli se na male delove (korake) koje određuje mali srednji gubitak energije

$$\Delta s = \int_{E_{n+1}}^{En} \frac{dE}{(dE/dx)_{tot}}, \qquad (1)$$

gde se gubitak energije $\Delta E = E_n - E_{n+1}$ bira u granicama nekoliko procenata početne energije protona. Uslovi [3,4] zahtevaju izbor energetske skale koja treba da bude delom logaritamska, a delom linearna. Energija pri kojoj se menja skala može biti proizvoljna, ali se ipak najbolji rezultati dobijaju ako se skala menja na oko *10 MeV*. Srednje gubitke energije moguće je dobiti ili iz biblioteke *ICRU49* [5] ili ih računati pomoću empirijskih formula [5]. Program SRNADAT priprema verovatnoće prelaza protona prvenstveno koristeći podatke iz *ICRU49*, a za one materijale za koje se podaci ne nalaze u *ICRU49* koriste se analitičke metode.



Slika 1. Kombinovana energetska skala za pripremu verovatnoća prelaza protona:
Od *100 keV* do *10 MeV* inkrement skale je logaritamski;
od *10 MeV* do *250 MeV* skala ima konstantan inkrement.

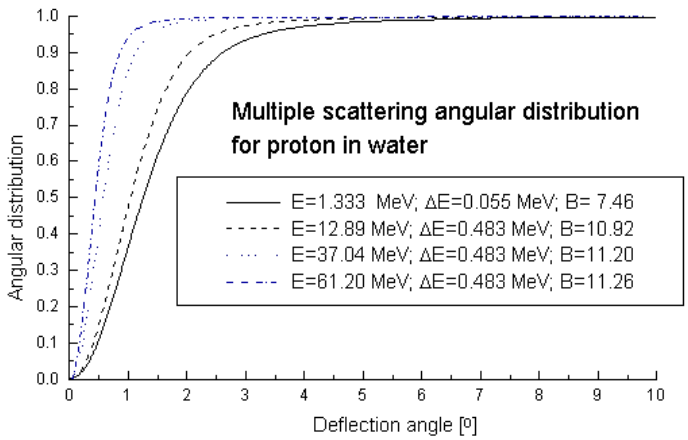
Posle izbora nominalne energetske skale, pristupa se njenoj modifikaciji. Prvo se podešava zadovoljenje uslova teorije višestrukog rasejanja [3] - da srednji broj sudara na koraku bude veći od minimalnog (na pr. $\Omega_0 > 10$), a zatim da parametar κ raspodele Vavilova [4] bude manji od maksimalne vrednosti (na pr. $\kappa < 20$). Kad su ti uslovi ispunjeni, definisana je energetska skala i uslovi računanja verovatnoća prelaza za sve aktuelne materijale prema toj energetskoj skali.

Ugaona raspodela višestruko rasejanih protona dobija se integracijom Molierove gustine raspodele, izvedene u obliku potencijalnog reda po parametru $B - \ln(B) = \ln(\Omega)$

$$F(\vartheta) = \frac{1}{\eta\sqrt{B}} \sum_n \int_0^{\vartheta} d\varphi \frac{f_n(\varphi)}{B^n} C_B(\varphi)\varphi, \qquad (2)$$

gde su: n - broj Molierovih funkcija $f_n(\varphi)$, η - Molierov ugao ekranizacije, $C_B(\varphi)$ - Beteova korekcija za veće uglove. Funkcije $f_n(\varphi)$ izračunali smo unapred numeričkom

integracijom (2) u opsegu $0 \le \varphi \le 40$ primenom Gaus-Ležandrovog algoritna u *DMLIN* rutini *IMSL* biblioteke. Inverzna raspodela, numerički integrisana pomoću *DMLIN*, zapisuje se sa barem 91 vrednosti predodređenih verovatnoća iz intervala (0,1). Toliki broj podataka neophodan je da što vernije opiše ugaonu raspodelu protona koji imaju izrazito usmerenje unutar malih uglova od nekoliko stepeni. Slika 2. prikazuje ugaone raspodele protona u vodi za četiri vrednosti energije *E*, u (1) spomenutih gubitaka energije *ΔE* i odgovarajućih vrednosti Molieroivog parametra *B*. Za niske energije protona, ugaona raspodela teži Gausovoj, a za više postaje još strmija. Takav tok, raspodele zadržavaju za sve elemente i što su elementi teži, raspodele su strmije. Ovakav tok raspodela zahteva poznavanje Molierovih funkcija $f_n(\varphi)$ u interalu od nula do $\varphi = 20$, a za teže elemente do 40 do kojih vrednosti su one i pripremljene.



Slika 2. Ugaona raspodela višestruko rasejanih protona u vodi

Raspodela fluktuacije srednjeg gubitka energije naelektrisanih čestica računalo je samo nekoliko autora [4]. U programu SRNADAT koristi se naš postupak kojim se neposredno računa baš raspodela. Gustina raspodele Vavilova data je u integralnoj formi

$$f(x,\Delta) = \frac{1}{\pi\xi}\kappa \exp\left[\kappa(1+\beta^2 C)\right]\int_0^\infty \exp(\kappa f_1)\cos(y\lambda + \kappa f_2)dy$$

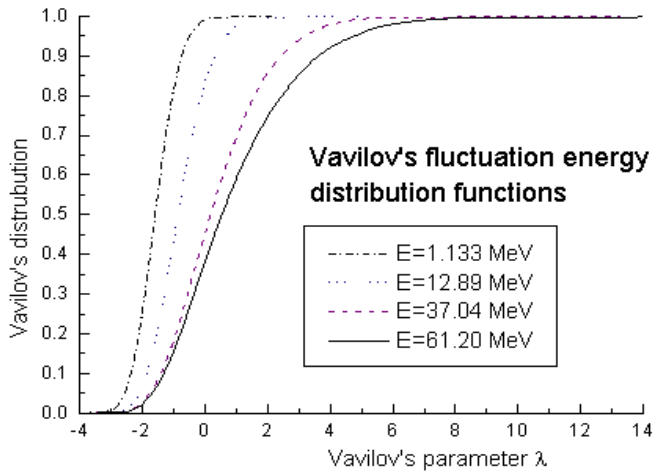
$$f_1 = \beta^2\left[\ln y - Ci(y)\right] - \cos y - ySi(y) \qquad (3)$$

$$f_2 = y\left[\ln y - Ci(y)\right] + \sin y + \beta^2 Si(y)$$

$$\kappa f_1 \Rightarrow \kappa(f_1 - y^2 D/\varepsilon_{\max})\ ;\ D = \frac{4}{3}\sum_n I_n g_n \ln(2m_e c^2\beta^2 / I_n),$$

u kojoj su sačuvane originalne oznake, a dodata je *D* - Šulekova [6] korekcija uticaja elektronskih orbiti na raspodelu. Pošto je za simulaciju nužna raspodela, prvo se analitički integrali (3) po *y*, a zatim numerički po *λ* pomoću Gaus-Kronrodovog algoritma u rutini

DQAG. Izbor koraka i granica integracije nameću funkcije u sastavu podintegralne funkcije koje su periodične i logaritmima prigušene. Kao meru dobre integracije uzeli smo apsolutnu grešku 10^{-7}, i relativnu grešku 10^{-6}, a granice su određene iz uslova normalnosti raspodele do 0.999999. Pod tim uslovima $y_{max} = 100$, a λ se nalazi u granicama od -5 do 35. Dijagrami na Slici 3. pokazuju Vavilovljevu raspodelu dobijenu takvim postupkom integracije. Uvođenje Šulekove korekcije dolazi do većeg izražaja kod težih elemenata, težeći da raspodelu raširi. Inverzna raspodela zapisuje se sa barem 256 vrednosti predodređenih verovatnoća iz intervala (0,1) zbog potrebe da se sačuva dobra rezolucija fluktuacije srednjeg gubitka energije pri svim energijama protona. Sa tolikim brojem vrednosti raspodele nije neophodna interpolacija pri odabiru slučajne vrednosti parametra λ u toku simulacije verovatrnog gubitka energije.



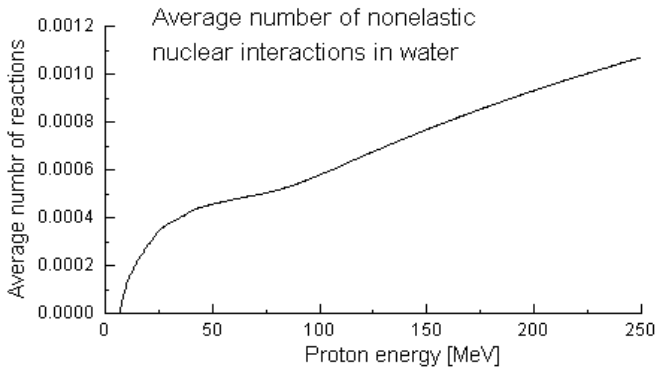
Slika 3. Vavilovljeva raspodela fluktuacije srednjeg gubitka energije u vodi

Prolaz protona kroz materijale prate neelastične nuklearne interakcije u kojima su mogući različiti ishodi na svakom koraku. Preseci za te interakcije dostupni su za vrlo mali broj elemenata [7] od energetskog praga do *150 MeV*. Blagodareći predusretljivosti autora [7] raspolažemo bibliotekom *ICRUTAB* preseka tih interakcija do *250 MeV*, koju su oni pripremili za novu *ICRU* publikaciju. Iako nije povećan broj elemenata, ipak ta biblioteka omogućava da se postavi model simulacije apsorpcije protona i raspada složenog jezgra. Sa raspoloživim presecima, program SRNADAT priprema srednji broj interakcija na koraku protona

$$q(E) = \rho \frac{N_A}{A} \int \sigma(E) \frac{dE}{(dE/dx)}, \tag{4}$$

a integral preseka duž koraka računa se u funkciji energije protona. Verovatan broj neelastičnih nuklearnih interakcija bira se iz Puasonove raspodele. Pošto jezgro datog elementa može da apsorbuje proton, verovatni broj je nula ili jedan. Kada se desi apsorpcija protona, nastaje složeno jezgro koje ima veliki broj varijanti raspada u funkciji energije protona. Svaka od tih varijanti ima srednje faktore multiplikacije svake od čestica

emitovanih tokom raspada složenog jezgra. Verovatni broj emitovanih čestica bira se iz Puasonove raspodele za svaku od mogućih čestica. Na taj način zaobilazi se težak problem biranja varijante raspada složenog jezgra, jer njih ima nekoliko stotina, kao na primer oko 450 za apsorbovani proton energije *250 MeV* u kiseoniku.



Slika 4. Srednji broj neelastičnih nuklearnih interakcija protona u vodi

Prema Čedvikovom modelu varijanti raspada složenog jezgra, usvojili smo da se takvo jezgro raspada emitujući *neutrone, protone, deuterone, tritone, alfa čestice i fotone*. Iz diferncijalnog po energiji i uglu preseka dobijaju se integracijom emisioni spektri sekundarnih čestica. Oni, zajedno sa presecima za produkciju i faktorima multiplikacije, omogućavaju da SRNADAT pripremi podatke i inverzne raspodale za modelovanje emisije tih čestica. Kada je $q(E)>0$, može se desiti apsorpcija protona. Sukcesivnim odabirom verovatnoća i broja sekundarnih čestica, uz uslov održanja mase (energije), modeluje se verovatna šema raspada složenog jezgra. Program SRNA tretira transport samo sekundarnih protona. Deuteroni, tritoni i alfa čestice apsorbuju se na mestu njihovog stvaranja, a neutroni i fotoni bez sudara napuštaju materijal.

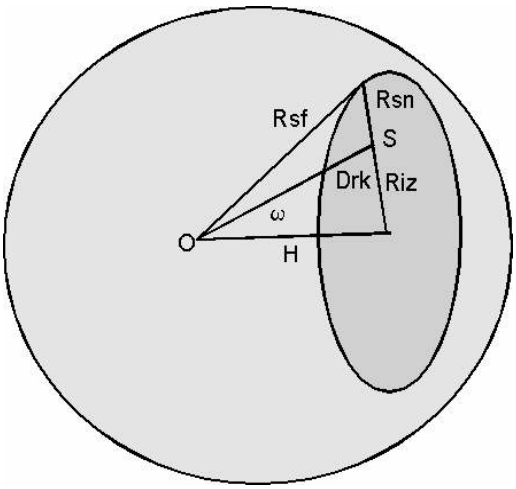
RAČUNARSKI PROGRAMI

Programi SRNA i SRNADAT napisani su u *FORTRAN 77* za *PC* računare sa kompajlerom *MS Fortran PowerStation*. Do sada su programi korišćeni uglavnom za razvoj algoritama i radi upoređivanja rezultata sa rezultatima drugih autora [8,9].

Od više mogućih pristupa opisu geometrije, odabrali smo domaći program RFG koji je razvio Dr Dimitar Altparmakov na teoriji funkcija Rvačeva. Poznato je da svaki program takve namene troši i do 70% od vremena simulacije. Povezivanje simulacije prolaza protona, ili bilo koje čestice, sa geometrijom kroz koju proton prolazi, zahteva što efikaniji opis geometrije sa dva stanovišta. Prvo, geometrija mora biti jednoznačno opisana. Drugo, u toku simulacije mora se imati prosta geometrijska forma u kojoj će se beležiti stanja protona za rekonstrukciju doze $D(x,y,z)$, stanja neutrona i fotona koja kasnije postaju izvor za računanje doznih polja, neophodnih za zaštitu posada akceleratora i eksperimentatora. Taj složeni problem u programu SRNA rešen je pomoću RFG i paralelopipeda kao dve nezavisne geometrijske forme. Na primeru cilindričnog snopa

protona kojima se ozračuje vodeni fantom pokazan je način funkcionisanja te dve geometrijske forme.

Vodeni fantom smešten je u pleksiglasni sud. Duž ose simetrije fantoma kreću se protoni unutar cilindra kružnog preseka sa uniformnom raspodelu na krugu. Na Slici 5. prikazana je simulacija emisije protona. Ako se postavi osa snopa da prolazi kroz koordinatni početak, presek cilindričnog snopa sa sferom je kružnica radijusa *Rsn*. Rešavanjem trugla dobijaju se formule za simulaciju emisije protona.



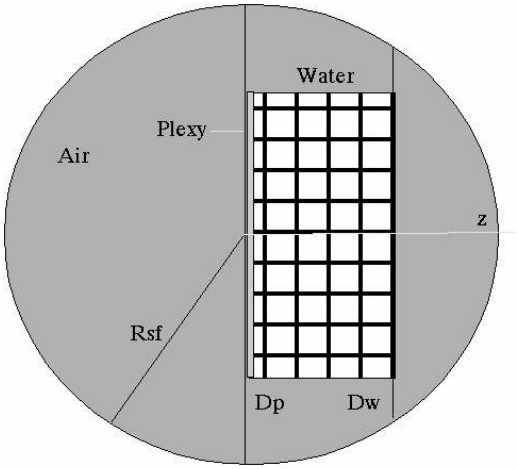
Slika 5. Geometrija emisije protona iz snopa kružog preseka:
Rsf - radijus sfere koja opisuje protonima zračenu sredinu;
Rsn - radijus snopa; *Riz* - slučajan radijus na krugu snopa;
Drk - radijus vektor tačke *S(x,y,z)* emisije protona;
ϑ - polarni ugao i φ - azimutalni ugao tačke *S(x,y,z).*

$$D_{rk} = \sqrt{(R_{sf}^2 - R_{sn}^2 + R_{iz}^2)} \ ; \ R_{iz} = R_{sn}\sqrt{Rand} \ ; \ Sin\omega = R_{iz} \ / \ D_{rk}$$

gde je ω ugao naspram radijusa *Riz* i *Rand* - slučajan broj iz intervala (0,1). U odnosu na referentni položaj radijus *Riz* zaklapa slučajan ugao $\chi=2\pi Rand$. Sa tim veličinama i relacijama iz sferne geometrije, dobija se ort vektora *Drk*, a zatim i koordinate emisije protona. Ako osa snopa ne prolazi kroz koordinatni početak, već kroz tačku *T(Xt,Yt,Zt)* koja označava odabrani centar tumora, koordinate emisije protona dobijaju se translacijom ose snopa. Obrtanjem za ugao π dobija se prirodan položaj kruga sa koga se emituju protoni. U slučaju pravougaonog preseka snopa, koji je uobičajen u terapiji protonima, sličnim postupkom izvode se formule emisije protona.

U programu SRNA geometrija se definiše saglasno sa modulom RFG. Istovremeno definiše se i geometrijska forma za zapis stanja protona i sekundarnih čestica. Geometrijska forma za zapis može se odabrati na razne načine: sferna, cilindrična, konična ili neka kombinovana. Konkretna geometrija protonima zračene sredine i uslovi NE određuju izbor te geometrijske forme. Tako na pr. u slučaju da se SRNA primeni za dobijanje emisionog spektra neutrona i fotona, geometrijska forma se poklapa sa sponjnim površinama snopa i mete. Primer vodenog fantoma na Slici 6. ilustruje prostu geometriju za zapis prostorne raspodele apsorbovane energije.

Vodeni fantom deli se ravnima paralelnim koordinatnim ravnima na veliki broj paralelopipeda zapremine $\Delta V=\Delta x\Delta y\Delta z$, u koje se zapisuje apsorbovana energija i druge veličine u toku simulacije.



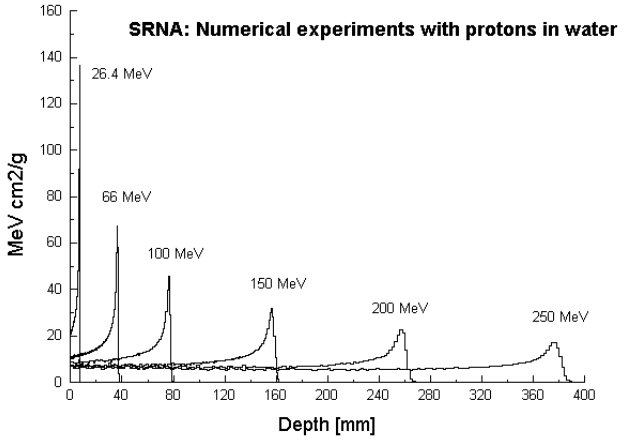
Slika 6. Geometrija zapisa stanja protona u toku simulacije prolaza kroz vodeni fantom:
Polovine osnova paralelopipeda u ravni *XOY* su *qx* i *qy*;
visina paralelopipeda duž *Z*-ose je *qz=Dp+Dw;*
Dp i *Dw* su debljine pleksiglasa i vode

Svaki zapreminski element ima svoj položaj u fiksnom koordinatnom sistemu. Zahvanjujući tome u toku simulacije računa se masa tog elementa da se izračuna apsorbovana energija u *MeV/kg*. Po završetku simulacije, uređeni skup tih elemenata i sadržaja u njima služi sa dobijanje prostorne raspodele doze. Od njih se mogu izdvojiti podskupovi za dobijanje doze duž ose snopa ili, pak, unutar nekog dela prostora. Ako se izdvoji skup u nekom sloju, on može da posluži za prikazivanje izodoznih linija u *2D*. Sličan postupak izvodi se u slučaju potrebe formiranja tzv. emisionih spektara. Reč je o uobičajenom postupku da se na put snopa protona postave prepreke koje podešavaju energetski spektar protona. Simulacija čitavog ansambla nije racionalna, već se iza tih prepreka simulacijom traži emisioni spektar koji postaje izvor za sve naredne simulacije protona u metama (tumoru). Pored toga, za ocenu zaštite od neutrona i fotona, slična metodologiaj se može upotrebiti za dobijanje emisionog spektra tih sekundarnih čestica.

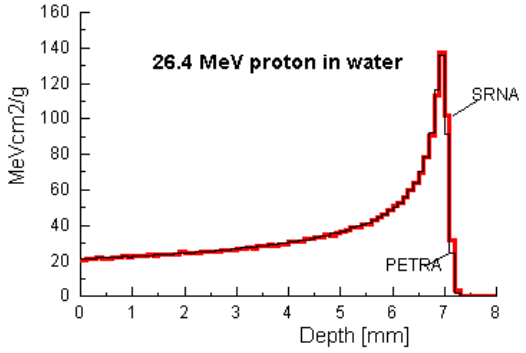
REZULTATI I DISKUSIJA

Na dijagramima koje slede prikazani su rezultati izvedenih numeričkih eksperimenata programom SRNA. Na Slici 7. pokazani su rezultati simulacije prolza protona kroz sloj vode deblji od dometa protona date energije. U skladu sa dometom protona koji raste sa energijom može se pratiti opadanje Bragovih pikova. Oni su, kao što se vidi na Slici 7. vrlo oštri i mogu se dobiti u simulaciji samo ako se istorija protona prati do vrlo niske energije. To je bio razlog što je u programu SRNA usvojena minimalna energija protona od *100 keV* pri kojoj se smatra da je proton apsorbovan. Maksimumi

Bragovih pikova nalaze se na dubinama koje odgovaraju teorijskim vrednostima dometa protona date energije. To ukazuje da je model prolaza protona fizički korektan i da ga podržavaju korektne vrednosti zaustavne moći [5]. Na svim slikama, koje slede, mogu se primetiti oscilacije apsorbovane energije pri višim energijama protona. One ilustruju neelastične nuklearne reakcije sa apsorpcijom protona i emisijom sekundarnih čestica: spuštanje pokazuje emisiju neutrona i fotona, a uspon sekundarne protone i teške naelektrisane čestice. Kako se teorijski i očekivalo, tih oscilacija je sve manje pri nižim energijama protona kad počinje da raste Bragov pik.

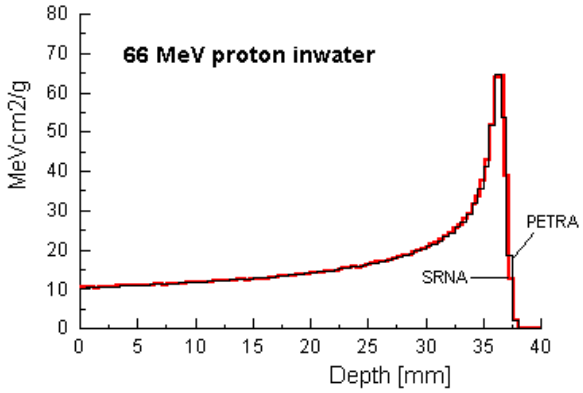


Slika 7. Apsorbovana energija protona u vodi u funkciji dubine prodiranja



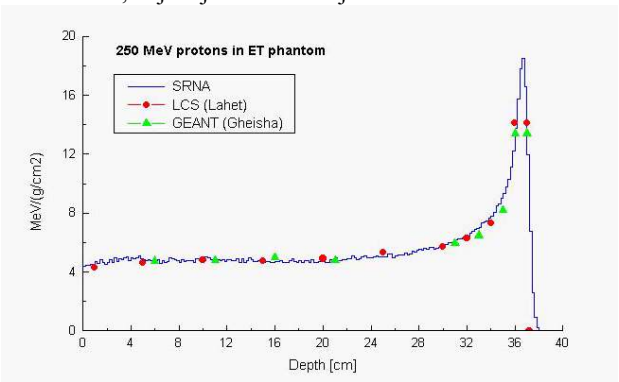
Slika 8. Rezultati simulacije prolaza protona energije *26.4 MeV* u vodenoj sredini programima SRNA i PETRA [8].

Iako je program SRNA teorijski konzistentan, izveli smo serije numeričkih eksperimenata za one energije i materijale za koje se u literaturi mogu naći rezultati simulacije programima drugih autora. Ovde se pokazuju rezultati simulacije programom SRNA za tri karakteristične energije protona: *26.4 MeV; 66 MeV* i *250 MeV*. Te energije su karakteristične po akceleratorima koji proizvode protone i po tome što se do prve energije mogu zanemariti neelastične nuklearne reakcije, do druge energije te reakcije treba uzeti u obzir za rigoroznije numeričke eksperimente, a iznad druge do treće energije nuklearne reakcije igraju odlučujuću ulogu u simulaciji.



Slika 9. Rezultati simulacije prolaza protona energije 66 *MeV* u vodi programima SRNA i PETRA [8].

Pošto srednji broj neelastičnih nuklearnih interakcija raste sa porastom energije protona, a tim je veći što je veći broj jezgara težih elemenata u materijalu, odlučili smo da izdvojimo numerički eksperiment sa protonima energije *250 MeV* u tkivu ekvivalentnom fantomu. S druge strane raspolagali smo rezultatima simulacije baš u takvom fantomu koji su dobijeni programima *LCS* (*Lahet* - Los Alamos) i *GEANT/GEISHA* (CERN) [9]. Na Slici 10. prikazani rezultati pokazuju slaganje sa teorijskim vrednosti dometa protona [5] i rezultatima drugih autora [8,9]. Na njoj se jasnije mogu uočiti spomenute oscilacije apsorbovane energije protona koje zbog neelastične nuklearne reakcije protona sa jezgrima ugljenika, kiseonika i azota, koji zajedno učestvuju sa 97.5% u sastavu ET fantoma.



Slika 10. Simulacija prolaza protona enegije *250 MeV* u ET fantomu

Softverska podrška eksperimentima sa protonima podrazumeva mogućnost dobijanja podataka ne samo o apsorbovanoj energiji, nego i podataka o fluensu sekundarnih čestica koje stvaraju protoni. Zato će dalji razvoj programa SRNA obuhvatiti rigorozniji tretman neelastičnih nuklearnih interakcija kako bi bile obuhvaćene i naelektrisane čestice. Očekuje se proširenje primena programa na veći broj elemenata kad budu primenom

programa *GNASH* (Los Alamos) raspoloživi preseci za njih. U programu SRNA funkcionišu rutine koje omogućavaju razne oblike sistematizacije prostorno-energetskih stanja protona za kasniju obradu. To se posebno odnosi na prostornu raspodelu doze protona u oku za lečenje tumora i emisiju neutrona i fotona za ocenu zaštite osoblja i eksperimentatora.

LITERATURA

[1] Ilić, R.D., Software FOTELP - Monte Carlo transport of Photonos, Electrons and Positrons; RSICC Computer Code Collection CCC-581, Release August 1998.

[2] Berger,M.J, Monte Carlo calculation of the penetration and diffusion of fast charged particles, in Methods in computational physics, Vol I, (1963) p.135, Accad. Press, N.Y (1991).

[3] Moliere, G., Theorie der Streuung schneller geladener Teilchen II: Mehrfach - und Vielfachstreuung. Z.Naturforsch 3a (1948) p.78;Bethe, H.A.,Moliere's theory of multiple scattering, Phys.Rev.89 (1953) p.1256.

[4] Vavilov, P.V., Ionizacionnwe poteri t]`elwh ~astic bolx[ih <nergij, @>TF Tom 32, Vwpusk 4 (1957) s. 920.; Ili} R.D., Ra~unawe raspodele Vavilova za Monte Karlo transport lakih i te{kih naelektrisanih ~estica, ETRAN, Vrwa~ka Bawa (1998).

[5] Ziegler J.F. et all, The Stopping and Range of Ions in Solids, Pergamon Press (1974) - TRIM Data.; ICRU Report 49 - Stopping Power and Ranges for Protons and Alpha Particles, Bathesda, May 1993.

[6] {ulek P. i dr. O fluktuaci]h ionizacionnwh poterx, }derna] fizika, Tom 4, vwpusk 3 (1966) s. 564

[7] Young P.G. and Chadwick M.B., Neutron- and Proton-induced Nuclear Data Libraries to 150 MeV for Accelerator-driven Application, Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technology, May 19-24 (1997), Trieste, Italy; Chadwick M.B., Data ICRUTAB.TAR from *ftp://t2.lanl.gov/* (1998).

[8] 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. (1997).

[9] Ferrero M.I. et all., Monte Carlo simulation of a protontherapy ssystem for the calculation of the dose distribution in a patient, TERA 95/4 TRA 14, (1995), Fondacione per adroterapia oncologica, Novara, Italia.

ABSTRACT

THE PROTON TRANSPORT BY MONTE CARLO TECHNIQUES

R. D. Ilić

Institut for Nuclear Sciences VINČA, Physics Laboratory (010), Beograd

The construction of Accelerator Installation TESLA in Vinca Institute was a motivation for author to use his experience in developing the Monte Carlo electron transport code for development of the SRNA code for numerical experiments in radiotherapy and dosimetry. Monte Carlo simulation scheme bases on the multiple scattering theory of proton, and a nenj model for decay of the compound nuclei. The SRNA code runs in 3D sources of protons in energy range from 100 keV to 250 MeV, and 3D complex geometry of material zones. Numerical experiment with SRNA code show that transport models are in accordance with theoretical picture of protons passage trough materials and with results of advanced codes from this branch.

UGAONA RASPODELA NEUTRONA OKO DEBELE METE OD ALUMINIJUMA PRI OZRAČIVANJU SNOPOM PROTONA ENERGIJE 50 MEV

S. J. Stanković, M. P. Orlić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati četvorogrupnog proračuna ugaone raspodele spektralne gustine neutrona u jediničnom prostornom uglu i u definisanom prostornom uglu na osnovu eksperimentalnih rezultata pri protonskom bombardovanju debele mete od aluminijuma. Energija incidentnih protona je bila 50 MeV, a energetski pragovi neutronskih grupa su 3 MeV, 8 MeV, 26 MeV i odgovaraju nuklearnim reakcijama na aktivacionim detektorima od ^{32}S, ^{27}Al i ^{12}C. Rezultati mogu da se koriste za proračun zaštite na akceleratorskoj instalaciji „TESLA“.

UVOD

Karakteristike zaštitnih zidova i lokalne zaštite na akceleratorskoj instalaciji „TESLA“ određuju se u odnosu na nivoe fluensa sekundarnih neutrona. Proračun zaštite je moguće ostvariti empirijskim ili numeričkim metodama. U drugom slučaju neophodno je poznavanje prinosa sekundarnih neutrona u odnosu na njihov energetski spektar i ugaonu distribuciju.

TEORIJA

Prinos i ugaonu raspodelu sekundarnih čestica pri protonskom bombardovanju meta od ugljenika (^{12}C), bakra (^{64}Cu) i aluminijuma (^{27}Al) su ispitivali Fasso A. i Hofert M. [1]. Ugaona raspodela neutrona, koja ima poseban značaj u zaštiti od zračenja, je određena aktivacionim detektorima za četiri energetske grupe (pragovi nuklearnih reakcija su na energijama $E_P^{(r)}$ od 3 MeV za $^{32}S(n,p)^{32}P$, 8 MeV za $^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$ i 26 MeV za $^{12}C(n,2n)^{11}C$). Rezultati eksperimenata su potom upoređeni sa semiempirijskom formulom Alsmillera. Pokazalo se da je slaganje veoma dobro za uglove manje od 60^0 u odnosu na pravac snopa protona. Slična ispitivanja na većem broju meta su sproveli T. Nakamura, M.Yoshida i K.Shin [2], pri čemu se zasebno razmatrala i ugaona raspodela gama zračenja.

Ovakvi eksperimenti se relativno lako izvode i za mete koje su od praktičnog interesa (npr. tantal u proizvodnji radioizotopa). Ugaona distribucija neutrona $Q_n^{(r)}(\Omega)$ (cm^2srad^{-1}) koja se određuje r-tom nuklearnom reakcijom, a odnosi se na energije neutrona $E_n > E_P^{(r)}$, prikazuje se kao:

$$Q_n^{(r)}(\Omega) = (1/S_p)\cdot\int_E \frac{d^2N_n}{dEd\Omega}\cdot\sigma_n^{(r)}(E)dE \qquad (1)$$

Između aktivnosti $A^{(r)}$ aktivacionog detektora za r-tu nuklearnu reakciju, koji je pozicioniran prostornim uglom Ω u odnosu na debelu metu, i ugaone distribucije neutrona $Q_n^{(r)}(\Omega)$ može se uspostaviti relacija:

$$Q_n^{(r)}(\Omega) = \frac{R^2\cdot t\cdot A^{(r)}(\Omega)}{S_p\cdot\Omega_0\cdot N_j^{(r)}} \qquad (2)$$

u kojoj je: R(cm) rastojanje aktivacionog detektora od mete; t(s) vreme ozračivanja aktivacionog detektora; S_P ukupan broj protona koji je u toku vremena t interagovao sa metom; Ω_0 (srad) jedinični prostorni ugao; $N_J^{(r)}$ broj jezgara mete izložen protonskom zračenju. U eksperimentima sa aktivacionim detektorima koji imaju ukupno r energetskih pragova za nuklearne reakcije moguće je definisati ukupno r+1 grupa neutrona za jedan prostorni ugao Ω, odakle se iz razlike $Q_n^{(r)}(\Omega) - Q_n^{(r+1)}(\Omega)$ određuje odgovarajuća ugaona raspodela spektralne gustine neutrona.

Funkcija ugaone raspodele spektralne gustine neutrona K(E, Ω), u skladu sa izgledom podintegralne funkcije u relaciji (1), je:

$$K(E,\Omega) = \frac{d^2N(E,\Omega)}{dEd\Omega} \qquad (3)$$

Eksperimentalno određene vrednosti za $Q_n^{(r)}(\Omega)$ se sada mogu iskoristiti za procenu srednje vrednosti funkcije $K(E_{pr}^{(r)} \le E \le E_1;\ \Omega)$ gde $E_1 = \max E_n$. Kada se procenjuje srednja vrednost za (r+1)-vu neutronsku grupu u energetskom smislu $K(E_{pr}^{(r)} \le E \le E_{pr}^{(r+1)};\ \Omega)$ neophodno je odrediti razliku $Q_n^{(r)}(\Omega) - Q_n^{(r+1)}(\Omega)$. Takođe za r>4 relacija (1) se može svesti na specijalni oblik Fredholmove integralne jednačine druge vrste [3, 4] po nepoznatoj funkciji K(E, Ω):

$$\int_{E_A}^{E_B} K(E,\Omega)\cdot\sigma_n^{(r)}(E)dE = Q_n^{(r)}(\Omega)\cdot S_p \qquad (4)$$

pri čemu su $E_A = \min E_{pr}^{(r)}$; $E_B = \max E_n$.

Na osnovu eksperimentalnih podataka za tri reakcije sa pragom [5, 6], iz relacije (4) proizilazi:

$$K(E_{pr}^{(r)} \le E \le E_1;\Omega)\cdot\sigma_n^{(r)}(E_{pr}^{(r)} \le E \le E_1)\cdot\Delta E_1^{(r)} = Q_n^{(r)}(\Omega)\cdot S_p \qquad (5)$$

Neka je $E_1 = E_{pr}^{(r+1)}$, r=1,2,3, za mete od aluminijuma cilindričnog oblika (dimenzije: dužina 6 cm, dijametar 2 cm), na čije baze upravno pada snop protona energije 50 MeV, srednjeg intenziteta I (broj protona u jedinici vremena) (slika 1.). Koristeći eksperimentalne rezultate [1] moguće je ostvariti sledeću procenu srednje vrednosti $K(E_{pr}^{(r)} \le E$

$\leq E_{pr}^{(r+1)};\Omega(\theta))$ (MeV^{-1} $srad^{-1}$) prema relaciji :

$$K(E_{pr}^{(r,r+1)};\Omega(\theta)) = S_p \times \left[\frac{Q_n^{(r)}(\Omega(\theta))}{\Delta E_1^{(r)} \cdot \sigma_n^{(r)}} - \frac{Q_n^{(r+1)}(\Omega(\theta))}{\Delta E_1^{(r+1)} \cdot \sigma_n^{(r+1)}} \right] \quad (6)$$

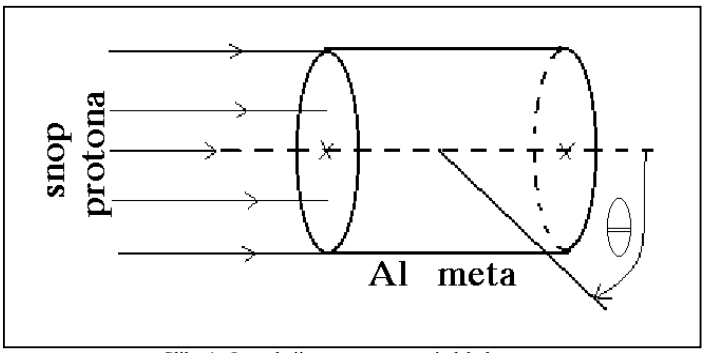
gde je $\Delta E_1^{(r)}=E_{nmax}-E_{pr}^{(r)}$, r=1,2,3, a $\sigma_n^{(r)}$ se u analizi rezultata merenja sa aktivacionim detektorima nazivaju još i efektivne vrednosti efikasnog preseka za nuklearnu reakciju sa energijom praga $E_{pr}^{(r)}$. Kako je pogodno odrediti i totalnu spektralnu gustinu $G(E_{pr}^{(r)} \leq E \leq E_{pr}^{(r+1)};\Delta\Omega(\theta_k,\theta_{k+1}))$ koja odgovara razlici spektralnih gustina u prostorni ugao za azimutalne uglove θ_k i θ_{k+1} za k=1,...,9 , odnosno ukupan broj neutrona uočene energetske grupe koji se emituje u prostorni ugao $\Delta\Omega(\theta_k,\theta_{k+1})$, može se definisati za k=1,...,9:

$$G(E_{pr}^{(r,r+1)};\Delta\Omega_{k,k+1}) = K(E_{pr}^{(r,r+1)};\Omega_k)\Delta\Omega_{k,k+1/2} + K(E_{pr}^{(r,r+1)};\Omega_{k+1})\Delta\Omega_{k+1/2,k+1} \quad (7)$$

$$\Delta\Omega_{k,k+1/2} = 2\pi \cdot \int_{\theta_k}^{\theta_k+\Delta\theta_{k,k+1/2}} \sin\theta d\theta \qquad \Delta\theta_{k,k+1/2} = (\theta_{k+1} - \theta_k)/2 \quad (8a, b)$$

REZULTATI PRORAČUNA ZA DEBELU METU OD ALUMINIJUMA

Pri proračunavanju je uzeto da su energetski pragovi $E_{pr}^{(r)}$,r=1,2,3, 3 MeV(za^{32}S), 8 MeV(za^{27}Al) i 26 MeV(za^{12}C) respektivno. Na debelu metu od aluminijuma dospelo je 3,16 10^{15} protona[1]. Uz usvojenu E_{nmax} od 45 MeV, efektivni efikasni preseci $\sigma_n^{(r)}$, koji su iskorišćeni u proračunima, iznose 308 mb, 110 mb[5,6], i 49 mb [7]. Numerički generisani podaci za funkciju diferencijalnog emisionog spektra prikazani su u formi baze podataka za



Slika 1. Interakcije snopa protona i debele mete.

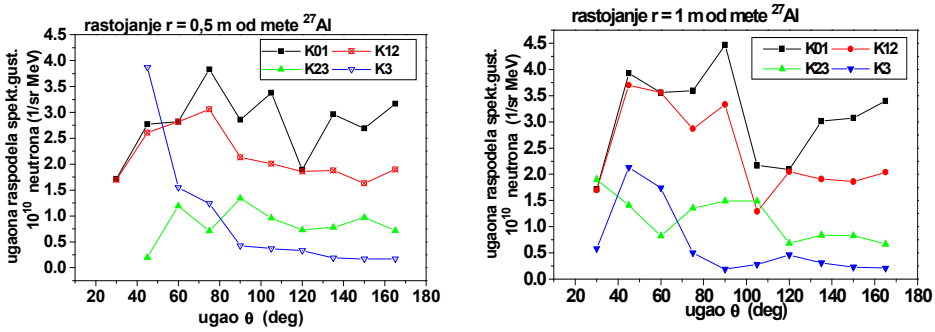
materijale od ^{12}C, ^{14}N, ^{16}O, ^{27}Al, ^{28}Si, ^{40}Ca, ^{56}Fe, ^{184}W i ^{208}Pb[8]. Sistematizacija baze podataka je izvršena uz korišćenje fortranskog programa CHICRU [9]. U slučaju aluminijumske mete iskorišćena je mogućnost procene srednje vrednosti angularne raspodele spektralne gustine neutrona u jedinični prostorni ugao, a potom i spektralne gustine neutrona u definisanom

prostornom uglu, na osnovu ove baze podataka prema relaciji :

$$K(0 < E_n \le 3MeV;\Omega(\theta)) = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot K(3MeV < E_n \le 8MeV;\Omega(\theta)) \qquad (9)$$

gde je α odnos vrednosti integrala diferencijalnog emisionog spektra neutrona u opsezima energija od 10^{-3} eV do 3 MeV i od 10^{-3} eV do 8 MeV, odnosno za $E_0=10^{-3}$ eV

$$\alpha = \left[\int_{E_0}^{3MeV} \frac{d^2\sigma}{dE_n d\Omega_n} dE_n \right] \Bigg/ \left[\int_{E_0}^{8MeV} \frac{d^2\sigma}{dE_n d\Omega_n} dE_n \right] \qquad (10)$$



Slike 2 i 3. Ugaone raspodela $K(E_{pr}^{(r)} \le E \le E_{pr}^{(r+1)};\Omega(\theta))$, r=1,2,3 za rastojanja r=0,5 m i r=1 m od aluminijumske debele mete.

U tabelama i na slikama, indeksi 0, 1, 2 i 3, za ma koju veličinu raspodele, se odnose za energije neutrona veće ili jednake od 10^{-9} MeV, 3 MeV, 8 MeV, 26 MeV respektivno. Ukoliko se razmatraju veličine raspodele unutar intervala energije između susednih energetskih pragova, tada su indeksi 01, 12 i 23.

Na slikama 2. i 3. prikazane su vrednosti ugaone raspodele spektralne gustine neutrona u jedinični ugao za različita rastojanja od debele mete. Uočava se da na pravcima svih uglova većih od 60^0 u spektru uglavnom dominiraju neutroni energija do 3 MeV. Za neutrone energija većih od 26 MeV i za promenu rastojanja od 0,5 m konstatuje se inverzija u trendu promene vrednosti fluensa pri promeni ugla pravca detekcije od 40^0 do 60^0. Za oba rastojanja od centra debele mete, u pravcima detekcije za uglove iznad 70^0 najniži nivoi udela u spektru pripadaju neutronima energija iznad 26 MeV. Po svim pravcima detekcije, odnosno za sve azimutalne uglove, pojedinačni nivoi udela u spektru neutrona energija između 3 MeV i 8 MeV (K_{12}), i 8 MeV i 26 MeV (K_{23}), su ispod vrednosti udela neutrona energija ispod 3 MeV.

Tabela 1. Ugaona raspodela spektralne gustine neutrona
u definisanom prostornom uglu za rastojanje od debele Al mete R= 0,5 m

$\theta_k \le \theta < \theta_{k+1}$ (°)	$G_1\ 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_2 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_3 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{01}\ 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{12} 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{23} 10^{-10}$ (MeV^{-1})
$30 \le \theta < 45$	5.52	3.34	-	2.28	2.19	-
$45 \le \theta < 60$	7.93	4.39	3.45	3.64	3.54	0.94
$60 \le \theta < 75$	8.00	3.54	2.11	5.06	4.46	1.43
$75 \le \theta < 90$	7.24	3.02	1.35	5.43	4.21	1.67
$90 \le \theta < 105$	5.89	2.52	0.65	5.07	3.37	1.87
$105 \le \theta < 120$	4.75	1.82	0.53	4.03	2.93	1.285
$120 \le \theta < 135$	3.76	1.32	0.34	3.13	2.43	0.98
$135 \le \theta < 150$	2.81	1.05	0.18	2.84	1.76	0.87
$150 \le \theta < 165$	1.745	0.65	0.11	1.82	1.09	0.54

Tabela 2. Ugaona raspodela spektralne gustine neutrona
u definisanom prostornom uglu za rastojanje od debele Al mete R=1 m

$\theta_k \le \theta < \theta_{k+1}$ (°)	$G_1\ 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_2 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_3 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{01} 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{12} 10^{-10}$ (MeV^{-1})	$G_{23} 10^{-10}$ (MeV^{-1})
$30 \le \theta < 45$	5.825	3.05	1.42	2.91	2.77	1.63
$45 \le \theta < 60$	8.65	3.94	2.505	4.86	4.71	1.435
$60 \le \theta < 75$	8.19	3.34	1.67	5.42	4.85	1.67
$75 \le \theta < 90$	7.92	2.88	0.56	6.56	5.04	2.32
$90 \le \theta < 105$	6.575	2.805	0.38	5.41	3.77	2.42
$105 \le \theta < 120$	4.74	2.225	0.56	3.23	2.515	1.67
$120 \le \theta < 135$	4.08	1.50	0.51	3.29	2.58	0.99
$135 \le \theta < 150$	2.99	1.11	0.27	3.04	1.88	0.83
$150 \le \theta < 165$	1.83	0.62	0.14	2.02	1.215	0.48

U Tabelama 1. i 2., za različita rastojanja od debele Al mete, date su vrednosti ugaone raspodele spektralne gustine neutrona u definisanom prostornom uglu (15^0) po preferentnim pravcima detekcije ($30^0 \le \theta < 165^0$).

ZAKLJUČAK

Sa aspekta zaštite od zračenja na akceleratorskoj instalaciji, urađeni proračuni za snop protona od 50MeV mogu doprineti boljem sagledavanju problema dopunske zaštite. To znači da se može izvršiti procena neutronskog zračenja na kritičnim mestima razmatranjem interakcije snopa protona sa jednim konstrukcionim elementom većih dimenzija kao interakcije snopa sa više elemenata koji imaju odgovarajuće dimenzije debele mete. Istovremeno, stvorena je mogućnost poređenja rezultata ovakve procene na bazi eksperimentalnih podataka sa rezultatima iz ovog softverskog paketa SRNA[10], u kojem bi se implantirale funkcije diferencijalnih emisionih spektara za sekundarne čestice. Jedan od izlaza ovog softvera bi mogao da bude i totalni emisioni spektar neutrona iz debele mete od interesa. Konačno, to bi otvorilo perspektivu da se softverskim paketom MCNP izvrši 3D simulacija transporta neutrona kroz većinu materijala, koji su postavljeni u okolini mete bombardovane protonima.

LITERATURA

[1] Fasso A., Hofert M., Distributions of Secondary Particles Around Various Targets Exposed to 50 MeV Protons, Nucl.Instr.andMeth. 133(1976),p.213-218.

[2] Nakamura T., Yoshida M., Shin K., Spectral Measurements of Neutrons and Photons from Thick Targets of C, Fe, Cu and Pb by 52 MeV protons, Nucl.Instr.andMeth. 151(1978),p.493-503.

[3] Wood J., Computational Methods in Reactor Shielding, Moments Method, Pergamon Press,1982, p.396-421.

[4] Stanković S., Vukčević M., Momentni metod u transportnoj teoriji, Seminarski rad, ETF, sept. 1993.

[5] I.Mirić, P.Mirić, M.Prokić, P.Marković, Određivanje karakteristika aktivacionih detektora za dozimetriju neutrona, IBK – 364.

[6] I.Mirić, M.Prokić, D.Veličković, Procena fluksa neutrona pomoću aktivacionih detektora, IBK– 775.

[7] Dimbylow P.J., Neutron Cross-Section Calculations in the energy Range 20 – 50 MeV for Elements of Biomedical Importance, Neutron Physics and Nuclear Data, Proceedings of an Inter.Confer., Harwell, sept.1978. p.636-641.

[8] Chadwick M.B., Young P.G. and all., Data ICRUTAB.TAR from ftp://t2.lanl.gov/ 1998, LANL,USA.

[9] Ilić R., CHICRU – Fortranski program za pripremu preseka i raspodela za modelovanje neelastičnih nuklearnih reakcija protona, 1990, Beograd.

[10] Ilić R., SRNA – 3D Monte Carlo proton transport simulation, URL:www.beotel.yu/~rasacale,1999, Beograd.

ABSTRACT

NEUTRON ANGULAR DISTRIBUTION AROUND ALUMINUM THICK TARGET IRRADIATED BY 50MEV PROTON BEAM

S. J. Stanković, M. P. Orlić
Institute of nuclear sciences VINČA, Belgrade

In this paper the results of calculation angular distribution of secondary neutrons, generated on thin aluminum target by incidentally proton beam, have been presented. Proton energy was 50 MeV. Energy distribution for four neutron groups was determined by activation detectors ^{32}S, ^{27}Al and ^{12}C. The results could be used for shielding calculation at accelerator installation TESLA.

PROCENA NEUTRONSKE DOZE U OKOLINI TERAPIJSKIH AKCELERATORA

M. Krmar, J. Slivka, A. Rudić[1], Ž. Đurčić,
I. Bikit, Lj. Čonkić, N. Žikić
Institut za fiziku, PMF, Novi Sad
[1] Institut za onkologiju, Sremska Kamenica

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja doprinosa fotoneutrona ukupnoj dozi kojoj je izložen pacijent tokom radijacione terapije zakočnim zračenjem od 10 i 15 MeV. Doza je procenjena na osnovu fluksa epitermalnih neutrona koji je određen aktivacionim detektorom ^{115}In u kadmijumskom omotaču. Procenjena je i doza koja potiče od aktivnosti nastale nakon zahvata termalnih neutrona u aktiviranim izotopima elemenata koji ulaze u sastav tkiva.

UVOD

Pojedini materijali od kojih su sačinjeni neki delovi akceleratorske glave imaju relativno nizak prag za (γ,n) reakciju. To se prvenstveno odnosi na volfram od koga se najčešće pravi primarni kolimator i olovo od koga je sačinjen sekundarni kolimator. Prirodni volfram sadrži 14.3% izotopa ^{183}W za koga je prag 6.2 MeV dok olovo u prirodnom sastavu ima 22.1% izotopa ^{207}Pb kome je prag na 6.7 MeV [1]To znači da se u okolini akceleratora koji rade na višim energijama od pomenutih može očekivati merljivo prisustvo neutrona. Kako oni daju svoj doprinos ukupnoj dozi kojoj je pacijent izložen tokom radijacione terapije, neohodno je proceniti koliki taj doprinos može biti. U te svrhe izdato je nekoliko različitih protokola kojim se propisuju neki standardi [2 , 3].

AKCELERATORSKI NEUTRONI I NJIHOVA DETEKCIJA

Tokom radijacione terapije, pacijenti su izloženi fluksu neutrona koji se grubo može podeliti u tri grupe:

-neutroni koji bez rasejanja dolaze direktno iz mete i ostalih konstrukcionih elemenata akceleratorske glave ozračenih x-zračenjem. Spektar ovih neutrona je veoma sličan energetskom spektru fisionih neutrona sa maksimumom distribucije negde na 1 MeV.

-neutroni rasejani u akceleratorskoj glavi. Ovi su neutroni do lokacije pacijenta preživeli jedno ili više rasejanja, kojom prilikom su izgubili deo svoje energije. Spektar im je sličan kao i direktnim neutronima, samo što je maksimum krive pomeren na 0.5 MeV.

-termalni neutroni. U ovu grupu spadaju neutroni koji su usled velikog broja interakcija izgubili skoro svu svoju energiju. Prostorna distribucija im je gotovo ravnomerna , a njihov broj u velikoj meri zavisi od geometrije prostorije u koju je akcelerator smešten.

Sa dozimetrijske tačke gledišta, vazno je poznavati fluks brzih neutrona, pošto termalni u ukupnoj dozi učestvuju sa oko 1%. Direktno merenje neutronskog fluksa unutar terapijske prostorije je teško izvodljivo zbog veoma nepovoljnog odnosa broja fotona i neutrona. Procenjeno je da je fluks rasejanih fotona, van snopa, 10 - 100 puta veći od neutronskog, dok se u snopu taj odnos kreće od 1000 do 4000. To znači da je neutronski fluks moguće meriti jedino aktivacionom tehnikom. Protokol [3] predlaže dva osnovna tipa merenja:

1. aktivacionim detektorima termalnih neutrona unutar moderatora. Ovde se najčešće koriste ^{115}In i ^{197}Au.
2. prag detektorima. Pomoću njih je moguće proceniti fluks brzih neutrona. Koristi se reakcija ^{31}P(n,p)^{31}Si koja ima prag na 0.7 MeV a predložena metodologija merenja je prilagođena kliničkim uslovima pošto je produkt reakcije beta emiter koji se može detektovati pomoću tečnog scintilatora koji se rutinski koristi u klinikama.

Procenjeni neutronski fluks je potrebno prevesti u dozu, što se egzaktno veoma teško može izvesti prvenstveno zbog činjenice da se energetski spektar neutrona ne poznaje dovoljno dobro. U tu svrhu su određene empirijske vrednosti konverzionih faktora fluks – doza [3], na osnovu većeg broja različitih merenja, i pomoću njih se može proceniti neutronska doza.

MERENJA I REZULTATI

Za procenu fluksa brzih neutrona, u ovom radu upotrebljen je ^{115}In kao aktivacioni detektor (94.5% u prirodnom indijumu). Aktivacioni detektori su bili tanki cilindri od prirodnog indijuma, 20 mm u prečniku i 1 mm debeli. Da bi se odvojili brzi od termalnih neutrona, indijumski cilindri su bili obloženi kadmijumskim limom debljine 1 mm. Aktivacija opisanih detektora je vršena u fotonskom snopu kod dva različita akceleratora. Jedan od njih je 15 MeV-ski Simens Mevatron, dok drugi Siemens Mevatron MD7445 ima snop od 10 MeV. Po dva indijumska cilindra, jedan sa kadmijumskim filtrom, a drugi bez njega su postavljani jedan pored drugog, i to na distancama od 52, 100 i 135 cm od fokusa. Eksponiranje uzoraka je trajalo oko 6 minuta, da bi se nakon toga indukovana aktivnost merila pomoću HPGe detektora. Na osnovu intenziteta gama linija iz spektra ^{116}In, moguće je odrediti saturacionu aktivnost kao:

$$R = \frac{N_\gamma \lambda}{N_m \varepsilon p_\gamma e^{-\lambda \Delta t}\left(1 - e^{-\lambda t_m}\right)\left(1 - e^{\lambda t_{zr}}\right)}$$

gde je N_γ odbroj ispod pika u spektru, λ je konstanta radioaktivnog raspada, N_m je broj jezgara odabranog aktivacionog detektora, ε je apsolutna efikasnost detekcionog sistema, p_γ je kvantni prinos za posmatrani prelaz, a Δt, t_{zr} i t_m su vreme hlađenja, zračenja i merenja respektivno.

U slučaju aktivacije detektora unutar kadmijumskog filtra, saturaciona aktivnost može da se pretstavi kao:

$$R_e = \sigma_e \ I$$

gde je σ_e fluks brzih (epitermalnih) neutrona, dok je I takozvani rezonantni integral. Budući da energetski spektar akceleratorskih neutrona podseća na spektar fisionih neutrona, dobro poznata vrednost rezonantnog integrala određena u reaktoru za indijum od 2605 barna [4] se može smatrati zadovoljavajućom aproksimacijom. Iz gornjeg izraza se može odrediti fluks epitermalnih neutrona, dok se fluks termalnih neutrona može dobiti iz izmerene vrednosti saturacione aktivnosti uzorka koji nije bio zaštićen kadmijumskim filtrom. U tom slučaju se saturaciona aktivnost može izraziti kao:

$$R_{uk} = \sigma_e I + \sigma_t \Phi$$

Φ_t je fluks termalnih neutrona a σ_t je efikasni presek za zahvat termalnih neutrona i za ^{115}In on iznosi 194 barna [4]. Ukoliko je doprinos brzih neutrona ukupnoj aktivaciji poznat, iz gornjeg izraza se može odrediti i fluks termalnih neutrona. U Tabelama 1 i 2 su prikazane dobijene vrednosti fluksa brzih i termalnih neutrona.

Tabela 1: Rezultati merenja u 15 MeV-skom snopu

$d\left[cm\right]$	$R_{uk}\cdot 10^{-18}\left[s^{-1}\right]$	$R_e\cdot 10^{-18}\left[s^{-1}\right]$	$\Phi_e\cdot 10^{3}\left[cm^{-2}s^{-1}\right]$	$\Phi_{th}\cdot 10^{3}\left[cm^{-2}s^{-1}\right]$
135	4.45	1.51	9.8	18.1
100	4.40	1.63	10.6	17.1
52	4.34	2.15	14.0	13.5

Tabela 2: Rezultati merenja u 10 MeV-skom snopu

$d\left[cm\right]$	$R_{uk}\cdot 10^{-19}\left[s^{-1}\right]$	$R_e\cdot 10^{-19}\left[s^{-1}\right]$	$\Phi_e\cdot 10^{3}\left[cm^{-2}s^{-1}\right]$	$\Phi_{th}\cdot 10^{3}\left[cm^{-2}s^{-1}\right]$
135	4.41	1.33	0.85	1.90
52	3.86	2.03	1.30	1.13

Korišćenjem propisanih konverzionih faktora fluks – doza [3], određena je ulazna neutronska doza za direktno i rasejano zračenje 15 MeV-skog akceleratora na distanci od 100 cm od fokusa. Energija koju obe grupe neutrona unesu u telo pacijenta, u gcGy po cGy fotonske doze prikazana je u trećoj koloni Tabele 3. Tom prilikom su upotrebljene vrednosti atenuacionih koeficienata za brze i rasejane neutrone od 0.12 i 0.20 cm^{-1} respektivno, dok je za srednju energiju direktnih i rasejanih neutrona uzeto da su 1 i 0,4 MeV respektivno [5]. Fluks brzih neutrona izvan fotonskog snopa procenjen je na osnovu pređašnjih merenja [6].Ukupna neutronska doza direktnih i rasejanih photona po 1000 cGy fotonske doze, data je u poslednjoj koloni Tabele 3. Pretpostavljen je pacijent od 70 kg a površina ozračenog polja je bila 10x10 cm^2. Kod 10 MeV-skog snopa se može očekivati neutronska doza jedan red veličine manja od procenjene kod 15 MeV-skog akceleratora.

Kako zahvatom termalnog neutrona možemo dobiti aktivnog potomka, fluks termalnih neutrona 15 MeV-skog akceleratora upotrebljen je da se proceni aktivnost koja bi na taj način mogla biti indukovana u mišićnom i koštanom tkivu. Na osnovu težinskog učešća pojedinih elemenata u pomenutim tkivima i efikasnog preseka za zahvat neutrona, procenjen je učinak ove nuklearne reakcije na tkivima. Tri izotopa koja se u najvećoj meri stvaraju u tkivima su ^{32}P, ^{40}K i ^{41}Ca. Budući da ^{40}K i ^{41}Ca imaju veoma dug period poluraspada, zahvatom neutrona se dobija veoma mala aktivnost ovih izotopa. Za vreme radijacione terapije od 60 s koja bi zahvatila 1000 g koštanog tkiva, stvorilo bi se 2.5 10^5 atoma ^{32}P. Budući da se ovde radi o čistom beta emiteru, oko 2.8 10^{-8}J se apsorbuje u

posmatranoj oblasti tokom vremenskog intervala dovoljno dugog da se raspadne sav stvoreni ^{32}P. Poređenja radi, brzina doze terapijskog snopa je 3 Gy/min

Tabela 3: Procena doze direktnih i rasejanih neutrona

	ulazna doza $[\frac{rem}{min}]$	doza $\frac{n \quad gcGy}{\gamma \quad cGy}$	$\frac{\text{ukupna neutronska doza}}{1000 \text{ cGy fotonske doze}}[cGy]$
direktni	0.024	$8.0 \cdot 10^{-5}$	0.066
rasejani	0.019	$6.4 \cdot 10^{-5}$	0.014

ZAKLJUČAK

Pregledom dobijenih rezultata može se uočiti da distribucija brzih neutrona duž ose snopa bitno odstupa od inverzne kvadratne zavisnosti. Uzrok tome je činjenica da se izvorom neutrona može smatrati cela akceleratorska glava. Broj termalnih neutrona blago raste sa povećanjem rastojanja od akceleratora ka podu i zidovima gde najvećim delom i vrši termalizacija. Dobijene neutronske doze su bitno manje od maksimalno dozvoljenih 0.1% od fotonske doze. Takođe se može tvrditi da je doprinos ukupnoj neutronskoj dozi od aktivnosti indukovane u tkivima zbog zahvata termalnog neutrona zanemarljiv.

LITERATURA

[1] Forkman B. Petersson R.: Photonuclear activation in Handbook on Nuclear Activation data, IAEA Vienna (1987)

[2] National Council on Radiation Protection: Neutron Contaminations from Medical Electron Accelerators, NCRP Report No. 79, Washington D.C. (1984)

[3] American Association of Physicists in Medicine: Neutron measurements around high energy x-ray radiotherapy machines, AAPM Report No. 19, New York (1986)

[4] Gryntakis E., Cullen D.E., Mundi G.:Thermal neutron cross-sections and infinite dilution resonance integrals in Handbook on Nuclear Activation data, IAEA Vienna (1987)

[5] Nath R., Epp E.R., Laughlin J.S., Swanson W.P., Bond V.P., Medical Physics 11 ,231-241, (1984)

[6] Krmar M., Slivka J., Bikit I., Čonkić Lj., Rudić A. *primljeno za štampu u* Medical Physics, 26(4) (1999)

ABSTRACT

The contribution of the photoneutrons to the overall dose during radiotherapy treatment in 10 and 15 MeV beams is presented in this paper. The dose is estimated using epitehmal neutron fluence determined by epicadmium measurement technique and ^{115}In as an activation detector. The dose from isotopes created by thermal neutron capture in tissues is estimated too.

UGAONA RASPODELA NEUTRONA IZ DEUTERIJUMSKOG PLAZMA FOKUSA

R. Antanasijević, R. Banjanac,
A. Dragić, J. Stanojević i V. Udovičić
Institut za fiziku, Zemun

SADRŽAJ

Merenje ugaone raspodele neutrona iz deuterijumskog plazma fokusa izvršeno je pomoću tečnog scintilacionog detektora NE343. Neutronski fluks je meren na sledećim uglovima: - 30°, 0°, 30° i 90°. Rezultati su pokazali da nema anizotropije neutrona.

UVOD

Deuterijumski plazma fokus (DPF) predstavlja, između ostalog, impulsni izvor D-D neutrona, pri čemu se, zavisno od energije kondenzatorske baterije, emituje po impulsu 10^7-10^{12} neutrona u vremenskom periodu 50-100 nsec. Od prvih DPF-a [1] do danas ostaje otvoreno pitanje mehanizma produkcije neutrona. Eksperimentalno je utvrđeno postojanje anizotropije fluksa i energije neutrona, pri čemu odnos fluksa u aksijalnom prema fluksu u radijalnom pravcu varira od 1,1 do 1,8 [2]. Predloženo je više modela [2], [3] i [4], koji bi objasnili tako dobijene rezultate. To je bio motiv da se na našem DPF-u, čiji je opis dat ranije [5], utvrdi da li postoji anizotropija neutrona. Merenje je obavljeno korišćenjem čvrstih detektora tragova i tečnim scintilacionim detektorima (NE343). Rezultati dobijeni tečnim scintilacionim detektorima pokazali su da nema anizotropije neutronskog fluksa.

EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Za merenje fluksa neutrona iz DPF-a korišćen je tečni scintilacioni detektor komercijalnog naziva NE343. Radi se o organskom scintilatoru rastvorenom u tečnom organskom rastvaraču uz dodavanje masenih 0,5 % Gd. Tečni scintilatori su detektori γ-zračenja, ali je NE343, zahvaljujući Gd moguće koristiti u detekciji termalnih neutrona. Kada energija nije bitan parametar, detekcija brzih neutrona se vrši na sledeći način:

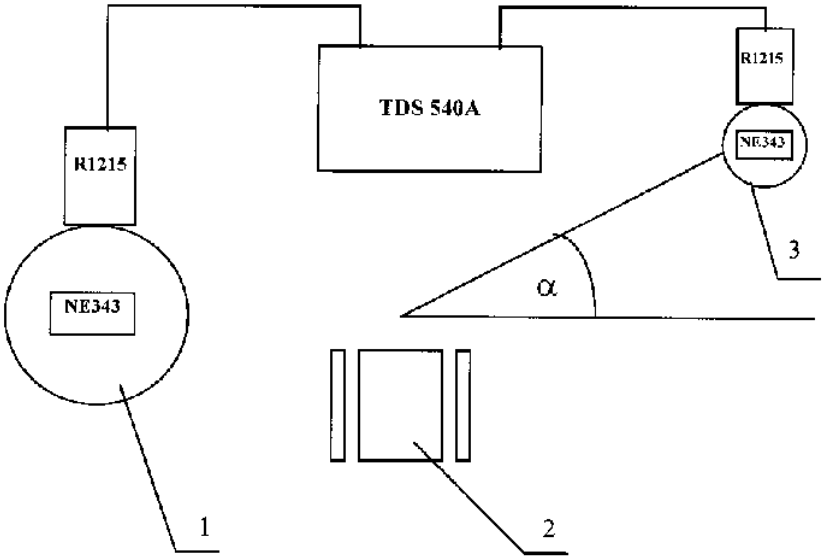
a) U prvoj fazi, brzi neutroni se termalizuju u samom detektoru za oko 50 nsec.

b) Termalni neutroni difunduju i sledi zahvat na jezgrima H i Gd (efikasni presek za zahvat termalnih neutrona na Gd je 30000 barn-a).

c) Pobuđena jezgra emituju γ-zrake sledećih energija: 2,35 MeV-a (H) i u kaskadi zbirno 8,46 MeV-a i 7.87 MeV-a (zavisno od izotopa Gd), koji interaguju sa tečnošću dajući kvante svetlosti koji se u fotomultiplikatoru pretvaraju u električni signal.

U ovom eksperimentu korišćena su dva čelična suda u kojima se nalazio NE343. Prvi je oblika kugle, prečnika R = 1 m i zapremine V = 600 l., sa 12 fotomultiplikatora tipa Hamamatsu R1215 prečnika 12,7 cm i detaljno je opisan u radu [5]. Drugi sud je oblika cilindra prečnika R = 26 cm i visine H = 26 cm sa jednim fotomultiplikatorom istog tipa. U akviziciji signala sa oba detektora korišćen je osciloskop Tektronix TDS 540A (1 GS/s).

Izvršena je kalibracija velikog scintilacionog detektora na neutronske signale iz DPF-a. Prilikom kalibracije, korišćen je program DENIS, Monte-Carlo simulacija, koja računa unutrašnju efikasnost za različita rastojanja izvor-detektor. Eksperimentalno je određeno postojanje nekoliko tačaka (vruće tačke), na rastojanju do 2 cm iznad vrha centralne elektrode, kao mesta emisije neutrona [6]. U odnosu na taj položaj, centar velikog scintilacionog detektora bio je na rastojanju od 7 m. Mali scintilacioni detektor bio je udaljen 1,7 m od centra emisije neutrona menjajući položaj tako da pravac veliki detektor-centar emisije i pravac mali detektor-centar emisije grade dati ugao (slika 1.).

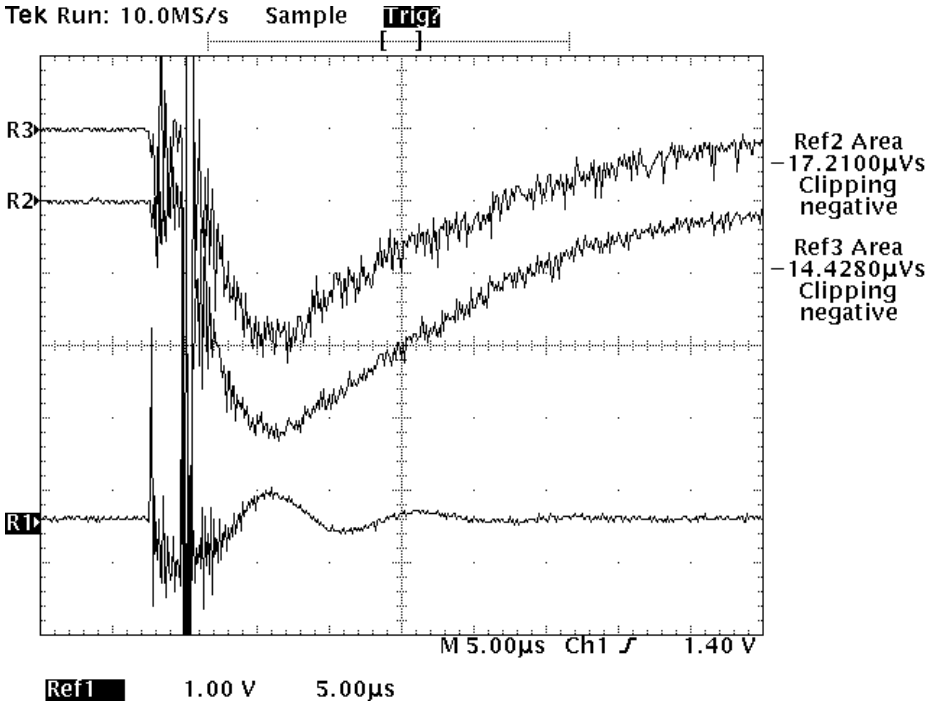


Slika 1. Blok shema eksperimenta:
1) Veliki scintilacioni detektor, 2) centralna elektroda DPF-a, 3) mali scintilacioni detektor.

METODA MERENJA

Kalibracijom velikog scintilacionog detektora određena je veza između površine neutronskog signala sa osciloskopa i neutronskog fluksa. Upoređujući površinu neutronskog signala malog i velikog detektora dobijen je količnik q, koji predstavlja meru efikasnosti malog detektora. Na datom uglu izvršeno je 30 pražnjenja (pri radnom pritisku gasa p = 300 Pa i napona kondenzatorske baterije U = 15 kV, prinos neutrona bio je $Y_n \approx 10^7$ neutrona/pulsu), dobijeni količnik q je predstavljao srednju vrednost za dati ugao. Merenja su obavljena na uglovima -30°, 0°, 30° i 90°. U slučaju izotropije neutrona dobijeni količnik q za različite uglove morao bi biti isti u granicama greške. Pored signala sa

detektora, na jednom od kanala osciloskopa sniman je signal struje (slika 2.). Na sva tri signala vidi se intezivan početni deo koji odgovara elektromagnetnoj smetnji (EMS), koja prati procese pražnjenja u plazma fokusu. U principu, EMS stvara velike poteškoće u bilo kojoj dijagnostici na DPF-u, ali u našim merenjima, s obzirom na mehanizme detekcije u NE343 t.j. vremenima potrebnim za faze a), b) i c), EMS je vremenski razlučiva od neutronskog signala i nema bitan uticaj na merenje.



Slika 2. R1) Signal struje DPF-a; R2) neutronski signal malog detektora; R3) neutronski signal velikog detektora.

REZULTATI

Dobijeni rezultati dati su u tabeli 1. Oni pokazuju, da za razliku od drugih autora nije nađena anizotropija neutrona.

Tabela 1. Rezultati

ugao α	-30°	0°	30°	90°
$q \pm \Delta q$	$1.19 \pm 0{,}01$	$1{,}22 \pm 0{,}02$	$1{,}19 \pm 0.01$	$1{,}17 \pm 0{,}06$

DISKUSIJA

Rezultati dobijeni čvrstim detektorima tragova [7] pokazali su da je dominantan aksijalan pravac emisije neutrona. Postojale su dve mogućnosti za tumačenje tako dobijenog rezultata. Geometrija eksperimenta je bila takva (čvrsti detektori su se nalazili na kaloti poluprečnika 4 cm, čiji je položaj bio odmah iznad vrha centralne elektrode), da je s obzirom na postojanje vrućih tačaka, detektor postavljen u aksijalnom pravcu bio bliži centrima emisije neutrona. Druga mogućnost je da pored termonuklearne reakcije dođe do striping efekta koji postaje dominantan mehanizam D-D reakcije ako se utvrdi anizotropija neutrona. Rezultati prikazani u ovom radu isključuju mogućnost geometrijskih efekata zbog činjenice da je rastojanje izvor-detektor bilo takvo da i pored postojanja više centara emisije neutrona, detektori „vide“ izvor kao tačkast. Dobijena izotropija neutronskog fluksa pokazuje da D-D neutroni iz DPF-a (E = 15 kJ, $Y_n \approx 10^7$ neutrona/pulsu) nastaju u termonuklearnim reakcijama.

LITERATURA

[1] J.W. Mather, The Physics of Fluids, Vol.8, No.2 (1965)
[2] M.J Bernstein , G.G. Comisar, The Physics of Fluids, Vol.14, No.4 (1972)
[3] J.H. Lee, L.P. Shomo, M.D. Williams, H. Hermansdorfer, The Physics of Fluids, Vol.14, No.10 (1971)
[4] U. Jager, H. Herold, Nuclear Fusion, Vol.27, No.3 (1987)
[5] R. Antanasijević, I. Lakićević, Z. Marić, D. Šević, A. Zarić, J.P. Vigier, Physics Letters A 180 (1993)
[6] R. Antanasijević, A. Dragić, D. Joksimović, Z. Marić, D. Šević, Ž. Todorović, V. Udovičić, Radiation Measurements, Vol.28, No.1-6 (1997)
[7] R. Antanasijević, R. Banjanac, A. Dragić, D. Đorđević, D. Joksimović, V. Udovičić, J. Vuković, Radiation Measurements, in press.

ABSTRACT

Measurement of angular distribution of neutrons emitted from deuterium plasma focus was done with liquid scintillation detectors (NE343). Neutron fluences were measured at the angles -30°, 0°, 30° i 90°. Results have shown that neutron anisotropy didnot found.

PROSTORNA ZAVISNOST INTENZITETA DOZE NEUTRONSKOG ZRAČENJA IZA SKON–A

N. Dašić, M. Pešić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, NET–150, Beograd

SADRŽAJ

Poznavanje doza neutrona i gama zračenja iza Spoljašnjeg konvertora neutrona (SKON) je neophodno kako za mnoga istraživanja u dozimetriji i zaštiti od zračenja, tako i za mnoga ozračivanja u odgovarajućim poljima neutrona i gama zračenja. S obzirom da je eksperimentalno merenje doza u ovim poljima zahtevan posao, njihovo prethodno odredjivanje nekim referentnim numeričkim programom jako olakšava rad. U ovom radu je izvršen proračun zavisnosti doza zračenja od rastojanja od SKON–a, programom MCNP, koji se bazira na primeni Monte Karlo tehnika za modelovanje transporta zračenja.

UVOD

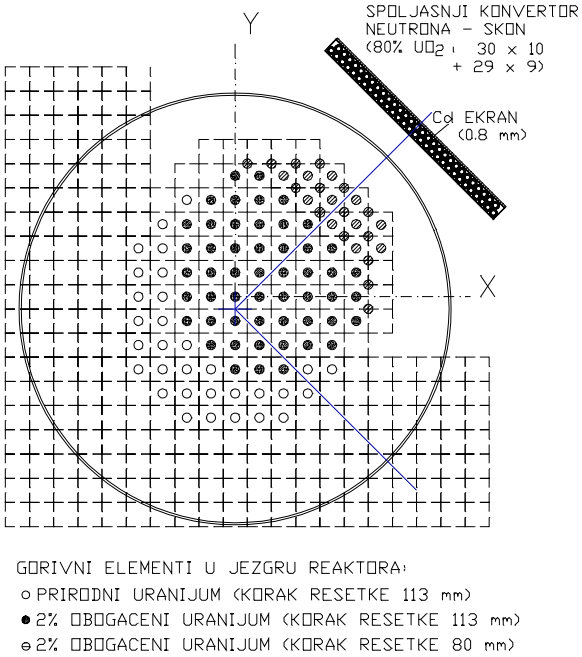
Ozračivanje uzoraka većih dimenzija u intenzivnim poljima brzih neutrona nije se moglo realizovati sa postojećom konfiguracijom reaktora RB [1]. Medjutim, pogodnim razmeštanjem raspoloživog goriva u jezgru reaktora i neposredno pored njega, moguće je ostvariti uslove za konverziju termičkih neutrona u brze relativno visokih intenziteta [2]. Spektri neutrona i gama zračenja potrebni za proračun doza su u izvornim radovima odredjivani u jednodimenzionalnoj geometriji, primenom metode verovatnoće sudara. Rezultati merenja spektara neutrona na izlazu iz spoljašnjeg konvertora neutrona (SKON) su prikazani u radu [3], a rezultati proračuna i merenja spektara neutrona modifikovanih ekranima od gvoždja u radovima [4] i [5]. Prve analize spektara neutrona i gama zračenja iz SKON–a, zasnovane na trodimenzionalnom modelu, pomoću Monte Karlo programa MCNP [6] su opisane u radu [7].

PRORAČUN DOZA

Odredjivanje neutronskih i gama doza na izlazu iz SKON–a sa ekranima od gvoždja (Fe) i polietilena $–(CH_2)_n–$ izvršeno je programom MCNP korišćenjem savremenih biblioteka nuklearnih podataka i uz minimalne aproksimacije geometrije problema. Horizontalni presek reaktora RB i SKON–a je prikazan na Sl.1.

Specijalno projektovanu konfiguraciju jezgra reaktora RB (Sl.1) sačinjava 78 gorivnih kanala od 2% obogaćenog metalnog uranijuma (52 kanala sa korakom rešetke 11.3 cm i 26 sa korakom rešetke 8.0 cm) i 31 gorivni kanal od prirodnog metalnog uranijuma rasporedjenih u rešetki koraka 11.3 cm. Gorivni kanali od obogaćenog uranijuma formirani su

od devet gorivnih segmenata. Izgled gorivnih segmenata, njihove dimenzije, nuklearni podaci kao i 3D model korišćen u programu MCNP opisani su u radu [8].



Slika 1. Horizontalni presek reaktora RB i konvertora

Spoljašnji konvertor neutrona je paralelepiped dimenzija 115.2 x 113.0 x 7.7 cm^3, izradjen od aluminijumskih ploča debljine 0.3 cm. Od spoljašnje površine tanka reaktora RB je udaljen 14 cm. Gorivni segmenti od 80% obogaćenog uranijuma u obliku uranijum dioksida su poredjani u SKON–u u dva reda. Red bliži reaktorskom sudu se sastoji od 30x10 gorivnih segmenata koji se redjaju od dna SKON–a koje se nalazi na nivou dna reaktorskog suda. Drugi red je pomeren za polovinu širine segmenta i podignut u odnosu na prvi red za polovinu visine gorivnog segmenta (5.65 cm) i sadrži 29x9 gorivnih segmenata, što ukupno čini 561 gorivni segment. Slaganjem gorivnih segmenata u SKON–u na ovaj način izbegnute su zone koje ne sadrže sloj goriva prema upadnom snopu neutrona koji izlazi iz reaktora.

Kao ulazni podaci za proračun neutronskih i gama doza, kada je iza SKON–a, u prvom slučaju postavljen ekran od gvoždja debljine 8 cm, a u drugom slučaju ekran od polietilena debljine takodje 8 cm, korišćeni su upadni spektri na SKON iz reaktora RB prikazani u radu [7], odredjeni programom MCNP, verzija 4B2. Svi proračuni su izvršeni praćenjem 20 miliona istorija neutrona i gama zraka (bez primene metoda za redukciju varijanse) što je omogućilo da se u svim izabranim energetskim grupama odrede gustine flukseva neutrona i gama zraka (koristeći "track lenght estimator") sa relativnom greškom manjom od 10%. Korišćene su biblioteka kontinualnih podataka ENDF60 [9] (bazirana na biblioteci ENDF/B–VI.2) za interakciju i transport neutrona i biblioteka MCPLIB za transport i interakciju gama zračenja. Izvor neutrona i gama zraka u programu MCNP je normiran na snagu reaktora RB od 1 W. Doze neutrona su odredjene u 55 energetskih grupa u opsegu energija od 1 meV do 20 MeV [10]. Doze gama zračenja su odredjene u 35 energetskih grupa (baziranih na sistemu VITAMIN–E, [11]) u opsegu energija od 10 keV do 15 MeV. Korišćeni su ICRP–21 faktori konverzije fluksa neutrona i gama zračenja u jačinu doze [12]. Pri odredjivanju doza gama zračenja zanemaren je doprinos gama zračenja iz reaktora RB jer je analizom rezultata u radu [7] utvrdjeno da je njihov udeo desetak puta manji od onog koji potiče direktno iz interakcija neutrona u SKON–u. Inače, CPU vreme proračuna je na personalnom računaru sa procesorom PENTIUM – AMD K6 na 166 MHz i sa memorijom od 32 MB (RAM) iznosilo oko 14200 min (9.8 dana) za slučaj

sa ekranom od gvoždja debljine 8 cm, i oko 13400 min (9.3 dana) za slučaj sa ekranom od polietilena debljine 8 cm.

REZULTATI MCNP PRORAČUNA

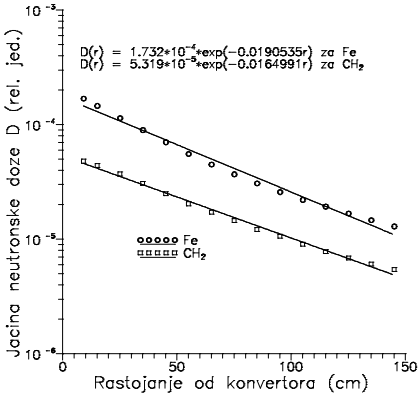
Rezultati proračuna programom MCNP, kada je neposredno iza SKON–a, u prvom slučaju postavljen ekran od gvoždja debljine 8 cm, a u drugom ekran od polietilena debljine 8 cm, su prikazani na slikama 2, 3, 4 i 5.

Na Sl.2. prikazane su zavisnosti jačine neutronske doze u relativnim jedinicama u funkciji rastojanja r [cm] od SKON–a. Fitovanjem metodom najmanjih kvadrata ova zavisnost se može aproksimativno izraziti eksponencijalnom zavisnošću, formulama:

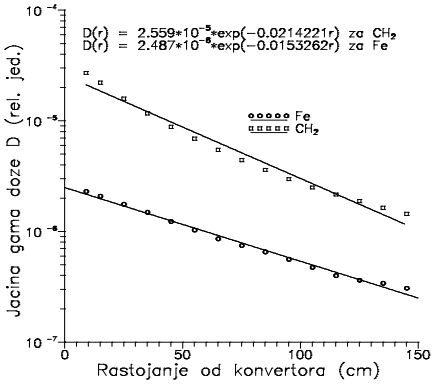
$$D_{Fe}(r) = 1.732 \bullet 10^{-4} \bullet e^{-0.0190535 \bullet r}$$

$$D_{CH_2}(r) = 5.320 \bullet 10^{-5} \bullet e^{-0.0164991 \bullet r}$$

Sa Sl.2. se vidi da je jačina neutronske doze iza ekrana od Fe oko 3 puta veća nego u slučaju sa ekranom od polietilena, pošto polietilen dobro usporava neutrone.



Slika 2. Jačina neutronske doze



Slika 3. Jačina gama doze

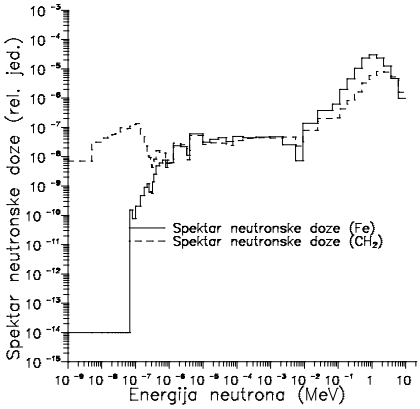
Na Sl.3. su prikazane zavisnosti jačine gama doze u relativnim jedinicama u funkciji od rastojanja r [cm] od SKON–a. Takodje fitovanjem metodom najmanjih kvadrata ova zavisnost se može aproksimativno izraziti formulama:

$$D_{CH_2}(r) = 2.559 \bullet 10^{-5} \bullet e^{-0.0214221 \bullet r}$$

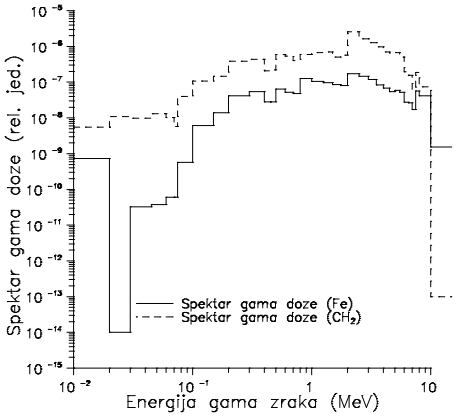
$$D_{Fe}(r) = 2.487 \bullet 10^{-6} \bullet e^{-0.0153262 \bullet r}$$

Sa Sl.3. se vidi da je jačina gama doze sa ekranom od polietilena desetak puta veća nego u slučaju ekrana od Fe, odnosno polietilen slabije štiti od gama zraka nego gvoždje.

Na Sl.4. su prikazani spektri neutronske doze u relativnim jedinicama na rastojanju 25 cm od SKON–a. Sa s like se vidi da je doprinos ukupnoj dozi brzih neutrona za oko 5 puta veći u slučaju ekrana od gvoždja nego ekrana od polietilena. U intermedijarnoj energetskoj oblasti doprinosi u ukupnoj dozi su gotovo isti, dok je u termičkoj oblasti doza neutrona zanemarljiva u slučaju ekrana od gvoždja, a u slučaju ekrana od polietilena porediva sa dozom u intermedijarnoj oblasti.



Slika 4. Spektar neutronske doze



Slika 5. Spektar gama doze

Na Sl.5. su prikazani spektri gama doze u relativnim jedinicama na rastojanju 25 cm od SKON–a. Sa slike se vidi da je doza gama zraka za oko jedan red veličine veća u slučaju ekrana od polietilena nego u slučaju ekrana od gvoždja.

ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani, proračunom odredjeni, prostorna zavisnost i spektar neutronske i gama doze iza ekrana od različitog materijala koji su postavljeni iza SKON–a. U prvom slučaju upotrebljen je ekran od Fe debljine 8 cm, a u drugom slučaju ekran od polietilena debljine 8 cm. Pokazano je da je doprinos ukupnoj dozi u slučaju ekrana od gvoždja gotovo isključivo od neutrona, dok je u slučaju polietilena doprinos ukupnoj dozi neutrona i gama zraka istog reda veličine. Pri korišćenju ekrana od gvoždja zanemarljiv je udeo termičkih neutrona u ukupnoj dozi, dok je u slučaju ekrana od polietilena gama doza za red veličine veća nego u slučaju korišćenja gvoždja.

LITERATURA

[1] D.Popović, "The Bare Critical Assembly of Natural Uranium and Heavy Water", Proc. 2nd UN Int. Conf. PUAE, Vol. 12, p. 392, Geneva (1958)

[2] P.Strugar, O.Šotić, M.Ninković, M.Pešić, "Konvertor neutrona na reaktoru RB", XXI Jug.Konf. ETAN–a, IV.3–IV.10, Banja Luka, (6–10. juna 1977)
[3] M.Ninković, O.Šotić, S.Marković, "Merenje spektra neutrona iz uranijumskog konvertora", XXII Jug.Konf. ETANa, Zadar, (12–16. juna 1978)
[4] P.Strugar, M.Ninković, J.Raičević, N.Dašić, "Neutronski konvertor sa gvozdenim ekranom", XXVII Jug.Konf. ETAN–a, V.611–V.618, Struga, (6–11. juna 1983)
[5] M.Ninković, P.Strugar, J.Raičević, "Transmisija doze fisionih neutrona kroz Fe–ekrane", XXVIII Jug.Konf. ETAN–a, VI.81–VI.88, Split, (4–8. juna 1984)
[6] J.F.Briesmeister (Ed.), "MCNP™, A General Monte Carlo N–Particle Transport Code, Version 4B – Manual", Report LA–12625–M, Los Alamos National Laboratory (March 1997)
[7] N.Dašić, M.Pešić, "Proračun spektra neutrona i fotona na izlazu iz spoljašnjeg konvertora neutrona na reaktoru RB", XLII Jug.Konf. ETRAN–a, IV.262–IV.264, Vrnjačka Banja, (2–5. juna 1998)
[8] M.Pešić, N.Dašić, "Studija kritičnosti skladišta svežeg uranijumskog goriva reaktora RB", Bilten Vinča, Vol.II, No 3, pp.140–149, (1997)
[9] J.S.Hendricks, S.C.Frankle and J.D.Court, "ENDF/B–VI Data for MCNP™", LA–12891, Los Alamos National Laboratory (December 1994)
[10] M.Milošević, "The VEGA Assembly Spectrum Code", Proc. of the YUNSC'96, pp.141–152, Belgrade (October 6–9, 1996)
[11] D.T.Igersoll et al., "Generation of Broad Group Neutron/Photon Cross Section Libraries for Shielding Applications", Proc. of ANS Topical Meeting on 'Advances on Nuclear Engineering Computation and Radiation Shielding', Vol. 1, pp.21.1–21.9, Santa Fe NM (April 9–13, 1989)
[12] ICRP Committee 3 Task Group, P.Grande and M.C.O'Riordan, chairmen, "Data for Protection Against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15", ICRP–21, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press (April 1971).

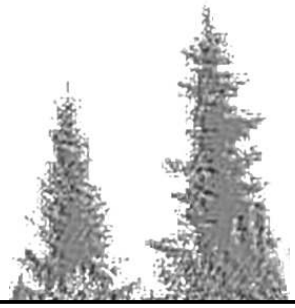
ABSTRACT

SPACE DEPENDENCE OF NEUTRON DOSE RATES FROM THE EXTERNAL NEUTRON CONVERTER

N. Dašić, M. Pešić
Institute of Nuclear Sciences Vinca, NET-150, Belgrade

The knowledge of neutron and gamma doses from the External neutron converter (ENC) is necessary for variety studies in dosimetry, radiation protection and irradiation of samples in determined neutron and gamma fields. Considering that the dose measurements in these fields are complicated, their previous calculation, by using any of the referent computer codes, simplifies the job. In this paper, space dependence of dose rates behind the ENC was calculated using MCNP code based on Monte Carlo techniques in radiation transport modelling.

5



INSTRUMENTACIJA

GOVORNE PORUKE PRIDRUŽENE MONITORU GAMA ZRAČENJA PC-RM

M.Bolić, A.M.Koturović
INN „Vinča“, Laboratorija za elektroniku, Beograd

SADRŽAJ

Mogućnosti monitora gama zračenja na bazi personalnog računara PC-RM ostvarenog u Laboratoriji za elektroniku, Instituta Vinča, proširene su uvodjenjem govornih poruka. Dato je uvodno razmatranje o govornim porukama koje može i treba da emituje instrument te vrste. Prikazani su problemi realizacije uopšte, i dat princip realizovanog rešenja. Razmatra se kritički i primenjivost ovog tipa instrumenta.

UVOD

Savremena digitalna elektronika omogućava jednostavno trajno uskladištenje željenih govornih poruka u odgovarajući memorijski medijum, i njihovu isto tako jednostavnu, reprodukciju koja se može proizvoljno ponavljati. Ako se te mogućnosti kombinuju sa odgovarajućim digitalnim mernim instrumentom, tada se ostvaruje instrument koji može rezultate merenja da daje u vidu izgovaranja odgovarajućih brojeva i mernih jedinica što daje punu govornu informaciju o merenoj veličini. Takav pristup je našao već primenu i u aparatima šire potrošnje: časovnicima, vagama i sl.

Smatralo se interesantnim, ali i opravdanim, da se monitoru gama zračenja na bazi personalnog računara PC-RM razvijenom u Laboratoriji za elektroniku Instituta “Vinča” 1997. godine [1], takva govorna mogućnost sada pridruži i takvom ostvarenju je upravo posvećen ovaj rad.

U radu se na prvom mestu daje razmatranje o mogućem i opravdanom uvodjenju govornih poruka u standardni stacionarni monitor gama zračenja kakav je PC-RM. U tom razmatranju su uzeti u obzir namena ovoga monitora i njegove karakteristike, ali se posmatraju i drugi relevantni činioci da bi se izvršio izbor poruka i on opravdao. Sledeće poglavlje razmatra probleme tehnike realizacije postavljenog zadatka za monitor PC-RM, a na bazi korišćenja personalnog računara. Naredno poglavlje prikazuje ostvareno rešenje detaljnije dajući i njegove karakteristike. Na kraju u zaključku iznosi se kritičko gledište primenljivosti ovakvog instrumenta sa govornim porukama.

RAZMATRANJE O IZBORU PORUKA

Polazna činjenica, koju treba uzeti u obzir, jeste da je PC-RM monitor gama zračenja na bazi personalnog računara merno sredstvo pogodno za kontrolu nivoa zračenja

u radnim i javnim objektima, stambenim objektima i u okolini. Njegova orijentisanost ka opštoj nameni i karakteristika da može da meri jačinu ekspozicione doze od nivoa fona do 10 mGy/h opredeljuje nas da kao poruke koje će mu biti pridružene izaberemo najjednostavnije rešenje a to je da to budu samo izgovoreni numerički rezultati izmerenih vrednosti zajedno sa korišćenom mernom jedinicom. Time se izbegava izbor nekih posebnih poruka koje ne bi odgovarale u svim situacijama i u svim primenama.

Glavna namena monitora gama zračenja PC-RM jeste da služi kao nadzorni instrument. Zbog toga poruke o rezultatima koje će se davati ograničavamo na opseg od nivoa fona do nivoa zračenja od 10 μGy/h. Za nivoe iznad toga instrument zadržava, razume se, svoje monitorske funkcije ali u svrhu dozimetrijskih merenja za zaštitu od zračenja bi trebalo tada obezbediti posebnu instrumentaciju pa se i emitovanje govornih poruka o rezultatima ne smatra celishodnim. Jedina poruka koja se za tu oblast može predvideti jeste da je izmerena jačina ekspozicione doze iznad 10 μGy/h.

U oblasti merenja u kojoj se predvidja da monitor daje govorne poruke mogu se razlikovati dva načina rada. Prvi način rada pretpostavlja da se monitor koristi za kontinualno praćenje nivoa radioaktivnosti tj. jačine ekspozicione doze na radnom mestu u radnoj prostoriji, gde se u toku rada očekuje da može doći do povećanja radioaktivnosti što treba pravovremeno uočiti i brzo reagovati. U tom cilju govorne poruke o izmerenim rezultatima moraju se davati sa dovoljnom učestanošću. Za periodu ponavljanja poruka usvaja se 5 do 8 sekundi, što obezbedjuje da poruka može da bude razumljivo izgovorena i da postoji potrebna pauza za njeno poimanje. Sa druge strane izabrana periodičnost obezbedjuje i pravovremeno reagovanje koje se za mereni nivo do 10 μGy/h meri vremenom odziva instrumenta koje treba da je reda nekoliko sekundi. Korisnik u tom slučaju može da radi osnovni posao, pri čemu ne treba da pravi prekide da bi video prikazivanje monitora zračenja, već tu informaciju dobija slušajući govorne poruke. One se u tom načinu rada mogu smatrati radnim porukama jer određuju svojim sadržajem šta će korisnik uzimajući ih u obzir dalje raditi. Drugi način rada za koji treba da odredimo učestanost pojavljivanja poruka je situacija kada se monitor PC-RM koristi generalno u svrhu nadzora okoline. Tada poruke koje se očekuju nisu više radnoga tipa već treba da služe samo obaveštavanju o tekućoj situaciji. Zbog toga učestanost pojavljivanja poruka može i treba da bude daleko manja, sigurno sa pojavljivanjem poruka u razmaku od više minuta. Taj razmak može da se podesi na period od 5 do 30 minuta.

Treba naglasiti da uvodjenjem govornih poruka nijedna od funkcija monitora gama zračenja PC-RM ne prestaje niti se ometa, što je konceptualno usvojeno kao nedopustivo. Zbog toga u oba gore definisana načina rada kada se dostigne alarmni nivo postavljen u monitoru PC-RM, govorne poruke prestaju da se emituju, a javlja se standardni zvučni i optički signal alarma. Tada se postupa po propisima i merama definisanim u domenu zaštite od zračenja za tu situaciju, a ta procedura treba da je uvežbana i svaka govorna poruka bi mogla unositi neodredjenosti i zabunu.

PRINCIPI REALIZACIJE SISTEMA ZA REPRODUKCIJU GOVORA

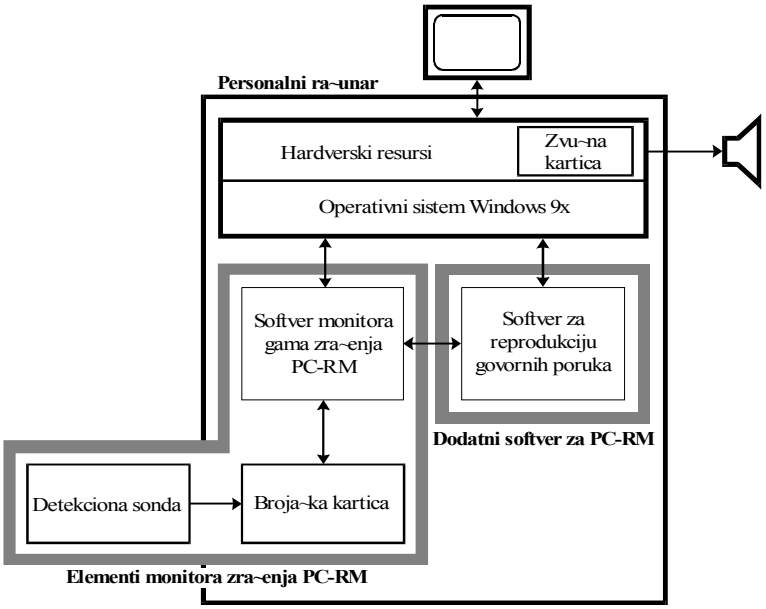
Instrumenti na bazi personalnog računara koriste procesorsku moć savremenuh računara, njihovu memoriju, prednosti otvorene arhitekture, kao i mogućnosti vizuelne i audio prezentacije. Na taj način moguće je izvršiti proširenje skupa funkcija kao i poboljšanje funkcija instrumenata na bazi personalnog razunara u odnosu na klasične instrumente. Proširenje i poboljšanje funkcija odnosi se i na reprodukciju govora tako da je

u odnosu na klasične instrumente, kvalitet reprodukovanog govora bolji, a stepen inžinjerskog napora značajno manji. Za reprodukciju i snimanje govora kod intrumenata na bazi personalnog računara obezbeđena je potpuna softverska i hardverska podrška korišćenjem multimedijalnih resursa koji su sastavni element personalnog računara.

Razmatranje o principima realizacije sistema za reprodukciju govora se odnosi na instrumente bazirane na personalnom računaru koji sadrži elemente standardne multimedijalne opreme (zvučna kartica, zvučnici i odgovarajući softver) i radi pod operativnim sistemom Windows 95/98. Ograničenje koje se uvodi je da je skup poruka koje se izgovara unapred i fiksno definisan i relativno mali (do 100 poruka). Od broja poruka, njihove dužine i kvaliteta snimka zavisi koliko je zauzeće memorijskih resursa. Pomenuta ograničenja su realna i susreću se kod najvećeg broja instrumenata. Na osnovu postavljenih ograničenja, generisanje govora se svodi na problem reprodukcije govora za koji postoje već razrađeni alati i algoritmi mnogo jednostavniji nego za slučaj sinteze govora koji se zbog toga ovde ne posmatra.

Operativni sistem Windows 95/98 podržava više tipova audio servisa i u okviru njih veliki broj funkcija za reprodukciju i snimanje govornih poruka. Za potrebe instrumentacije bazirane na personalnom računaru izabrane su funkcije najjednostavnijeg audio servisa - talasnog audio servisa (*waveform audio service*) [2]. Funkcije su visokog nivoa i omogućavaju reprodukciju zvuka pozivom samo jedne funkcije.

Snimanje govornih poruka vrši se jednokratno i uređaj se isporučuje sa unapred definisanim skupom poruka. Rad programa se zasniva na pozivanju odgovarajuće snimljene poruke. Poruke koje se izgovaraju mogu da budu snimljene u segmentima tako da više poruka može da se kombinuje u jednu koja se izgovara. Kombinovanje poruka se vrši radi uštede memorijskog prostora. Izgovaranje poruka ne ometa i ne usporava rad instrumenta.



Slika 1. Blok šema monitora gama zračenja PC-RM
kome su dodate mogućnosti reprodukcije govornih poruka

Monitor gama zračenja PC-RM, kome su dodate mogućnosti reprodukcije govornih poruka, sastoji se od hardverskih elemenata koje čine detekciona sonda i brojačka kartica i potrebnog softvera, kao što je prikazano je na slici 1. Softver za reprodukciju govornih poruka predstavlja dodatak koji je implementiran u softver monitora gama zračenja PC-RM.

DODAVANJE GOVORNIH PORUKA MONITORU ZRAČENJA PC-RM

Softver za reprodukciju govornih poruka je realizovan na bazi razmatranja iz poglavlja 2. Govorne poruke se koriste za izražavanje trenutnih vrednosti brzine ekspozicione doze. Brzina ekspozicione doze se izgovara kao racionalan broj zaokružen na dve decimale. Glavni program u definisanim vremenskim intervalima prenosi vrednost brzine ekspozicione doze u potprogram u kome se vrši izgovaranje. Grafički korisnički interfejs monitora gama zračenja PC-RM je proširen panelom na kome se mogu podešavati opcije vezane za reprodukciju govornih poruka. Prva opcija koja se može izabrati je da li će se generisati govorne poruke ili ne. U režimu rada sa generisanjem govornih poruka mogu se izabrati dva načina rada: način rada sa generisanjem radnih poruka i način rada sa generisanjem obaveštavajućih poruka. U radu sa generisanjem obaveštavajućih poruka vrši se izbor učestanosti pojavljivanja poruka u intervalu od 5 do 30 min. Pri pojavljivanju poruke, poruka se emituje dva puta: prvi put da bi se skrenula pažnja, a drugi put da bi se u potpunosti razumela. U načinu rada sa generisanjem radnih poruka, perioda pojavljivanja poruka je fiksno definisana i iznosi 8s.

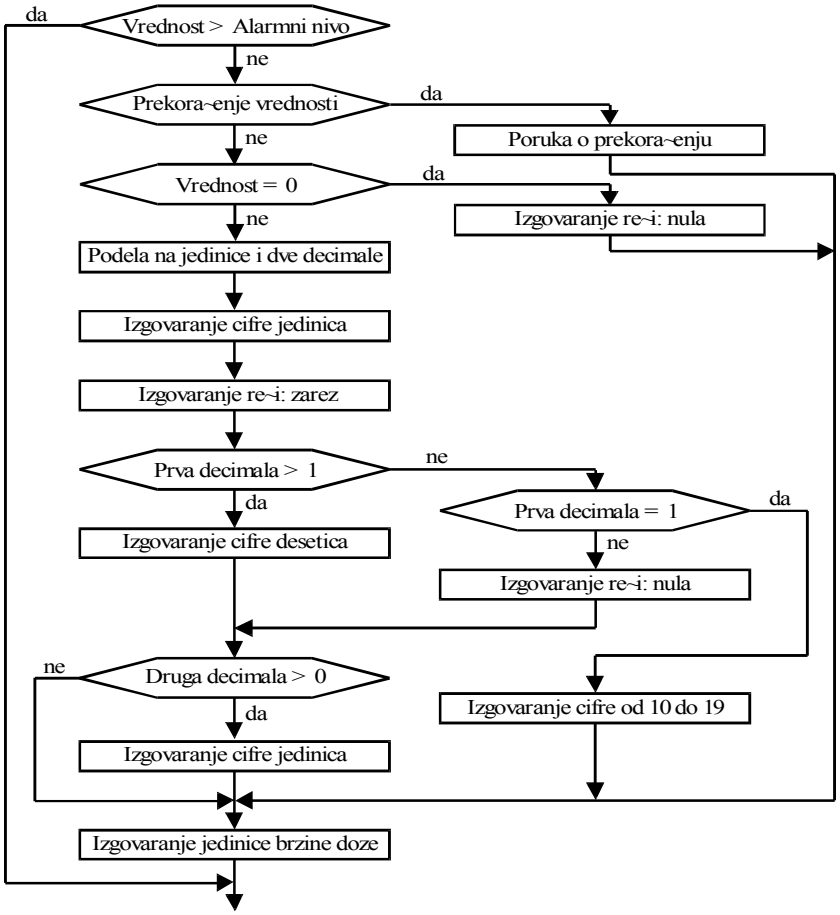
Podešeni parametri govornih poruka se pamte i po ponovnom pokretanju program počinje da radi po poslednje definisanim parametrima. Ukoliko računar na kome je instaliran monitor zračenja ne sadrži zvučnu karticu ili odgovarajuće drajvere za zvučnu karticu, program onemogućava podešavanje parametara koji se odnose na govor.

Poruke koje se izgovaraju predstavljaju brojne vrednosti brzine ekspozicione doze. Svaka govorna poruka je snimljena kao zasebna datoteka u *wave* formatu. Poruke mogu biti: poruke koje se odnose na cifre jedinica i desetica, poruka koja se odnosi na izgovor merne jedinice brzine ekspozicione doze, na izgovaranje reči “zarez” i poruka o prekoračenju. Ovo čini ukupno 31 poruku i zauzima 1.2Mb memorije. Konačna izgovorena poruka se dobija kombinacijom snimljenih poruka.

Na slici 2 prikazan je dijagram toka programa koji se koristi za formiranje poruke koju treba izgovoriti. Dijagram se odnosi samo na formiranje govorne poruke za izgovaranje vrednosti brzine ekspozicione doze u μGy/h. Uočimo da alarm ima prednost u odnosu na govorne poruke, tako da se poruke ne izgovaraju dok je alarm aktivan. Broj koji treba izgovoriti razlaže se na cifre jedinica i na dva decimalna mesta i po redu se izgovara poruka koja se odnosi na svaku cifru. Između cifre jedinica i prvog decimalnog mesta izgovara se reč zarez. Na kraju, izgovara se merna jedinica brzine ekspozicione doze koja je izabrana.

Za reprodukciju snimljenih poruka koristi se funkcija talasnog audio servisa *sndPlaySound* [2]. Da se funkcionisanje instrumenta ne bi zaustavilo dok traje izgovaranje poruke neophodno je da se koristi asinhroni način rada ove funkcije. U asinhronom načinu rada, funkcija *sndPlaySound* vraća kontrolu programu na početku generisanja zvuka, tako je neophodno programski kontrolisati da li je završena reprodukcija jedne poruke da bi se moglo krenuti sa reprodukcijom sledeće. Da bi reprodukcija poruke mogla da se izvši, funkcija *sndPlaySound* poziva datoteku u kojoj je snimljena odgovarajuća poruka. Imena datoteka su smeštena u odgovarajuće nizove, tako da na primer cifra stotina predstavlja

indeks niza u kome su smeštena imena datoteka sa porukama koje se odnose na cifre stotina.



Slika 2. Dijagram toka programa koji se koristi za formiranje poruke za brzinu ekspozicione doze u μGy/h

Program za monitor gama zračenja PC-RM kao i dodatak programa koji se odnosi na generisanje govornih poruka realizovani su u programskom paketu LabWindows/CVI [3]. Ovaj programski paket podržava funkcije talasnog audio servisa.

ZAKLJUČAK

Kako je pokazano, za pridruživanje govornih poruka monitoru gama zračenja PC-RM bilo je potrebno samo nadograditi odgovarajući softver u već postojeću softversku strukturu personalnog računara, što znači dodati već postojećem softverskom paketu za PC-

RM još jednu softversku strukturu. U opšem slučaju to može da se definiše kao opcija koja se obezbeđuje odmah uz PC-RM ili se isporučuje naknadno preko novog CD ROM-a pomoću kojeg se taj potreban dodatni softver instalira naknadno. Ovo znači da je uvođenje govornih poruka za korisnika jednostavno. Izbor usvojenih poruka u ostvarenom rešenju je jedna univerzalna mogućnost, međutim po želji korisnika skup poruka može da bude drukčije strukture, što može da menja algoritam po kome se poruke formiraju ali ne mora da unosi značajne probleme u realizaciji.

Iako uvođenje govornih poruka donosi određene pogodnosti, ne može se smatrati da se time može zameniti dozimetrista ako rizičnost rada preko propisa o zaštiti od zračenja predviđa njegovo prisustvo. Sa druge strane, treba uočiti da je korišćenje govornih poruka moguće samo u sredinama u kojima se ne predviđa pojava buke. Buka bilo koje vrste mogla bi da ometa razumljivost poruka pa i da ih učini potpuno nečujnim. No, bez obzira na ove nedostatke, u mnogim situacijama govorne poruke mogu da budu vrlo korisne i upotrebljive, donoseći poboljšan radni konfor i povećavajući sigurnost.

LITERATURA

[1] Drndarević V., Bolić M., Spasojević S., Samardžić B., Monitor zračenja na bazi personalnog računara, Zbornik radova, XIX Jug. simp. za zaštitu od zračenja, Golubac, Jun 1997, str. 81-85.

[2] Microsoft Corporation, Microsoft Win32 Software Development Kit, Browser Version 2.51, 1995.

[3] National Instruments, Reference and Catalogue, 1998, Austin, Texas.

ABSTRACT

RADIATION MONITOR PC-RM WITH SPOKEN MESSAGES

M. Bolić, A. Koturović
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

The possibilities of radiation monitor PC-RM, based on the use of a personal computer, developed in the Electronic Department of the Vinča Institute have been extended by an introduction of spoken messages. An introductory consideration concerning spoken messages that should be generated by an instrument of this type is given. The presentation is given of the general problems associated with this realization together with the details of the principles of the realized solution. An evaluation of the applicability of this type of the instrument is included.

MERAČ POVRŠINSKE KONTAMINACIJE BETA ZRAČENJA

V. Drndarević, B. Samardžić, M. Bolić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

U radu je opisan novi merač površinske kontaminacije pogodan za primenu u radioizotopskim laboratorijama i u nuklearnoj medicini. Uređaj je kalibrisan za merenje površinske kontaminacije većeg broja radionuklida, a prikaz rezultata merenja vrši se u jedinicama Bq·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, istovremena precizna cifarska i analogna indikacija rezultata i kontinualna promena vremena merenja.

UVOD

Kontrola površinske kontaminacije smatra se jednom od najvažnijih mera za efikasnu zaštitu od zračenja. Zlatno pravilo pri radu u radioizotopskim laboratorijama je da radne površine i predmeti budu čisti u najvećoj mogućoj meri. Pri tom, ne dopušta se bilo kakva kontaminacije delova tela osoblja. Za obezbeđenje visokog kvaliteta rada i zaštite od zračenja u laboratorijama i medicinskim ustanovama koje u radu koriste radioaktivne supstance mora se raspolagati odgovarajućim instrumentom za detekciju i merenje kontaminacije.

Merač kontaminacije RMK-10N predstavlja instrument pogodan za preciznu kontrolu kontaminacije površina i predmeta u nuklearnoj medicini i radioizotopskim laboratorijama. Zahvaljujući programabilnoj mikroprocesorskoj strukturi instrumenta ostvareno je niz novih i veoma korisnih funkcija u poređenju sa sličnim, starijim tipom merača kontaminacije RMK-10 [1]. Novi merač kontaminacije RMK-10N sadrži memorisane kalibracione faktore za radionuklide ^{14}C, ^{147}Pm, ^{36}Cl i ^{90}Sr-^{90}Y, te se rezultat merenja prikazuje direktno u jedinicama površinske kontaminacije Bq·cm^{-2}. Kada se merenje obavlja u uslovima konstantnog fona, može se koristiti funkcija automatske korekcije rezultata merenja na fon. Na taj način greška merenja može se značajno smanjiti, odnosno pomeriti granica merljive površinske aktivnosti.

PRINCIP RADA

Za detekciju površinske kontaminacije izabran je *GM* detektor oblika *pan-cake*, velike površine prozora, koji je veoma efikasan za detekciju beta zračenja. Izbor detektora ovog tipa predstavlja ekonomično rešenje, dobrih mernih karakteristika. Pri tom, korisnik

se oslobađa obaveze održavanja detektora, koje su karakteristične za u novije vreme dosta korišćene detektore površinske kontaminacije 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.

Pri merenju radioaktivnosti, uopšteno gledano, veoma je važno da se dobije rezultat sa najmanjom mogućom greškom. Imajući u vidu da je merena radioaktivnost, u datim uslovima, srazmerna brzini brojanja detektora, statistička greška merenja svodi se na statističku grešku merenja brzine brojanja. Polazeći od toga da je brzina brojanja koja potiče iz izvora radioaktivnosti data kao:

$$r = \frac{G}{t_G} - \frac{B}{t_B}, \tag{1}$$

pri čemu je G ukupan broj impulsa registrovan u vremenu t_G a B broj impulsa koji je posledica fona registrovan u vremenu t_B, lako se dolazi do izraza za standardnu grešku brzine brojanja izvora zračenja [2]:

$$\boxed{}\,. \tag{2}$$

Iz izraza (2) može se zaključiti da će do redukovanja greške merenja doći smanjenjem fona tj. odnosa $b=B/t_B$. S obzirom da brzina brojanja fona predstavlja inherentnu karakteristiku detektora, na nju se ne može značajnije uticati kod detektora namenjenih merenju površinske kontaminacije. Međutim, ako se pođe od pretpostavke da se fon ne menja i ako se fon izmeri u dovoljno dugom vremenskom intervalu t_B, greške merenja svodi se na:

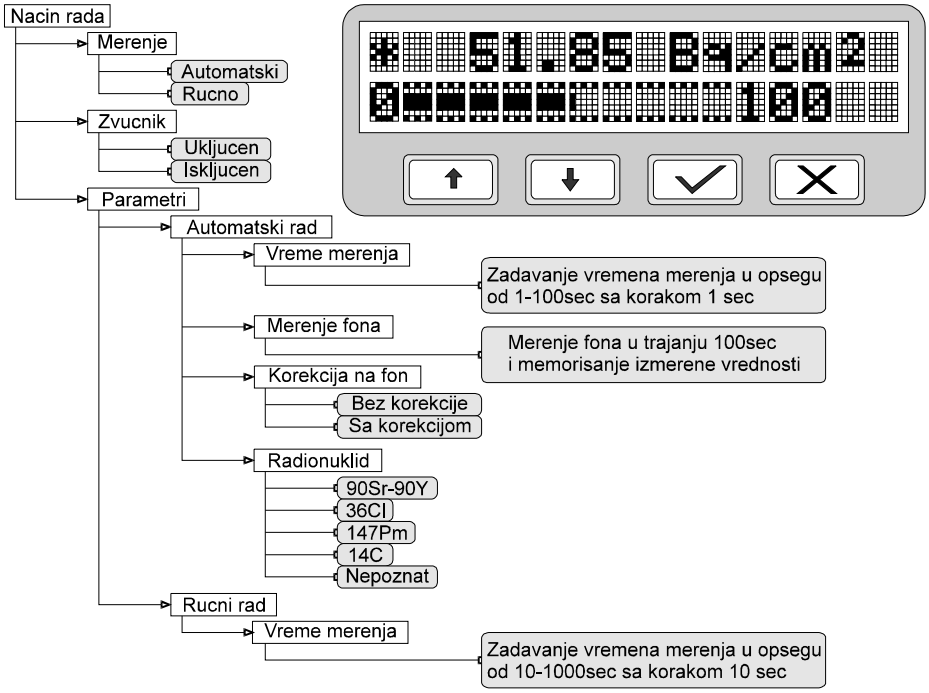
$$G_r \approx \sqrt{\frac{G}{t_G^2}}\,. \tag{3}$$

Izloženi postupak redukcije greške merenja implementiran je kod novog merača kontaminacije RMK-10N, tako da korisniku stoji na raspolaganju funkcija merenja površinske kontaminacije sa automatskom korekcijom rezultata na fon. Merenje fona moguće je obaviti u svakom trenutku, a izmerena vrednost ostaje zapamćena. Ova i druge funkcije novog merača kontaminacije ilustrovane su na dijagramu funkcionisanja instrumenta sa slike 1.

Po uključenju, instrument radi na način kako je radio pre poslednjeg isključenja, odnosno po parametrima koji su trajno memorisani. Za promenu načina rada merača, odnosno za upis novih parametara rada potrebno je u bilo kom trenutku pritisnuti taster označen sa X, pomoću tastera ↑ ili ↓ izabrati željenu funkciju ili parametar, a pomoću tastera sa oznakom ✓ potvrditi izbor. Pri tom, naziv funkcije ili parametra koji se postavlja ispisani su na displeju.

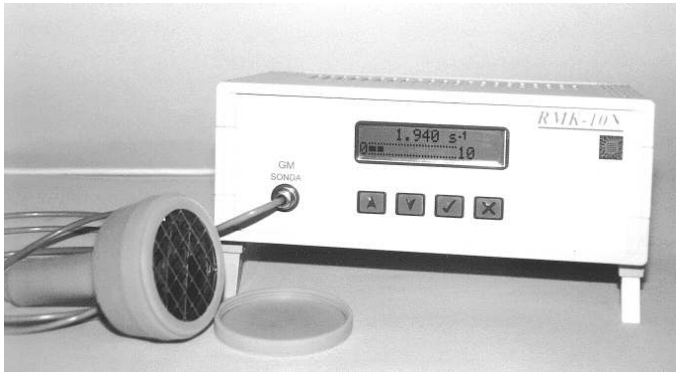
Instrument može da radi automatski ili ručno. U automatskom režimu rada rezultat se dobija kontinualno, svake sekunde. On predstavlja srednju vrednost skupa rezultata jednosekundnih merenja u zadatom vremenskom intervalu. Vreme merenja u automatskom radu može biti od 1 do 100s. U ručnom režimu rada početak rada se inicira

ručno, a rezultat merenja je broj registrovanih impulsa i prosečna brzina brojanja u predodređenom vremenskom intervalu. Vreme merenja može biti od 10 do 1000s.



Slika 1. Funkcije merača kontaminacije

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 .



Slika 2. Izgled merača kontaminacije RMK-10N

KONSTRUKCIJA

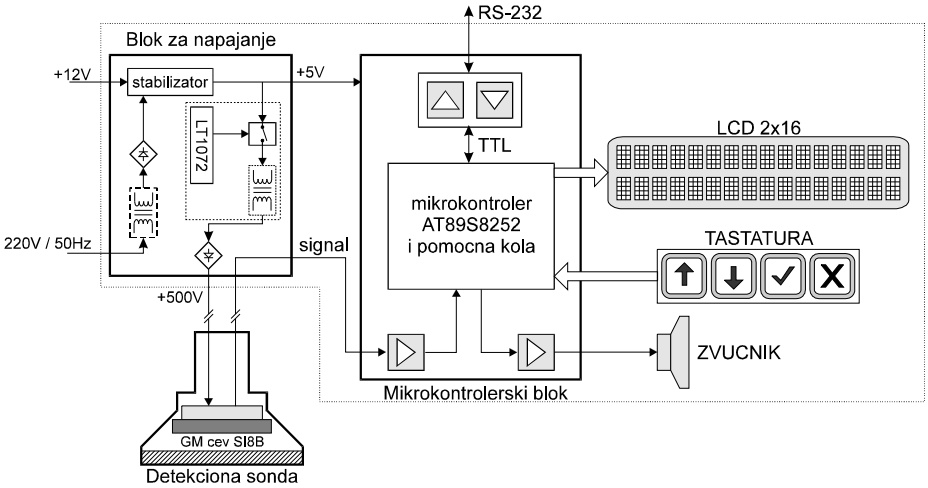
Instrument RMK-10N sastoji se od detekcione sonde S8, identične onoj korišćenoj kod merača kontaminacije RMK-10, i mernog dela, međusobno povezanih kablom (slika 2). Napajanje instrumenta vrši se iz gradske mreže ili iz baterije napona 12V.

Detekciona sonda, koja je izrađena od plastike, pogodna je za rukovanje ili postavljanje na stalak. Prozor *GM* brojača zaštićen je od mehaničkih oštećenja laganom čeličnom mrežom. Radni napon detektor dobija iz izvora visokog napona realizovanog korišćenjem savremenog prekidačkog *dc-dc* konvertora na bazi *LT1072* kontrolera sa impulsnom širinskom modulacijom. Modul za napajanje, pored visokog napona za detektor, obezbeđuje i napajanje mikroprocesorskog dela instrumenta.

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 8kB. Parametri vezani za način rada instrumenta trajno se pamte u memoriji tipa E^2PROM, koja je takođe sastavni deo kontrolera. Kontroler raspolaže brojačima-tajmerima koji su iskorišćeni za brojanje impulsa i merenje vremena.

Korisnik kompletno upravljanje instrumentom vrši uz pomoć samo četiri tastera i alfanumeričkog displeja kapaciteta 2 reda po 16 karaktera. Izbor režima i parametara rada obavlja se uz pomoć raspoloživih tastera, interaktivno, na osnovu poruka koje se pojavljuju na displeju, kao što je to ilustrovano na slici 1.

Cifarska indikacija rezultata omogućuje precizno merenje lokalizovane kontaminacije. Paralelno, rezultat merenja se prikazuje i u klasičnoj analognoj formi, u vidu bar-grafa. Analogna indikacija rezultata pomoću široko korišćenog i jeftinog *LCD* alfanumeričkog displeja predstavlja nestandardno ali veoma ekonomično rešenje. Ovaj detalj može poslužiti kao primer inventivnosti u realizaciji funkcije prikazivanja rezultata merenja.



Slika 3. Blok šema merača kontaminacije

Svaki od impulsa koje daje detektor može da se registruje i zvučno. Ova mogućnost može biti od pomoći pri otkrivanju odnosno lokalizaciji kontaminacije. Za povezivanje merača na personalni računar na raspolaganju stoji standardni RS-232 interfejs. Na slici 3. data je blok šema merača kontaminacije.

MERNE KARAKTERISTIKE

Merne karakteristike instrumenta usko su povezane sa mernim karakteristikama upotrebljenog detektora. Detektor SI8B [3] ima sopstveni fon manji od $2s^{-1}$, efikasnost detekcije beta zračenja od 50 do 85% i osetljivost na gama zračenje od $10s^{-1}/\mu Sv \cdot h^{-1}$ do $14s^{-1}/\mu Sv \cdot h^{-1}$. Najveća brzina brojanja detektora iznosi $4420s^{-1}$, a najveća dozvoljena brzina doze $3Sv \cdot h^{-1}$. Masa prozora detektora po jedinici površine iznosi $4mg \cdot cm^{-2}$. S obzirom da se preporučuje da debljina prozora detektora beta zračenja ne prelazi $50mg \cdot cm^{-2}$, a za detekciju radionuklida kao što su ^{14}C i ^{35}S debljina prozora ne sme da pređe $5mg \cdot cm^{-2}$ [4], 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 [5].

Tabela 1. Osetljivost na površinsku aktivnost pri rastojanju izvor-detektor 1cm

RADIONUKLID	E_{max} (keV)	OSETLJIVOST ($s^{-1}/Bq \cdot cm^{-2}$)
^{14}C	155	3.7
^{147}Pm	225	6.8
^{36}Cl	714	14.9
^{90}Sr-^{90}Y	546(50%) 2274(50%)	15.3

LITERATURA

[1] Koturović A., Kosić P., Karakteristike i mogućnosti monitora kontaminacije RMK-10, Zbornik XX Jugoslovenska konferencija za zaštitu od zračenja, Novi Sad, 1987., str. 433-436.
[2] Nicholas Tsonlfanidis, Measurement and Detection of Radiation, McGrawHill, 1983.
[3] Nuclear Radiation Counters, Techsnabexport, Moskva, 1976.
[4] Alpha, beta and alpha-beta contamination meters and monitors, IEC Recommendation, Publication 325, First edition, 1970.
[5] Dragica Paligorić, Ispitivanje radiometrijskih karakteristika detekcione sonde S8, Institut za nuklearne nauke Vinča, Interni izveštaj, 1987.

ABSTRACT

BETA SURFACE CONTAMINATION METER

V. Drndarević, B. Samardžić, M. Bolić
Institute of Nuclear Sciences Vinca, Belgrade

New beta surface contamination meter convenient for radionuclide laboratories and nuclear medicine 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, continuous measuring time setting and simultaneous digital and analog indication have been achieved.

EPR DOZIMETRIJA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA: ISPITIVANJE NOVIH TIPOVA DOZIMETARA NA BAZI ALKALNIH SULFATA DOPIRANIH LANTANIDIMA

J. Petković, I. Mladenović, A.S.Nikolić[1], B. Babić-Stojić[2], G. Bačić
Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu,
[1] Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu,
[2] Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Ispitivana je upotrebljivost alkalnih sulfata dopiranih lantanidima ($K_3Na(SO_4)_2$) kao novog tipa dozimetara u dozimetriji jonizujućeg zračenja upotrebom EPR spektrometrije. Ispitivanja ozračenih uzoraka koji su sadržavali različite lantanide (Y, Ln, Gd) su pokazala da se najosetljiviji dozimetri dobijaju upotrebom $Y_2(SO_4)_3$. Istraživani su i različiti načini dopiranja i nađena je optimalna procedura pravljenja dozimetara. Zavisnost EPR signala ozračenih dozimetara od apsorbovane doze je bio linearan u opsegu 20 – 200 Gy.

UVOD

EPR (elektronska paramagnetna rezonancija) dozimetrija na bazi alaninskih dozimetara se rutinski koristi u industrijskoj dozimetriji i predmet je dugogodišnjeg ispitivanja u cilju njihove upotrebe kao standardnog dozimetra [1,2]. Dozimetri su zasnovani na merenju slobodnih radikala stvorenih zračenjem alanina. Oni imaju višestruke prednosti nad Fricke-ovim dozimetrima: a) čvrstog su agregatnog stanja, tako da je onemogućena rekombinacija slobodnih radikala, što omogućava transfer dozimetara i višekratno čitanje i nakon dužeg vremena; b) odgovor dozimetra je linearan do 50 kGy, što je daleko iznad gornje granice za Fricke dozimetre; c) Fricke dozimetri ne pokazuju linearnu zavisnost koncentracije Fe^{3+} jona od apsorbovane doze za čestice visokog LET-a zbog rekombinacije radikala unutar traga čestica [3]; d) zbog velike pokretljivosti Fe^{3+} jona u Fricke-ovom rastvoru, nemoguće je dobiti dubinsku distribuciju doze u toku jednog akta zračenja, što je moguće postići alaninskim dozimetrima poređanim u sendvič [4]. Nedostatak alaninskih dozimetara je njihova mala osetljivost za doze ispod 2 Gy, što potiče od prisustva EPR signala radikala u neozračenom materijalu koji se neizbežno stvaraju u toku pripreme uzorka. Ovo ne predstavlja problem u industrijskoj dozimetriji, ali je važno u EPR dozimetriji terapijskih doza zračenja gde su tipične doze oko 2 Gy. Preliminarni rezultati ispitivanja sasvim novog tipa dozimetara na bazi sulfata lantanida u matriksu $K_3Na(SO_4)_2$, kod kojih zračenje stvara SO_3^- radikal [5], ukazali su da imaju veću osetljivost na malim dozama, zadržavajući sve prednosti alaninskih dozimetara. Cilj ovog rada je bio da se ispitaju metode pripremanja i mogućnosti ovih EPR dozimetara.

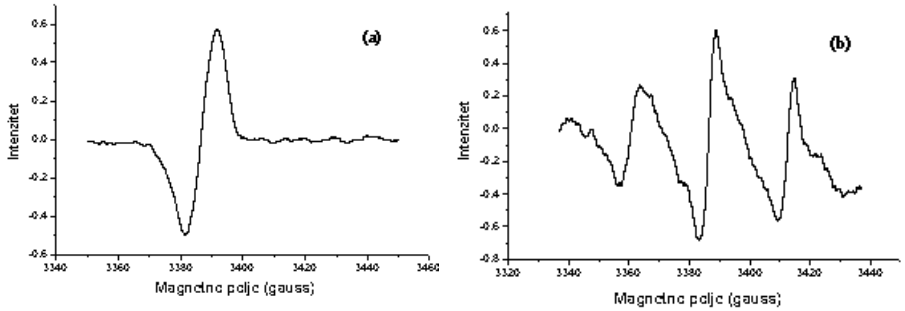
MATERIJAL I METODE

Praškasti dozimetri na bazi lantanida su pravljeni od oksida ili sulfata jednog od lantanida (Y, La, ili Gd) stopljenog u matriks $K_3Na(SO_4)_2$ na 750^0C u atmosferi argona. Količina lantanida u matriksu je iznosila 0,075-0,15 molskih procenata [5]. Film dozimetri su pravljeni jedino od $Y_2(SO_4)_3$ u matriksu $K_3Na(SO_4)_2$, jer se pokazao kao najosetljiviji na zračenje. Ovaj prah je stapan sa polietilenom (60/40 % mas.) na 190^0C i presovan u ploče debljine 0,3 mm iz kojih su isečeni dozimetri dimenzija 5x10 mm. Alaninski dozimetri su pravljeni od smese α-alanina i polietilena (50/50 % mas.) stopljene na 170^0C.

Ozračivanje dozimetara vršeno je na izvoru γ-zračenja ^{60}Co. Za snimanje spektara uzoraka korišćen je Varian E-line EPR spektrometar (X band, 9,5 GHz). EPR signal je meren kao maksimalni intenzitet linije od pika do pika (sl. 1a).

REZULTATI

EPR merenja ozračenog praha oksida lantanida u matriksu $K_3Na(SO_4)_2$ (sl. 1a) su pokazala da Y-dopirani prah daje intenzivniji EPR signal od La-dopiranog, dok je EPR signal SO_3^- radikala u Gd-dopiranom prahu bio prekriven širokom linijom koja verovatno potiče od gadolinijuma. Koristeći ove uzorke nađeni su optimalni uslovi snimanja EPR spektra SO_3^- radikala: modulaciona amplituda 5 gauss-a i mikrotalasna snaga 20 mW.



Slika 1. EPR spektri radikala u ozračenim dozimetrima (apsorbovana doza = 100 Gy).
(a) Y_2O_3 dopirani matriks $K_3Na(SO_4)_2$. (b) alanin.
Intenziteti su u arbitrarnim jedinicama i nisu korigovani
na instrumentalno pojačanje i masu uzorka.

U cilju dobijanja dozimetara sa što većom osetljivošću ispitani su oksidi i sulfati La i Y u matriksu $K_3Na(SO_4)_2$. Od ovih dozimetara najosetljiviji je dozimetar dopiran $Y_2(SO_4)_3$ (Tabela 1).

Ispitani su različiti postupci ugrađivanja $Ln_2(SO_4)_3$ (Ln = La, Y) u strukturu matriksa i utvrđeno je da se najosetljiviji dozimetri dobijaju homogenizovanjem K_2SO_4, Na_2SO_4 i $Ln_2(SO_4)_3$ u acetonu, koji se upari sušenjem u sušnici na 70^0C. Smeša se žari na 750^0C u struji argona, homogenizuje u ahatnom mlinu i ponovo žari na 800^0C.

Tabela 1. Intenziteti EPR signala (arbitrarne jedinice, korigovane na masu uzorka i instrumentalno pojačanje) u ozračenom matriksu $K_3Na(SO_4)_2$ dopiranom oksidima i sulfatima Y i La.

	20 Gy	100 Gy
$Y_2(SO_4)_3$	$7{,}9\cdot10^{-5}$	$26{,}7\cdot10^{-5}$
$La_2(SO_4)_3$	$0{,}54\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-5}$
Y_2O_3	$7{,}56\cdot10^{-5}$	$15{,}5\cdot10^{-5}$
La_2O_3	$2{,}62\cdot10^{-5}$	$9{,}01\cdot10^{-5}$

Nezavisno od načina pripreme i polaznog jedinjenja lantanida (oksid ili sulfat) ni kod jednog od neozračenih uzoraka nije detektovan EPR signal, što je prednost u odnosu na alaninske dozimetre. Odgovor dozimetra je bio linearan u ispitivanom opsegu doza (do 200 Gy). S obzirom da se $Y_2(SO_4)_3$ u $K_3Na(SO_4)_2$ pokazao kao najosetljiviji dozimetar na bazi lantanida uporedili smo intenzitete EPR signala u funkciji apsorbovane doze za ovaj novi tip dozimetara sa alaninskim dozimetrima. Nađeno je da dozimetri dopirani $Y_2(SO_4)_3$ pokazuju približno istu osetljivost kao alaninski na niskim dozama (20 Gy). Njihova prednost u odnosu na alaninske dozimetre je to što se EPR signal SO_3^- radikala sastoji od jedne linije (sl. 1a) za razliku od složenog EPR signala radikala u ozračenom alaninu (sl. 1b). Ovo omogućuje dobijanje spektra SO_3^- radikala kada se snimanje vrši u prisustvu radikala sa sličnom g vrednosti, koji mogu biti upotrebljeni kao interni standard [6].

ZAKLJUČAK

Rezultati izloženi u ovom radu ukazuju na mogućnosti primene dozimetara na bazi alkalnih sulfata dopiranih lantanidima u EPR dozimetriji niskih doza. S obzirom da mehanizam ugrađivanja lantanida u matriks $K_3Na(SO_4)_2$ nije dovoljno istražen, postupak pravljenja dozimetara je za sada na empirijskom nivou, ali je opravdano očekivati da će se daljom optimizacijom pripreme dozimetara postići osetljivost koja zadovoljava potrebe dozimetrije radioterapijskog zračenja.

LITERATURA

[1] M. F. Desrosiers, G. Burlinska, P. Kuppusamy, J. Zweier, D. M. Yaczko, F. P. Auteri, M. R. McClelland, C. E. Dick and W. L. McLaughlin. Research and develoment activities in electron paramagnetc resonance dosimetry. Radiat. Phys. Chem., 46(1995)1181-1184.

[2] T. Kojima, Y. Haruyama, H. Tachibana, R. Tanaka, J. Okamoto, K. Yagi, N. Tamura, H. Hara, and S. Kashiwazaki. Alanine/ESR dosimetry system for routine use in radiation rocesing. Radiat. Phys. Chem., 42(1993)757-760.

[3] M.Radojčić, B.Sećerov, B.H.Milosavljević, J.Petković, and G.Bačić. Absorbed dose measurements in radiotherapy. GSI Report 97-09 on 6th Workshop on heavy charged particles in biology and medicine, (Ed. G.Kraft and K.Lengbein) 1997, G16: 1-4.

[4] J.A. LaVerne and R.H.Schuler. Radiation chemical studies with heavy ions: Oxydation of ferrous ion in the Fricke dosimeter. J. Phys. Chem. 91(1987)5770-5776.

[5] M. Onta, T. Hayukawa, and H. Furukava. Application of lantanide ion doped alkaline metal sulphates to ESR imaging. J. of Alloys and Compounds, 250(1997)431-434.

[6] N.D.Yordanov, V. Gancheva and V.A. Pelova. Studies on some materials suitable for use as internal standards in high energy EPR dosimetry. J of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 242-2 (1999) 619-622.

ABSTRACT

EPR DOSIMETRY OF IONIZING RADIATION: THE USEFULNESS OF LANTHANIDE DOPED ALKALINE METAL SULPHATES

J. Petković, I. Mladenović, A.S.Nikolić[1], B. Babić-Stojić[2], G. Bačić
Faculty of Physical Chemistry, Belgrade
[1] Faculty of Chemistry
[2] Institute of Nuclear Sciences VINČA

We investigated the usefulness of lantanide doped alkaline metal sulphates ($K_3Na(SO_4)_2$) as a new type of dosimeters for the EPR dosimetery of ionizing radiation. Irradiation of samples doped with different lantanides (Y, Ln, Gd) showed that the best sensitivity is obtained using dosimeters doped with $Y_2(SO_4)_3$. Different procedures for manufacturing dosimeters were studied and an optimum procedure was established. The EPR signal intensity of irradiated dosimeters was tested in a range 20 – 200 Gy.

ŠEST–KRISTALNI GAMA SPEKTROMETAR PRIPJAT–2M I NJEGOVE POGODNOSTI ZA RADIOEKOLOŠKA MJERENJA

S. K. Andruhovič, A. V. Berestov, E. A. Rudak,
N.Antović[1], P.Vukotić[1], S.Dapčević[1]
Institut za fiziku, Akademija nauka Bjelorusije, Minsk, Bjelorusija
[1] Prirodnomatematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

SADRŽAJ

U radu su prikazane karakteristike gama spektrometra PRIPJAT–2M, sa 6 NaJ(Tl) detektora, od kojih svaki ima kristal zapremine 1767 cm^3, koje ga čine veoma vrijednim instrumentom za mjerenje radioaktivnosti u uzorcima iz životne sredine. Posebno su naglašene prednosti mjerenja u režimu koincidencija.

UVOD

Spektrometri tipa PRIPJAT [1] počeli su se razvijati na Institutu za fiziku Akademije nauka Bjelorusije nakon Černobiljskog akcidenta 1986. godine, kada je u Bjelorusiji postojala veoma izražena potreba za brzom detekcijom ^{137}Cs u uzorcima iz životne sredine. Karakteristike PRIPJAT–a, kao što su velika efikasnost detekcije zračenja, mogućnost analize krupnih uzoraka i neosjetljivost na njihovu formu, učinile su da ovaj tip spektrometra veoma uspješno zadovoljava takve potrebe. Zbog toga je standardni softver, koji se isporučuje uz spektrometre, bio i ostao orjentisan isključivo prema određivanju cezijumske aktivnosti, čime se koristi samo minimum stvarnih mogućnosti spektrometra.

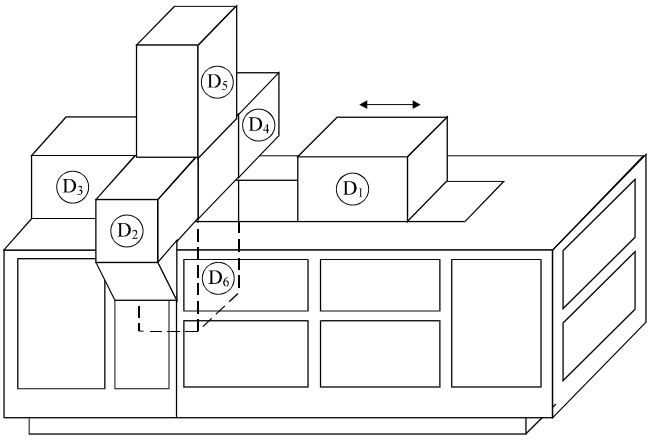
Do sada je urađeno jedanaest takvih spektrometara, u četiri modifikacije, i jedan od njih, PRIPJAT–2M, konstruisan 1994. godine, nalazi se na Odsjeku za fiziku Prirodno–matematičkog fakulteta u Podgorici. „Standardni“ softver ovog uređaja značajno je dorađen i osposobljen za koincidentna mjerenja, čime je dobijena mogućnost da se i koincidentna mjerenja koriste za određivanje aktivnosti uzoraka iz životne sredine u cilju veće selektivnosti i osjetljivosti analize.

U ovom radu biće prikazane karakteristike ovog spektrometra i njegove prednosti u odnosu na jednodetektorske sisteme kod mjerenja u radioekologiji.

KONSTRUKCIJA SPEKTROMETRA

Spoljašnje dimenzije spektrometra PRIPJAT–2M (Sl.1) su 250x145x186 cm, a njegova masa je 4200 kg. U sastav spektrometra ulaze 6 NaJ(Tl) detektora, njihova čelična i olovna zaštita, elektronika tipa CAMAC i PC računar.

Spektrometar ima šest identičnih sekcija sa detektorima (D1–D6), od kojih su četiri u horizontalnom, a dvije u vertikalnom položaju. Jedna od horizontalno postavljenih sekcija je pokretna i otvara i zatvara detekcionu komoru spektrometra. Svaka od sekcija predstavlja paralelopiped, unutar koga je smješten standardni scintilacioni blok (proizvodnje SSSR), koji se sastoji od kristala NaJ(Tl), dijametra 15 cm i visine 10 cm, i od fotomultiplikatora. Kristal i fotomultiplikator su smješteni u aluminijski kontejner, koji je postavljen unutar čeličnog paralelopipeda, radi zaštite od spoljašnjeg zračenja. Čela detektora su na stranicama kocke, ivice 17.5 cm, zatvarajući prostorni ugao od 0.7x4π str i formirajući relativno veliku detekcionu komoru unutar spektrometra. Između scintilacionih blokova postavljena su po dva čelična paralelopipeda, kao zaštita od rasijanog γ–zračenja, koje predstavlja osnovni izvor stvarnih fonskih koincidencija. Spektrometar ima i olovnu zaštitu debljine do 15 cm.



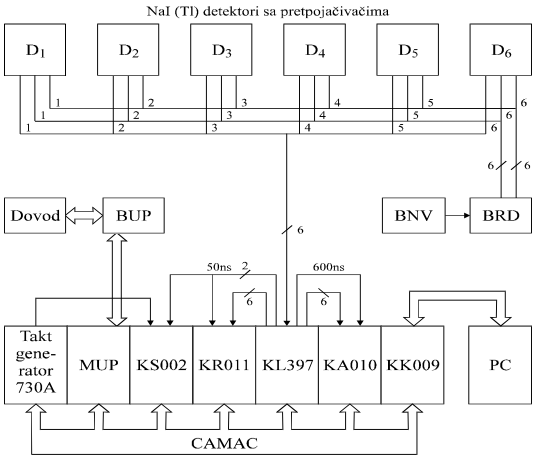
Slika 1. Spoljašnji izgled spektrometra PRIPJAT–2M

BLOK SHEMA I PRINCIP RADA SPEKTROMETRA

Blok shema spektrometra PRIPJAT–2M data je na Sl. 2. BNV je izvor visokog napona, a BRD djelitelj napona za predpojačivače i detektore. Upravljanje pokretnim blokom, koji otvara i zatvara detekcionu komoru, ostvaruje se automatski preko bloka MUP, ili ručno preko pulta BUP.

Sistem registracije signala sa detektora realizovan je u standardu CAMAC i sadrži slijedeće module: 6–kanalni pojačivač KL397, 6–kanalni hodoskop KR011, 6–kanalni analogno–digitalni konvertor KA010, dvojni brojač KS002, generator vremenskih impulsa 730A i kontroler KK009 sistema CAMAC modula, povezan sa PC računarom.

Princip rada sistema registracije γ–zračenja spektrometrom je slijedeći. Signali sa fotomultiplikatora stižu na ulaze odgovarajućih pojačivača. Signal sa svakog od detektora se tu grana na dva signala sa dužinama jednakim 50 ns i 600 ns, koji se zatim upućuju na vremensku i na amplitudnu analizu. Signal dužine 50 ns ide na ulaz brojača i na ulaz hodoskopa, dok signal dužine 600 ns odlazi na ulaz ADC–a. Po učitavanju informacija sa



Slika 2. Blok shema spektrometra

hodoskopa i ADC–a, njihov sadržaj se anulira. Informacija sa brojača se učitava periodično, poslije vremena ekspozicije definisanog upravljačkim programom, a koje se koristi i za određivanje živog vremena snimanja spektra.

REŽIMI RADA, GAMA–FON I OSJETLJIVOST SPEKTROMETRA

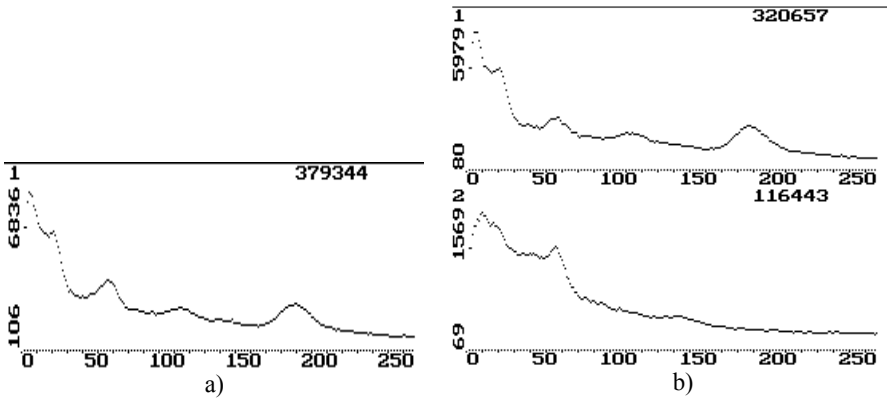
Softver omogućava rad spektrometra u dva režima. U prvom – integralnom režimu {1–6}, svaki od detektora registruje ukupno γ–zračenje koje stiže do njega. Moguće je pratiti pojedinačne spektre svih šest detektora, te dobiti sumarni spektar. U drugom – koincidentnom režimu {1–1}–{2–6}, dobijaju se nekoincidentni spektri {1–1} i spektri koincidencija {2–6} (višestrukosti od 2 do 6) svih šest detektora pojedinačno, kao i sumarni spektar {1–1} i sumarni spektar {2–6}. Softverski se oduzima spektar fona i u posmatranom spektru izvora zračenja dobijaju podaci o pikovima, energijama, izotopima i aktivnostima.

Primjera radi, na Sl.3 su prikazani sumarni spektri uzorka ulcinjskog pijeska mase 0.7 kg, snimanog po 3 sata u oba režima rada spektrometra.

Snimanjem seta kalibracionih izvora u režimu {1–6} i interpolacijom 10 mjernih tačaka dobijene su kalibracione krive: energija – broj kanala, poluširina pika – energija, fotoefikasnost – energija i totalna efikasnost – energija. Ista kalibracija spektrometra važi i za njegov koincidentni režim rada, stim što radna bilioteka za koincidentni režim iz te kalibracije i biblioteke kaskada uzima potrebne podatke i izračunava efikasnosti registracije pojedinih linija u kaskadi.

Da bi se smanjio fon γ–zračenja, kod spektrometara PRIPJAT napravljena je dobra pasivna zaštita detektora, a djelovi spektrometra izgrađeni su od niskofonskih materijala. Sa druge strane, u ovako koncipiranom detekcionom sistemu, osnovno i veoma efikasno sredstvo smanjenja brzine brojanja fona je metod koincidencija. Brzina brojanja fona u energetskom dijapazonu od 200 keV– 2000 keV iznosi 21.54 imp/s u režimu {1–6}, 20.14 imp/s u režimu {1–1}, a u režimu {2–6} je ona 1.88 imp/s. Prema tome je, u

koincidentnom režimu {2–6} fon više od deset puta manji nego u integralnom režimu {1–6} detekcije zračenja.



Slika 3. Spektri pijeska: a.) u integralnom režimu {1–6},
b.) u koincidentnom režimu – {1–1} gore i {2–6} dolje

Da bi se provjerila pogodnost različitih režima rada spektrometra, osjetljivost spektrometra valja definisati kao odnos „signal/šum“, tj. kao odnos efikasnosti registracije fotona određene energije u fotopiku i kvadratnog korijena brzine brojanja fona pod tim pikom [2]. Tako je mjerenjem izvora ^{226}Ra dobijeno da, u dijapazonu fotopika na 609 keV, osjetljivost jednog od detektora u spektrometru PRIPJAT iznosi 223, osjetljivost čitavog spektrometra u režimu {1–6} iznosi 566, u režimu {1–1} je 359, a u režimu {2–6} je najveća i iznosi 722. Uopšte, proračuni pokazuju da je osjetljivost multidetektorskih sistema najveća u režimu rada sa dvostrukim koincidencijama [3].

PREDNOSTI PRIPJAT–2M U ODNOSU NA JEDNOKRISTALNE SPEKTROMETRE

U odnosu na spektrometre sa jednim NaJ(Tl) detektorom, spektrometar PRIPJAT–2M ima značajne prednosti. To su:

- mogućnost mjerenja uzoraka zapremine do 5 litara i proizvoljnog oblika, čime se izbjegava potreba pripreme uzoraka u nekoj standardnoj geometriji,
- prostorni ugao snimanja 0.7x4π str i velika efikasnost registracije γ–zračenja,
- znatno veća osjetljivost detekcije zračenja, posebno u režimu koincidencija,
- mogućnost mjerenja γ–γ koincidencija višestrukosti k ≤ 6, sa vremenskom rezolucijom od 40 ns,
- selektivnost pri određivanju radioizotopa, koja se dobija diobom ukupnog spektra zračenja uzorka na spektre {1–1} i {2–6}.

Osim navedenih prednosti, važne osobine instrumenta su dobri fonski uslovi zbog kvalitetne pasivne zaštite detektora, amplitudna analiza spektara pomoću 6 ADC sa po 256 kanala, energetska rezolucija od 10.5 % za fotoliniju ^{137}Cs na 662 keV, maksimalna

brzina brojanja spektrometra od 10^5 imp/s, kao i jednostavnost upravljanja sistemom i automatska obrada rezultata mjerenja.

LITERATURA

[1] S.K. Andruhovič, A.V. Berestov,V.I. Gutko, A.M. Hilmanovič. Visokočuvstviteljni mnogodetektorni gama spektrometri PRIPJAT. Preprint Instituta fiziki AN BSSR, Minsk (1995).

[2] A.V. Berestov. Isledovanie raspada ortopozitronija v magnitnom pole i opredelenie aktivnosti radionuklidov s ispoljzovaniem visokoefektivnjih spektrometrov gama–sovpadenij. Disertacija kand. fiz.–mat. nauk, Minsk (1989).

[3] A.V. Berestov, B.A. Marcinkevič, A.M. Hiljmanovič. Opredelenie aktivnosti nuklidov metodom registracii intensivnosti kaskadov γ–kvantov različnoj množestvenosti. Preprint IF AN BSSR (1988), N°482.

ABSTRACT

SIX–CRYSTAL GAMMA SPECTROMETER PRIPJAT–2M AND ITS APPROPRIATENESS FOR RADIOECOLOGICAL MEASUREMENTS

S. K. Andruhovič, A. V. Berestov, E. A. Rudak,
N. Antović[1], P. Vukotić[1], S. Dapčević[1]
Institute of Physics, Belarus Academy of Sciences, Minsk, Belarus
[1] Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

Characteristics of the gamma spectrometer PRIPJAT–2M, consisting of 6 NaI(Tl) detectors, each with crystal of 1767 cm^3 in volume, which make it a very valuable instrument for measurements of radioactivity in environmental samples, are presented in this paper. Advantages of a measurement in coincidence mode are specially mentioned.

NISKOFONSKI SISTEM ZA GAMA-SPEKTROMETRIJU U CENTRU ZA EKOTOKSIKOLOŠKA ISPITIVANJA CRNE GORE

T. Anđelić, S. Jovanović
JU Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore , Podgorica

SADRŽAJ

Opisan je niskofonski sistem za gama-spektrometriju u Centru za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, koji je nedavno počeo sa radom. Dati su i prvi rezultati mjerenja (namirnice i uzorci iz životne sredine).

UVOD

Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore započeo je sa radom početkom 1998. godine. U sklopu Centra od novembra 1998. postoji i Laboratorija za radioekologiju . Laboratorija je smještena u suterenskom dijelu zgrade (4 prostorije sa oko 120 m^2 korisne površine, klimatizovano) i raspolaže sljedećom opremom: niskofonski gama-spektrometrijski sistem EG&G Ortec, Genitron Alpha Guard za mjerenje koncentracije radona, α-β brojač Eberline FHT 770 i Bertholdov dozimetrijski sistem TOL/F LB123 sa sondama LB 1231 $\beta\gamma$ i LB 1232 $\alpha\beta$.

GAMA–SPEKTROMETRIJSKI SISTEM

Sistem za gama-spektrometriju je proizvod firme EG&G Ortec: HPGe koaksijalni detektor GEM – 40190 (41% relativna efikasnost na 1.33 MeV, rezolucija 1.81 keV na 1.33 MeV i 0.786 keV na 122 keV, odnos pik-kompton 65.7) sa predpojačivačem 257P, pojačivač NS 672, bafer NS 919 (16000 kanala, 4 inputa). Olovna zaštita (proizvođač: "Von Gahlen") je cilindar debljine 10cm i unutrašnjih dimenzija 40 x 29 cm. Olovo ima sopstvenu aktivnost ispod 50 Bq/kg, tako da uz obloge od 2mm Cu, 1mm Cd i 4mm perspex, sistem registruje fon od svega 1.28 impulsa/s i spada u kategoriju "extra-low background". Sastavni dio sistema je i najnoviji Ortec-ov softver izuzetnih mogućnosti Gamma Vision 32 V4.1 [1] sa bazom podataka Nuclide Navigator.

Laboratorija posjeduje i set kalibracionih tačkastih izvora (^{152}Eu, ^{137}Cs, ^{133}Ba, ^{88}Y, ^{60}Co, ^{57}Co) i tečni miks 8 nuklida (^{203}Hg, ^{139}Ce, ^{137}Cs, ^{113}Sn, ^{88}Y, ^{85}Sr, ^{60}Co, ^{57}Co). Isporučilac je Czech Metrological Institute, a specificirane greške su od 0.3-2% po nuklidu.

Za pretakanje tečnog azota koristimo azot pod pritiskom u gasovitom stanju koji se upumpava preko ispusnog ventila Dewar-a. Na taj način se postiže velika brzina

pretakanja (oko 3 - 4 l/min), maksimalno iskorišćava tečni azot, ne dolazi do stvaranja ledenih čepova u cijevima i smanjeni su uticaji vibracija pri pretakanju na detektor.

Velikih neprilika imali smo zbog nestabilnosti mrežnog napajanja (ispadi, varijacije i udari napona: 80-250V). I pored zaštite koju sistem posjeduje zbog ovog je dolazilo do poremećaja u radu ("šetanje" pikova). Da bi riješili ove probleme spektrometar smo povezali na sistem nezavisnog napajanja "Smart UPS 1000" proizvođača APC.

KALIBRACIJA EFIKASNOSTI – PROGRAM ANGLE

Program ANGLE za izračunavanje efikasnosti poluprovodničkih detektora [2] je instaliran i koristi se za sve korišćene geometrije mjerenja i matrice uzoraka. Metod se bazira na poređenju geometrije mjerenja sa "referentnom" geometrijom, tj. referentnom krivom efikasnosti. Referentna kriva efikasnosti snimljena je na osnovu pouzdano iskalibrisanih tačkastih izvora, prethodno navedenih, pri čemu je rastojanje izvor-detektor bilo 51 cm (minimizirane stvarne koincidencije). Program se bazira na konceptu efektivnog prostornog ugla - parametra koji u sebi sadrži elemente geometrije (prostorni ugao), atenuacije gama-zraka (od emitovanja u uzorku do detekcije u aktivnom kristalu detektora) i fizičkih procesa depozicije energije u samom detektoru. Osnovna prednost ANGLE-a je što omogućava određivanje efikasnosti za bilo koju koaksijalnu geometriju, čime eliminiše potrebu korišćenja velikog broja raznih standarda [3].

NEKI REZULTATI MJERENJA

U periodu novembar 1998–mart 1999 najveći dio mjerenja na sistemu za gama-spektrometriju odnosio se na obaveznu kontrolu uzoraka prehrambenih proizvoda iz uvoza (razne vrste mesa i mesnih prerađevina, riba, živina, konzerve, brašno, mlijeko, mlijeko u prahu, stočna hrana itd.). Takođe je rađen i program Vlade RCG za sistematsko ispitivanje sadržaja radionuklida u životnoj sredini.

Uzorci su homogenizovani i snimani u Marineli posudama od 1 l ili u cilindričnim posudama od 0.65 l . Vrijema snimanja spektara se kretalo u granicama od 5 – 24 h . U najvećem broju uzoraka prisustvo vještačkih radionuklida je bilo ispod granice detekcije [3] sistema (oko 0.05Bq/kg za ^{137}Cs). U određenom broju uzoraka svinjskog i goveđeg mesa i skuše nađeno je do 1.4 Bq/kg ^{137}Cs, dok je u 5 uzoraka papalina (zemlja porijekla Njemačka) aktivnost bila oko 9 Bq/kg. Prirodni radionuklidi (^{40}K) su konstatovani na nivoima uobičajenim za pojedine vrste namjernica .

Rađene su i analize voda Skadarskog jezera i rijeka Tare, Morače i Lima. Uzorci nijesu uzimani namjenski niti po programu za radioekološka ispitivanja, tako da su dobijeni rezultati samo preliminarni. Količine od 30 – 50 litara su uparavane do zapremine od 1 l i snimane u Marineli posudama. Dobijene su uobičajene vrijednosti prirodnih radionuklida dok su vještački bili ispod granice detekcije (oko 1.5mBq/l za ^{137}Cs).

Uzorci morske vode uzeti su u Herceg Novom, Budvi i Baru. Samo u uzorku iz Bara nađen je ^{137}Cs (8.8 mBq/l) . Ni ovi uzorci nijesu bili namjenski - ne postoje precizni podaci o vremenu, mjestu i načinu uzorkovanja .

U jednom zbirnog uzorka padavina našli smo 0.65 Bq/l berilijuma ^{7}Be.

U okviru Programa sistematkog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini urađena je analiza zemalja sa 5 različitih lokacija na širem području opštine

Podgorica . Uzorci su uzimani sa dubine od 5-15 cm, sušeni na 105 ^{o}C, prosijavani, sitnjeni i homogenizovani[4] i snimani u litarskim Marineli posudama. Dobijeni su ovi rezultati:

Tabela 1. Rezultati

	L O K A L I T E T				
A [Bq/kg]	Masline	Donja Gorica	Golubovci	Vranići	JUCETI
^{137}Cs	21.6	54.0	37.0	62.4	57.6
^{40}K	360	275	385	309	338

LITERATURA

[1] EG&G Ortec: "GAMMA Vision 32 – Gamma–Ray Analysis and MCA Emulation", User's Manual .

[2] Jovanović S., Dlabač A., Mihaljević N., Vukotić P., "ANGLE": A PC-Code for Semiconductor Detector Efficiency Calculations", J.Radioanal. Nucl. Chem., 218, 1(1997), 13-20.

[3] Debertin K., Helmer R.G., " Gamma- and X–ray Spectrometry with Semiconductor Detectors ", North–Holand, Amsterdam, 1988.

[4] "Measurement of Radionuclides in Food and Environment", International Atomic Energy Agency, Vienna, 1989.

ABSTRACT

LOW BACKGROUND GAMMA-SPECTROMETRY SYSTEM
IN CENTRE FOR ECOTOXICOLOGICAL RESEARCH
OF MONTENEGRO

Low background gamma-spectometry system in Centre for Ecotoxicolagical Research of Montenegro, recently put in operation, is briefly described. Results of first measurements (food and environmental samples) are presented.

ENERGIJSKA KOMPENZACIJA MOS DOZIMETRA

F. Rašuo, M. Kovačević[1], M. Vukčević[1],
S. Stanković[1], Z. Jelača
Vojnotehnički Institut, Beograd
[1] Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija „Zaštita“, Beograd

SADRŽAJ

Gama dozimetri sa MOS tranzistorom kao detektorom imaju izraženu zavisnost odziva od energije fotona, pa je potrebno izvršiti kompezaciju odziva dozimetra za fotone energije 45keV-1250keV. Energijski kompezovan detektor je eksperimentalno ispitan i utvrđeno je da linearnost odziva zbog energijske zavisnosti varira ±40% u odnosu na odziv na referentnoj energiji fotona od 662keV, izuzev za energije oko 45keV i 150keV gde je odstupanje ±60%.

UVOD

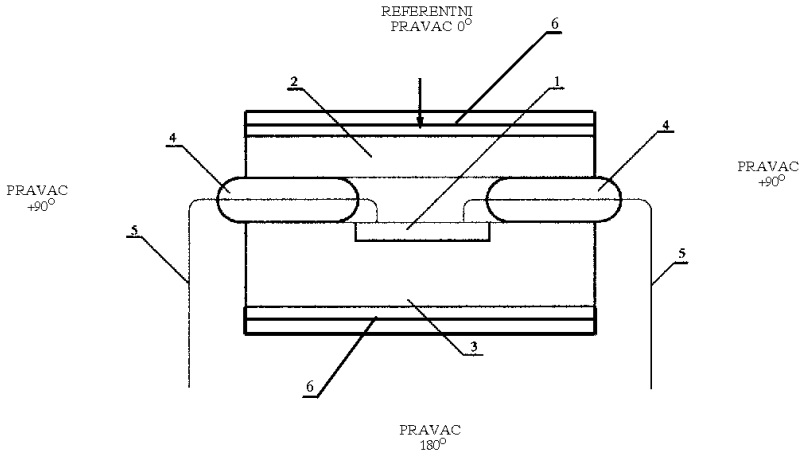
Saznanja o mogućoj upotrebi MOS tranzistora kao gama dozimetra potiču iz sredine sedamdesetih godina. U prvoj polovini devedesetih, razvijen je dovoljno osetljiv gama dozimetar primenljiv kao lični dozimetar za masovnu upotrebu. Osetljivost dozimetara kretala se po seriji u opsegu od 1mV/cGy-2.5mV/cGy, sa odstupanjem osetljivosti tranzistora unutar serije u granicama od ±5%.

Ispitivanja energijske zavisnosti MOS gama dozimetra, ugrađenog u keramičko kućište tipa DIL-8, pokazala su da dozimetar ima značajnu energijsku zavisnost, posebno u oblasti energija x zračenja od 45keV-250 keV[1]. Ova zavisnost poluprovodničkih dozimetara je posledica većeg atomskog broja materjala (silicijum) od kojeg je sačinjen detektor. Zbog toga je potrebno ostvariti energijsku kompezaciju da bi odziv MOS detektora bio srazmeran dozi u tkivu. Između filtera od raznih materjala, koji slabe snop fotona u oblasti x zračenja, urađen je izbor i proračun debljine filtera, koje treba postaviti oko dozimetra da bi mu se smanjila energijska zavisnost odziva.

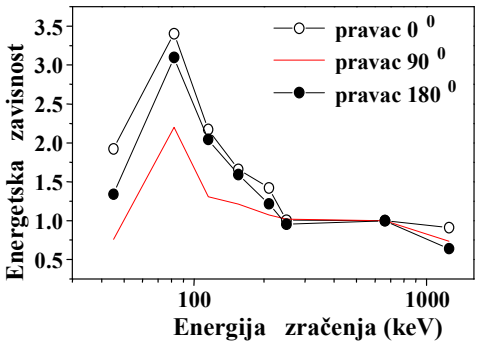
PRORAČUN ENERGIJSKE KOMPEZACIJE

Uprošćeni poprečni presek MOS dozimetra sa kompenzacionim filtrima prikazan je na slici 1.

Ozračivanjem dozimetra u polju x i gama zračenja, po standardu ISO 4037[2], određena je energijska zavisnost odziva nekompezovanog MOS dozimetra koja je prikazana na slici 2.



Slika 1. Uprošćeni poprečni presek pMOS dozimetra:1-dozimetar (silicijumska pločica), 2-gornji deo kućišta, 3-donji deo kućišta, 4-izolator, 5-kontaktni izvodi, 6-filtri.



Slika 2. Energijske zavisnosti nekompenzovanog MOS dozimetra za tri definisana pravca upadnog x i γ zračenja.

Uzrok ovakvoj karakteristici odziva dozimetra je veći efektivni presek za fotoelektrični efekat u silicijumu u odnosu na presek za tkivo. Pored ovog inherentnog svojstva detektora otežavajuća okolnost za proračun je i činjenica da nije bio poznat sastav materijala za kućište dozimetra što je onemogućilo primenu preciznog računskog modelovanja interakcije i geometrije. Proračun energijske kompenzacije je bilo moguće uraditi samo semiempirijskim proračunom debljina filtera koji slabe fluks fotona u oblasti

gde je izražena nesrazmernost odziva dozimetra. Izabrano je nekoliko filtera koji pojedinačno ili u sendvič kombinaciji atenuiraju energije fotone u odabranim energijskim opsezima [3]. Odabrani su filtri od: olova debljine 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1 i 2mm, kalaja debljine 0,5mm i bakra debljine 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1 i 2,8mm. Na osnovu utvrđenih masenih atenuacionih koeficijenata izračunata su slabljenja pojedinačnih i kombinovanih filtara raznih debljina za energije fotona od 45, 82, 115, 155, 210, 250, 662 i 1250KeV-a po formuli (1), gde je μ_i linearni atenuacioni koeficient i-tog filtra, a l_i je debljina i-tog filtra.

$$I = I_0 \cdot e^{-\sum_i \mu_i \cdot l_i} \qquad (1)$$

Proračun je urađen za dvanaest jednokomponentnih, četrdeset sedam dvokomponentnih i tridesetšest trokomponentnih kombinacija filtara. Od devedesetšest ukupno mogućih kombinacija filtara procenjeno je da za dve kombinacije, u referentnim pravcima 0^0 i 180^0, postoji realna mogućnost izvođenja uspešne energijske kompenzacije.

EKSPERIMENTALNA PROVERA ENERGIJSKE ZAVISNOSTI MOS GAMA DOZIMETRA

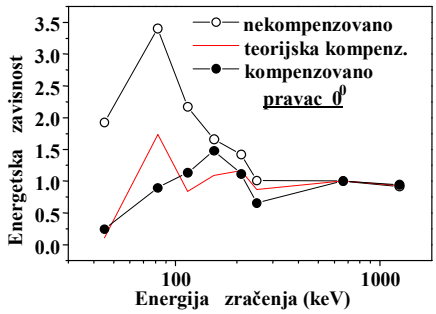
Eksperimentalna provera proračuna atenuacije filtara i njihov uticaj na energijsku zavisnost MOS dozimetra izvršena je u dozimetrijskoj laboratoriji INN VINČA, koja raspolaže poljima zračenja koja su saglasna međunarodnim standardima za uslove ispitivanja dozimetrijske instrumentacije kao i odgovarajućom dozimetrijskom opremom za merenje apsorbovanih doza.

USLOVI PROVERE

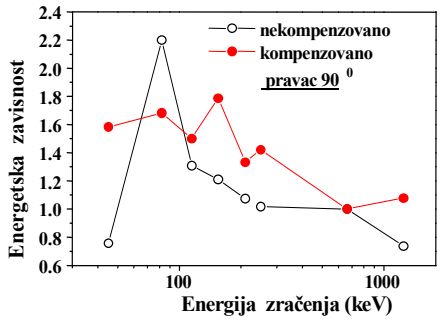
Za ozračivanje MOS dozimetara u oblasti x zračenja 45keV-250keV-a korišćen je dozimetrijski rentgen aparat PHILIPS MG 320. U oblasti gama zračenja MOS dozimetri su ozračivani u polju radionuklida ^{137}Cs sa gama energijom od 662keV-a i radionuklida ^{60}Co srednje energije fotona od 1250keV. Ekspozicione doze x i γ zračenja merene su dozimetrom DI4/DL4 i PTW jonizacionim komorama sa greškom manjom od ±5%.

REZULTATI MERENJA

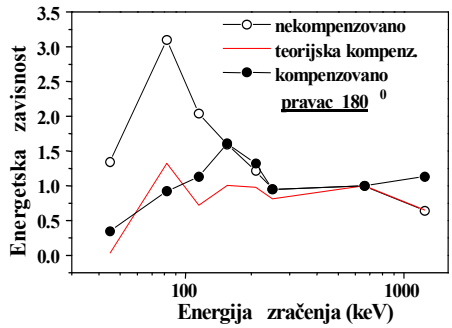
Nakon eksperimentalne provere dveju kombinacija filtara za koje se, po teorijskom proračunu, utvrdila mogućnost izvođenja energijske kompenzacije ustanovljeno je, da kombinacija filtara debljina 0,2mmPb+0,2mmCu u referentnom pravcu 0^0 i kombinacija filtara debljina 0,2mmPb+0.5mmCu u referentnom pravcu 180^0 u većem delu opsega energija fotona 45keV-1250keV ostvaruje potrebnu energijsku kompenzaciju. Zapaža se da dominantni uticaj na tok krive energijske zavisnosti kompenzovanog MOS dozimetra ima fotoelektrični efekt u filtrima od olova, odnosno elektronski prelaz sa L na K energijski nivo atoma olova u opsegu energija fotona 70keV-88keV-a. Eksperimentalni rezultati terijskog proračuna, energijski nekompenzovanog i kompenzovanog MOS dozimetra u pravcima 0^0, $\pm 90^0$ i 180^0 prikazani su na slikama 3-5.



Slika 3. Energijske zavisnosti kompenzovanog, nekompenzovanog MOS dozimetra i teorijski proračun za pravac 0°

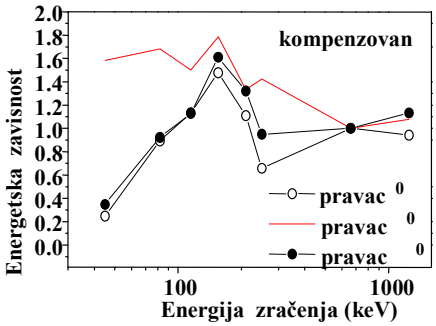


Slika 4. Energijske zavisnosti kompenzovanog, nekompenzovanog MOS dozimetra i teorijski proračun za pravac ±90°



Slika 5. Energijske zavisnosti kompenzovanog, nekompenzovanog MOS dozimetra i teorijski proračun za pravac 180°

Na slici 6 prikazana je kriva energijske zavisnosti kompenzovanog MOS dozimetra navedenim pravcima.Može se zapaziti daje energijska zavisnost dozimetra u pravcu $\pm 90^0$ značajno veća, u opsegu energija fotona 45keV-155keV-a, u odnosu na pravce 0^0 i 180^0 što je i očekivano s obzirom da u pravcu $\pm 90^0$ nisu postavljeni atenuacioni filtri zbog kontaktnih izvoda MOS dozimetra.



Slika 6. Energijske zavisnosti kompenzovanog MOS dozimetra za definisane upadne pravce fotona.

ZAKLJUČAK

Energijska kompenzacija odziva MOS gama dozimetra ostvarena je sa filtrima od olova i bakra do odstupanja od ±40% u najvećem delu energijskog odziva dozimetra. Za kompenzaciju odziva bolju od ±60% za usku oblast energija fotona oko 155keV-a, trebalo bi upotrebiti dodatni filter sa izraženom apsorbcijom za navedenu energijsku oblast. Odstupanja eksperimentalnih rezultata od proračuna filtra može se objasniti činjenicom da proračun samo slabljenja pločastog filtra ne može biti dovoljno precizan model za sistem sa složenom geometrijom kakav je MOS gama dozimetar. Takođe postoji efekt faktora nagomilavanja, efekt refleksije fotona, efekt bočnih otvora, kao i efekt perturbovanog fotonskog polja za koje korišćeni atenuacioni koeficijenti nisu u potpunosti adekvatni.

LITERATURA

[1] Savić Z., Stanković S., Kovačević M., Petrović M., Energy Dependence of pMOS Dosimeters, Radiation Protection Dosimetry, Vol.64,No.3,pp.205-211,1996.

[2] ISO4037, X and gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dose Ratemeters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy ISO, 1979.

[3] Storm E., Izraelx H., Secenia vzaimodejstvia gamma-izlucenia (dla energii 0,001-100Mev i elementov s 1 po 100), Moskva, Atomizdat,1973.

[4] Veličković D., Kovačević M., Krmpotić Đ., Vukčević M, Određivanje poludebljina, srednjih energija i koeficijenta homogenosti za X polje dozimetrijskih generatora, XIII Jugoslovenski simpozijum o merenjima i mernoj opremi, str.777-782,Split,oktobar 1988.

ABSTRACT

ENERGY COMPESATION OF MOS DOSIMETER

F. Rašuo, M. Kovačević[1], M. Vukčević[1],
S. Stanković[1], Z. Jelača
MTI, Belgrade
[1] Institute of Nuclear Sciences VINČA

Gamma dosimeters with MOS transistor as the sensing element have a pronounced dependency of response on photon energy, so dosimeter response compensation is due for photons with energy between 45keV and 1250keV. A dosimeter compensated in that way was experimentaly tested and it was found that photon energy dependent linearity of response varies ±40% relative to the reference photon energy of 662keV, except for energies around 45keV and 150keV where discrepance is ±60%.

UPOREDNA ANALIZA RADIJACIONE OTPORNOSTI EPROM I EEPROM KOMPONENTI

B. Lončar, S. Stanković[1], M. Kovačević[1], P. Osmokrović[2]
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
[1] INN „Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja, Beograd
[2] Elektrotehnički fakultet, Beograd

SADRŽAJ

Cilj ovog rada je uporedna analiza radijacione otpornosti EPROM i EEPROM komponenti pod dejstvom gama zračenja. Ovaj problem je od velikog značaja za vojnu industriju i svemirsku tehnologiju gde se ove komponente primenjuju i gde se mogu naći u radijacionom okruženju. Efekti ukupne doze su prezentovani za JL 27C512D EPROM i 28C64C EEPROM komponente. Pokazalo se da su EPROM komponente otpornije na gama zračenje od EEPROM komponenti. Dobijeni rezultati su analizirani i teorijski objašnjeni preko efekata interakcije gama zračenja sa slojem oksida.

UVOD

Memorijske komponente se danas sve više koriste, posebno za vojne potrebe i svemirska istraživanja i ispitivanja. Tada se mogu naći u različitim okruženjima, među koje svakako spada i radijaciono okruženje. Iz tih razloga je pitanje njihovog rada u polju radioaktivnog zračenja, odnosno njihove otpornosti na uticaj zračenja danas veoma aktuelno. Pošto poluprovodničke EPROM i EEPROM komponente spadaju u grupu MOS uređaja u ovom radu je ispitivan uticaj gama zračenja na njihovu funkcionalnost. Naime, poznato je da je gama zračenje daleko opasnije od neutronskog za degradaciju karakteristika MOS komponenti [1,2]. Pritom je poznato da radijacioni efekti mogu dovesti do reverzibilnih ili ireverzibilnih oštećenja komponenti, tj. njihove delimične ili potpune destrukcije [3]. S obzirom da su EPROM i EEPROM komponente tretirane u istom polju zračenja, tj. da je vršena uporedna analiza njihove radijacione otpornosti u osnovnim crtama osvrnućemo se na njihove glavne karakteristike, što je od značaja za njihovu primenu [4,5]. Glavne prednosti EPROM komponenti su mala dimenzija jednotranzistorske memorijske ćelije, za razliku od EEPROM-a koji poseduje veliku dvotranzistorsku ćeliju, mogućnost brisanja sadržaja i reprogramiranja od strane korisnika i postojanost što znači da nakon prekida napajanja njihov memorijski sadržaj ostaje nepromenjen. Sa druge strane osnovne prednosti EEPROM komponenti su mogućnost brisanja sadržaja elektronskim putem bez upotrebe UV opreme, relativno brz proces brisanja sadržaja, koji je reda milisekunde, dok je kod EPROM-a reda minuta, relativno velika brzina rada u odnosu na EPROM i relativno niska cena jer se pakuju u standardna plastična kućišta. U osnovi PROM komponente se mnogo teže kontrolišu od RAM

komponenti i vreme pristupa za brisanje i reprogramiranje je mnogo duže. Stoga su primat u korišćenju preuzele RAM komponente (SRAM i posebno DRAM).

EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Ozračivanje EPROM i EEPROM memorijskih komponenti izvršeno je u metrološkoj dozimetrijskoj laboratoriji Instituta za nuklearne nauke „Vinča". U polju gama zračenja ^{60}Co [T = 5,272 god, E_γ = 1350 MeV] testiranog 28.8.1990. godine [6,7] uređaja IRPIK-B ispitivano je šest uzoraka JL 27C512 EPROM memorija proizvedenih u kompaniji TMS, Singapur. Pre početka ozračivanja u sve memorijske uzorke upisivan je isti memorijski sadržaj. Pritom su korišćeni konstantni naponski impulsi. Dimenzije polja zračenja su iznosile 8 x 8 cm. Rastojanje između izvora i ispitivanih memorijskih uzoraka iznosilo je 45,6 cm. Brzina apsorbovane doze u vazduhu iznosila je 60 Gy / h, odnosno 65,82 Gy / h u materijalu Si. Sva testiranja su vršena na sobnoj temperaturi. Na analogan način vršeno je ispitivanje 28C64C EEPROM memorijskih uzoraka. Ispitivane 28C64C EEPROM komponente pripadaju grupi CMOS komponenti koje imaju dielektrik od oksida nitrita u FG (floating gate – lebdeći gejt) memorijskih tranzistora. Pošto su ova ispitivanja kasnije vršena, aktivnost izvora je bila manja, pa je u cilju postizanja iste brzine apsorbovane doze, kako u vazduhu, tako i u materijalu Si, rastojanje između izvora i ozračivanih memorija bilo manje i iznosilo 41,31 cm. Kao promenljivi parametar posmatrana je ukupna apsorbovana doza. Od prvih primećenih promena u memorijskom zapisu doza je povećavana u malim koracima, kako bi se što jasnije uočile funkcionalne promene.

Nažalost, sve EEPROM memorije pretrpele su ireverzibilne funkcionalne promene, tako da ih nije bilo moguće ponovo programirati, tj. u njih upisati memorijski sadržaj.

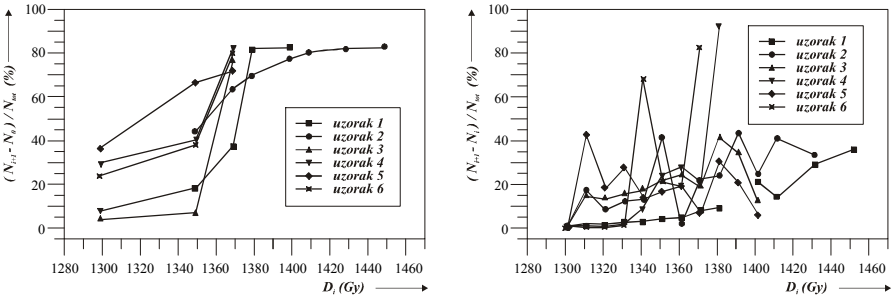
Efekti ozračenja posmatrani su kao:

- diferencijalne promene broja defekata u funkciji ukupne doze zračenja,
- kumulativne promene broja defekata u funkciji ukupne doze zračenja.

REZULTATI I DISKUSIJA ZA EPROM MEMORIJSKE KOMPONENTE

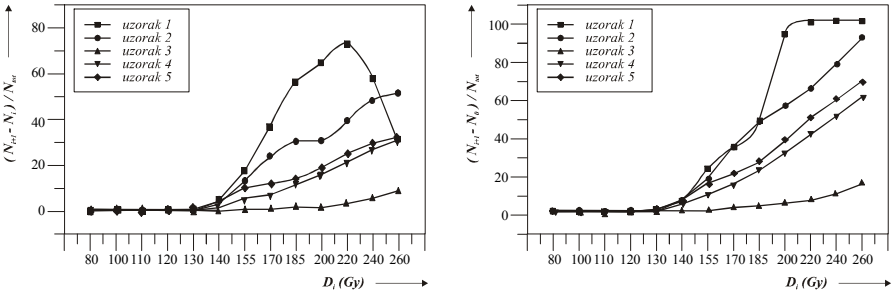
Diferencijalne promene broja defekata u zavisnosti od ukupne doze za ispitivane memorijske uzorke prikazane su na slici 1, a kumulativne promene prikazane su na slici 2. Kao što sa grafika možemo zaključiti prve promene sadržaja su registrovane pri dozama reda 1200 Gy. Te promene su reverzibilnog karaktera i nakon brisanja početnog sadržaja i reprogramiranja svi EPROM memorijski uzorci su ponovo bili potpuno funkcionalni i u njih smo upisivali nove sadržaje i ponovo ih izlagali dejstvu gama zračenja ^{60}Co. Zbog kumulativnog dejstva zračenja nivo osetljivosti je tada bio mnogo niži, što je prikazano na slikama 3 i 4. Vidimo da su se sada prve promene javile pri dozama reda 80 Gy [8,9].

Glavni efekat do kojeg dovodi dejstvo jonizujućeg gama zračenja u EPROM komponentama je generacija nosilaca, tj. stvaranje parova elektron-šupljina raskidanjem Si – O veza u SiO_2 .



Slike 1 i 2. Diferencijalne i kumulativne promene broja defekata u funkciji ukupne apsorbovane doze prvi put ozračivanih EPROM memorijskih uzoraka

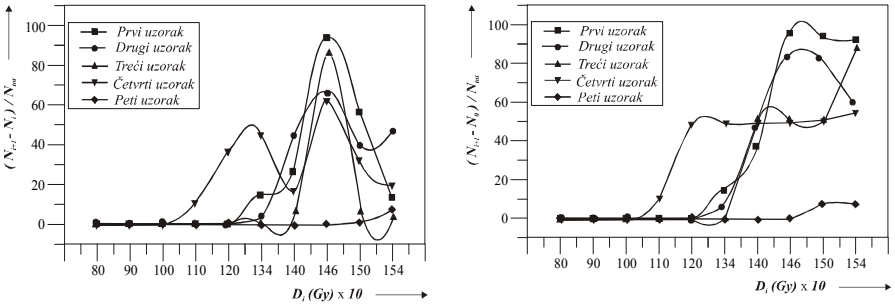
To dovodi do stvaranja zahvaćenih pozitivnih nosilaca (šupljina) u izolatoru i koncentrisanja zahvaćenih negativnih nosilaca na graničnoj površini izolator – kanal [10]. Elektroni, kao mnogo pokretljiviji od šupljina, čak i na sobnoj temperaturi, brzo napuštaju oksid. S druge strane šupljine, koje su slabo pokretljive, ostaju zahvaćene u oksidu i doprinose stvaranju pozitivnog naelektrisanja oksida Q_{ox} . Drugi važan efekat do koga dovodi gama zračenje u EPROM komponentama je formiranje površinskih stanja na Si/SiO_2 graničnim površinama. Za razliku od naelektrisanja oksida, koja su uvek pozitivna, površinska stanja su amfoterna i zahvataju elektrone u n – kanalnim komponentama, što dovodi do povećanja napona praga. Druga vrsta zahvata, tzv. „granični zahvati“ locirani u oksidu vrlo blizu Si/ SiO_2 graničnih površina takođe zahvataju elektrone. Isto tako, naelektrisanja oksida doprinose stvaranju dodatnih zahvata na graničnim površinama [11].



Slike 3 i 4. Diferencijalne i kumulativne promene broja defekata u funkciji ukupne apsorbovane doze za reprogramirane ponovo ozracivane memorijske uzorke

REZULTATI I DISKUSIJA ZA EEPROM MEMORIJSKE KOMPONENTE

Diferencijalne promene broja defekata u zavisnosti od ukupne apsorbovane doze zračenja za ispitivane EEPROM memorijske uzorke prikazane su na slici 5., a kumulativne promene na slici 6.



Slike 5 i 6. Diferencijalne i kumulativne promene broja defekata u zavisnosti od ukupne apsorbovane doze zračenja za svih pet memorijskih uzoraka

Evidentno je da se prve greške javljaju pri dozama od 1000 Gy [12]. Glavni efekat koji izaziva gama zračenje ^{60}Co je generisanje parova elektron – šupljina u SiO_2 izolatoru gejta. Broj generisanih parova elektron – šupljina zavisi od materijala i dostupne zapremine. Koliki će deo parova elektron – šupljina biti rekombinovan zavisi od jačine električnog polja kroz ozračeni oksid [13]. Što je polje jače veći broj parova će izbeći rekombinaciju. Elektroni napuštaju oksid, a deo šupljina koji ne biva zahvaćen u oksidu injektuje se u lebdeći gejt i smanjuje broj elektrona u njemu, čime uslovljava i snižavanje napona praga. Pozitivni nosioci indukovani dejstvom jonizujućeg zračenja onda uslovljavaju povećanje negativnog napona gejta da bi kompenzovali pozitivno naelektrisanje [14]. Dakle, i efekat zahvata šupljina i efekat injektovanja šupljina pod dejstvom zračenja dovode do opadanja napona praga. Uticaj oba ova efekta na napon praga se, takođe, povećava sa smanjenjem debljine oksida [15]. Treći mehanizam koji se javlja pri ozračivanju EEPROM-a je emisija elektrona kroz lebdeći gejt / oksid barijeru. Emisija je odgovorna za brisanje delova EEPROM-a pod uticajem ultravioletne svetlosti. Prilikom izlaganja ovoj svetlosti EEPROM će, takođe, gubiti naelektrisanje. Pod uticajem gama zračenja fotoni dovoljnih energija uzrokovaće emisiju elektrona iz potencijalne barijere [16]. Tako će elektron u oksidu brzo biti premešten u podlogu ili kontrolni gejt pod dejstvom električnog polja. Gubitak elektrona takođe dovodi do opadanja napona praga. Sa druge strane, emisija elektrona ne dovodi do smanjenja debljine oksida [17].

Doprinos zračenjem indukovanih efekata je složena funkcija :

- sastav materijala i debljine izolatora gejta,
- metoda procesiranja i dopiranja izolatora gejta na površini Si.

To je i razlog što broj oštećenih lokacija u ispitivanim memorijama varira. Možemo zaključiti da su razlike broja defekata ispitivanih uzoraka posledica razlike u zapremini sloja oksida. Ako je aktivna zapremina sloja oksida vrlo mala detektuju se značajne fluktuacije apsorbovane doze.

ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza radijacione otpornosti EPROM i EEPROM komponenti. Pokazalo se da su EPROM komponente otpornije na dejstvo gama zračenja

^{60}Co. Naime, prve funkcionalne promene kod njih su primećene pri dozama reda 1200 Gy, dok je kod EEPROM-a to bilo pri dozama reda 1000 Gy. Ono što je još važnije kod EPROM-a te promene su reverzibilnog karaktera, ali se zbog kumulativnog dejstva zračenja prag otpornosti već ozračenih komponenti znatno smanjuje. Kod EEPROM-a ove promene su ireverzibilnog karaktera. Stoga je za primenu u radijacionom okruženju s aspekta radijacione otpornosti efikasnije koristiti EPROM komponente.

LITERATURA

[1] G.C. Messenger and M.S. Ash, The Effects of Radiation on Electronic Systems, Van Nostrand Reinhold, New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

[2] T. P. Ma and P.V. Dressendorfer, Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits, John Wiley & Sons, New York: John Wiley & Sons, 1989.

[3] P. Osmokrović, M. Stojanović, B. Lončar, N. Kartalović and I. Krivokapić, "Radioactive resistance of elements for over – voltage protection of low – voltage systems," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol. 140, p.p. 143–151, April 1998.

[4] B. Prince, Semiconductor Memories, A Handbook of Design, Manufacture and Applications, New York: John Wiley & Sons, 1991.

[5] D. B. Živković i M. V. Popović, Impulsna i Digitalna Elektronika, Beograd: Nauka, 1992.

[6] M. Kovačević, M. Orlić, S. Stanković, O. Čuknić i I. Avramović, "Metrološko obezbeđenje ratne dozimetrijske i radiodozimetrijske instrumentacije," Bilten ŠC ABHO, br. 4, str. 42-50, Septembar 1996

[7] Shipper certificate for radioactive material, no. 12972, 1990.

[8] B. Lončar, S. Stanković, D. Novaković and P. Osmokrović, "Radioactive resistance of memory elements", Sveske fizičkih nauka (SFIN) 11, ser. A2, p.p. 117 – 120, 1998.

[9] B. Lončar, S. Stanković, D. Novaković, M. Kovačević and P. Osmokrović, "Radioactive resistance of EPROM components", in Proc. II Yugoslav Conference on Nuclear Society (YUNSC' 98), 1998.

[10] J. P. Raymond, "IEEE Nuclear and Space Radiation Effects (NSRE) Short Course Notes," in Proc. Nuclear and Space Radiation Effects Conference, July 1985.

[11] D. M. Fleetwood, IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 39, no. 6, p.p. 269 – 273, December 1992

[12] B. Lončar, D. Novaković, S. Stanković i P. Osmokrović, "Radijaciona otpornost EEPROM komponenti," ETRAN' 99, rad prihvaćen za izlaganje

[13] J. M. Mc Garity, "Consideration for hardening MOS devices and circuits for low radiation dozes", IEEE Transactions on Nuclear Sciences, vol. 27, no. 6, p.p. 1739 – 1744, December 1980.

[14] J. R. Srour, Basic Mechanisms of Radiation Effects on Electronic Materials, Devices and Integrated Circits, New York: DNA–TR–82–80, 1982.

[15] E. S. Snyder, P. J. McWhorter, T. A. Dellin and J. D. Sweetman, "Radiation response of floating gate EEPROM memory cells," IEEE Transactions on Nuclear Sciences, vol. 36, no. 6, p.p. 2131–2139, December 1989.

[16] H. Yue, R. Jennings and R. Gray, "Radiation response of 64K – bit and 128K – bit UVEPROM's," IEEE Transactions on Nuclear Sciences, vol. 35, no. 6, p.p. 4282–4284, December 1983.

[17] T. F. Wrobel, "Radiation characterization of a 28C256 EEPROM," IEEE Transactions on Nuclear Sciences, vol. 36, no. 6, p.p. 2247-2251, December 1989.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF RADIOACTIVE RESISTANCE OF EPROM AND EEPROM COMPONENTS

Boris Lončar, Srboljub Stanković, Milojko Kovačević, Predrag Osmokrović

The aim of this paper is to examine and investigate comparative analysis the resistance of EPROM and EEPROM components under the influence of gamma radiation.

This problem is significant for military industry and space technology. Total dose results are presented for the JL 27C512 EPROM and 28C64C EEPROM components. There is evidence that EPROM components have better radioactive resistivity than EEPROM components. The obtained results are analyzed and explained theoretically via the interaction of gamma radiation with oxide layers.

NEKI PROBLEMI U KORIŠĆENJU I ODRŽAVANJU DOZIMETRIJSKE INSTRUMENTACIJE

R. Blagojević, M. Kovačević
INN „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

U radu su izneta visegodišnja zapažanja o problemima vezanim za način korišćenja i održavanja dozimetrijske intrumentacije. Razmatran je izbor uređaja, osetljivost, pouzdanost kao i pogodnost za održavanje. Izvršeno je grupisanje prema vrsti detektora, odabranih elektronskih kola i načinu prikazivanja rezultata. Posebna pažnja posvećena je problemima održanja deklarisanih karakteristika u širem vremenskom intervalu sa naglaskom na uređaje koji kao detektore koriste jonizacine komore a namenjeni su za merenje jačine doze i doze X i gama jonizujućih zračenja.

UVOD

Sa pronalaskom radioaktvnosti pojavila se i potreba za njenim merenjem. Detektori zračenja i elektronska kola za obradu impulsnih i jednosmernih signala, neprekidno su usavršavani. Najviše zastupljeni detektor je GM brojač iako su razvijeni drugi detektori visokih performanci kao što su poluprovodnički, scintilacioni, gasni itd. Razvijeni su detektori visoke osetljivosti za precizna merenja na nivou prirodnog fona i detektori veoma male osetljivosti za merenja u teškim akcidentalnim uslovima. Na polju elektronike postignut je izuzetno veliki napredak u obradi signala i prezentiranja rezultata merenja, i posebno na polju minijaturizacije. Savremeni dozimetrijski instrumenti su složeni i skupi uređaji koji, zbog svoje namene, zahtevaju od korisnika maksimalnu pažnju i odgovornost u pogledu održavanja u ispravnom stanju.

Vrste detektora i karakteristike

Prema tipu senzora detektore možemo podeliti na sledeći način:

GM brojači se upotrebljavaju za detekciju zračenja, kontrolu kontaminacije i merenje jačine ekspozicione doze X i gama zračenja. Zbog loše energetske karakteristike samog detektora kalibracija uređaja vrši se samo jednim radioizotopom, obično ^{60}Co. Ovi detektori omogućavaju merenje od nivoa prirodnog fona pa do ekstremno visokih doza.

Proporcionalni brojači se uglavnom koriste za merenje kontaminacije i redje jačina doze. Ovi detektori imaju visoku osetljivost i dobru energetsku zavisnost.

Jonizacione komore se koriste za merenje jačine ekspozicione doze i doze X i gama zračenja i nezamenljive su kao etaloni u metrološkim laboratorijama. Imaju dobre energetske karakteristike. Pokrivaju područje merenja od nivoa prirodnog fona do doza

koje se javlaju pri nuklearnom udaru. Za obezbeđivanje visokog nivoa osetljivosti pri merenjima jačina doza na nivou fona koje su reda [pC/kg s] koriste se komore velikih zapremina ili pod visokim pritiskom.

Scintilacioni detektori imaju visoku osetljivost, osetljivi su na promene temperature i osetljivi na potres.

Izbor i podela detektora

Izbor uređaja za kontrolu i merenje zahteva stručnu ekspertizu. Ona mora da obuhvati podatke o vrsti zračenja, jačini izvora, i zahtevima koji moraju biti zadovoljeni za svako radno mesto. Tek na osnovu ovakve analize može se preporučiti odgovarajući detektor. Nažalost, česta je pojava da se uređaji kupuju da bi se zadovoljila zakonska forma.

Uređaje možemo grubo podeliti na uređaje za mirnodopsku kontrolu radioaktvnosti (proizvodnja izotopa, primena u industriji, medicini, nauci itd.) i na uređaje za ratne uslove.

Uređaji za mirnodopsku kontrolu koriste detektore visoke osetljivosti, za detekciju i merenje nivoa neposredno iznad prirodnog fona. Primenjuju se u svim oblastima koje se bave zaštitom čoveka i njegove okoline. Ovi uređaji se prave kao prenosni ili stacionarni. Većina uređaja za opštu dozimetrijsku kontolu u praksi imaju u sebi ugrađene detektore kako za nisku tako i za visoku osetljivost. Svrha im je da pokriju nivoe zračenja od prirodnog fona do nivoa jačina ekspozicionih doza do [70 μC/kg s] .

Uređaji za ratne uslove daju informaciju o nuklearnom udaru, jačini polja, stepenu kontaminacije i poseduju automatiku za aktiviranje uredjaja za zaštitu objekata i ljudi. Lokacija ovih uređaja je u atomskim skloništima, borbenim vozilima i centrima za uzbunjivanje i osmatranje.

Izbor proizvođača

Kod nas su zastupljeni praktično svi poznati svetski proizvođači sa mnoštvom modela: Vectoreen, Keitley, Eberline, Nuclear Enterprice, a od domaćih „Rudi Čajevec“ i Institut „Vinča“. Strani proizvođači pokrivaju specifična područja merenja radioaktivnosti, a domaći opštu kontrolu polja i kontaminacije. Izbor proizvođača često opredeljuje reklamirana vrhunska osetljivost uređaja što nije garancija da će u dužem periodu ova osetljivost biti i održana. Domaći proizvođači sa raspadom Jugoslavije su praktično nestali. Najveći proizvođač „Rudi Čajevec “ sada je u drugoj državi.

PROBLEMI ODRŽAVANJA I POUZDANOST

Višegodišnji rad na razvoju, kalibraciji i održavanju dozimetrijske instrumentacije dao nam je potpunu sliku o njenom kvalitetu. Kriterijumi koji su o tome odlučivali su: dozimetrijske karakteristike, pogodnost za održavanje, prenosivost i cena.

Problemi i greške kod dozimetrijske instrumentacije

Detektor zračenja je najosetljiviji deo uređaja a ujedno i najnepouzdaniji element. S jedne strane, zbog male mehaničke čvrstine, izložen je mehaničkim povredama, s druge strane u dužem vremeskom intervalu dolazi do degradacija dozimetrijskih

karakteristika Periodičnom kalibracijom moguće je korigovati samo neke od karakteristika. Najčesći problemi koji postoje kod detektora su sledeći:

- kod GM–brojača: povišen fon, proboj usled visokog napona, zasićenje brojača u radnom delu karakteristike, gubljenje nagiba, mehanička ostećenja (najčešće prozora);
- kod scintilacionih brojača: oštećenje kristala, izlaganja fotomuliplikatora dnevnoj svetlosti, ubrzano starenje ako se koristi u strujnom režimu rada,
- kod jonizacionih komora: držanje u vlažnoj atmosferi, mehanička oštećenja.

Kod svih detektora postoje brojni činioci koji utiču na degradaciju karakteristika. Ovde će biti dati samo problemi za jonizacionu komoru.

Centralna elektroda komore se nalazi na visokoj izolaciji, odvojena od spoljne elektrode zaštitnim prstenom. Mehanička konstrukcija je takva da elektroda, usled pomeranja uređaja, vibrira pri čemu se menja kapacitet komore što neminovno dovodi do netačnog i nestabilnog prikazivanja rezultata. Smanjena izolaciona otpornost između elektroda smanjuje struju jonizacije. Spoljna elektroda je pod visokom naponom i napravljena od materijala koji ima dobre energetske karakteristike. Obložena je sa unutrašnje strane provodnim materijalom, najčesće koloidnim grafitom. Osetljiva je na mehaničke udare. Radiološka nečistoća materijala iz obloge komore utiče na stvaranje strujnih impulsa pri nivoima zračenja blizu fona. Izolacioni materijali između elektroda mogu imati efekat pamćenja pa je potrebno više sati od uključenja za električno rasterećenje. Komora je osetljiva na elektromagnetne smetnje, a u zavisnosti od provodnosti obloge i na elekrostatičke. Vlaga iz vaduha smanjuje površinsku izolaciju, a promena pritiska menja faktor kalibracije.

Problemi i greške na nivou elektronskih kola. Ovde spadaju greške specifičnih elektronskih kola, kao što su elektrometarski pojačavači, reitmetri i naponski konvertori. Najveći deo problema odnosi se na spoj jonizacione komore i elektrometarskog pojačavača.

Na nivou elektrometarskog pojačavača najveću prepreku očuvanju mernih karakteristika uređaja predstavlja parazitna stuja ulaznog elementa struji rešetke elektrometarske cevi, te struji gate-a MOS FET-a ili FET tranzistora. Ova struja direkno utiče na osetljivost mernog uređaja i tačnost merenja. Ova struja potiče od loše izolacije između elektroda i same struje upravljačke elektrode kod elektrometarske cevi, odnosno struje gate-a kod MOS FET i FET tranzistora. Dopunsku smetnju kod MOS FET tranzistora izaziva efekat pamćenja na dijalektriku između gate-a i kanala. Mana MOS FET tranzistora je i relativno nizak dozvoljeni napon između spojeva gate–source odnosno gate–draina pa su česte pojave oštećenja na ovim kanalima u uslovima ”over load “ (npr. Bebilyne31). Novija rešenja koriste kvalitetne FET tranzistore sa ulaznim strujama koje odgovaraju karakteristikama elektrometarskih cevi sa mogućnošću kompezovanja u širokom opsegu promena temperature (npr. PTW i PD–4).

Nezavisno od postojećih karakteristika ulaznih elemenata vlaga predstavlja jednu od osnovnih prepreka njihovom očuvanju. Pokazalo se u praksi da veliki broj uređaja koji koristi jonizacione komore usled dugotrajnog skladištenja nije upotrebljiv. Struja curenja nastala prodorom vlage može da da lažnu sliku o prisustvu polja zračenja. Drugi problemi i greške vezani su za merne otpornike koji imaju velike otpornosti reda 10^{12} ohma unutar elektrometarskog pojačavača. Otpornici vremenom gube svoju vrednost, utiču na tačnost merenja i zahtevaju periodičnu kalibraciju uređaja.

Problemi i greške kod uređaja. Postoje greške za koje su isključivi krivci konstruktori uređaja. Pojedini uređaji se podešavaju pre merenja korišćenjem kalibracionog izvora. To podrazumeva da u okolini samog uređaja ne postoji nikakvo radioaktivno zračenje što je u nekim uslovima može biti neostvarljivo. Pošto se ovde radi o

kalibracionim izvorima male aktivnosti lako se dolazi u apsurdnu situaciju da u uslovima velikih jačina ekspozicionih doza uređaj pokazuje nivo jačine doze kalibracionog izvora. Utešno je što je broj ovakvih uređaja mali i što se oni povlače iz upotrebe.

Uređaje koji "pregorevaju" u polju nalazimo kod dozimetara koji koriste jonozacione komore. Struja iz komore u određenim uslovima na ulazu elekrtometarskog pojačavača stvara napon koji je veći od dozvoljenog napona ulaznog elementa MOS FET pri čemu dolazi do njegove degradacije. Vremernska konstanta punjenja parazitnog kapaciteta na ulazu MOS FET je znatno manja od brzine reagovanja zaštitnog kola.

Pored ovih čisto tehnoloških problema, u našim uslovima prisutan je i jedan korisnički koji utiče na trajnost uređaja. Često se u uređajima posle merenja ostavljaju baterije. Kvalitet baterija na našem tržistu ne odgovara svetskim standardima. One su podložne curenju i oštećuju najpre kontakte, pa potom i ceo uređaj

Drugi vid problema javlja se prilikom baždarenja uređaja i oni spadaju u kategoriju konstruktivnih nedostataka. Elementi za baždarenje (obično su to potenciometri) su neadekvatnog kvaliteta i nisu pogodni za blokiranje. Prepoznavanje baždarnih elemenata često je nemoguće bez detaljne dokumentacije.

ZAKLJUČAK

U našim uslovima ne postoji organizovano praćenje nabavke, korišćenja i održavanja dozimetrijske instrumentacije. Dozimetrijska instrumentacija u našoj zemlji, uglavnom je zastarela i dobrim delom amortizovana. Ova instrumentacija je neplanski nabavljana od velikog broja različitih proizvođača. Sa stanovišta održavanja bitno je da se izvrši što veća unifikacija instrumenata odnosno da se broj proizvođača od kojih se nabavlja oprema svede na minimum.Većina zemalja u našem okruženju bez obzira na tehnološku razvijenost imaju svoje nacionalne proizvođače. Kod nas su domaći proizvođači sa raspadom Jugoslavije praktično nestali. Za pouzdan rad posebno je značajno da se vrši redovna kalibracija uredjaja. Samo kalibrisan instrumen je metrološki ispravan.

LITERATURA

[1] Hojberg, K. S. A Transistorized Electrometar Amplifier, (letter), Electronic Engeneering, November, 1967.

[2] Low–Current Measurement Using Metal Oxid Field Effect Transistors, General Micro Electronics inc. Application Notes, Vol.1, No.1

[3] M. Šobajić, R. Blagojević, Primena tranzistora sa izolovanim gejtom u jednosmernim pojačavačima velike ulazne impedance, XI Conference on Electronic, Niš, June 1967.

ABSTRACT

SOME PROBLEMS IN USE AND MAINTENANCE OF DOSIMETRY INSTRUMENTS

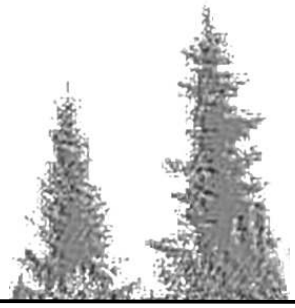
R. Blagojević, M. Kovačević
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

In this paper we present our observations concerning the use and maintenance of dosimeters. The aim is to acknowledge the state of arts in this field in Yugoslavia. The

choice of instruments, their sensitivity, reliability, the reading mode and maintenance comfort are discussed. The instruments are divided into groups according to the type of detector, electronic circuits, mode of reading and portability. Special attention is paid to the problem of long-term preservation of declared characteristics especially in the case of instruments with ionizing chambers as detectors, designed for measuring dose rate and dose of X and γ – radiation.

6

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI



PROCENA DOZE ZA PROFESIONALNO IZLOŽENA LICA U OBLASTI INVAZIVNE KARDIOLOŠKE RADIODIJAGNOSTIKE

Ž. Ilić, D. Košutić[1], S. Ilić[2]
Institut za nuklearne nauke Vinča, Medicinska zaštita
[1] Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija "Zaštita"
[2] KCS,Institut za kardiovaskularne bolesti, Beograd

SADRŽAJ

Ozračenost najvećeg broja profesionalno izlošenih lica je u okviru dozvoljenih doza, dok je 1- 4% lica je u okviru dozvoljenih 20 mSv, i najveći broj ovih lica su upravo lekari kardiolozi i radiolozi u invazivnoj kardiologiji . Prosečna godišnja doza je 33,56 m Sv za lekare dok sestre instrumentarke primaju prosečno 11,21 msv godišnje. Ekvivalentna doza za lekara koji obradi 30 pacijenata mesečno bez upotrebe zaštitnih sredstava iznosi oko 60 mSv, za sestru instrumentarku pod istin uslovima doza iznosi oko 50 mSv. Zato je potrebno ove metode invazivne dijagnostike raditi u strogo indikovanim slučajevima, uvesti obaveznu upotrebu ličnih zaštitnih sredstava (kecelje, naočari, štitnik za tireoideju, viseći paravani i sl.), obavezno nošenje i kontrolu TLD i obavljati redovne zdravstvene kontrole prema pozitivnim zakonskim propisima (Sl. list SRJ 46/ 96, 45/ 97).

UVOD

Upotreba jonizujućeg zračenja u medicini obuhvata oko 30 % opšteg ozračivanja stanovnoštva. Deo tog ozračivanja pripada profesionalcima koji u dijagnostičke i terapeutske svrhe primenjuju jonizujuća zračenja. U ovoj grupi profesionalaca značajno je učešće radiologa i kardiologa koji u oblasti invazivne kardiološke dijagnostike obavljaju najrazličitije procedure na pacijentima. Za razliku od standardnih dijagnostičkih procedura gde se na polju zaštite profesionalno izloženih lica mnogo učinilo (izdvajanje u posebno odeljene kabine, primena TV lanaca i slično), još uvek je veoma malo učinjeno u zaštiti lica koja se bave invazivnim metodama u Rtg dijagnostici , i to posebno u ovoj oblasti invazivne kardiologije.

CILJ RADA

Lica profesionalno izložena jonizujućim zračenjima čine deo populacije koji je svakodnevno izložen štetnom radiobiološkom dejstvu ovog zračenja. deo ove grupe su lekari radiolozi i kardiolozi koji uz prateće osoblje (radiološki tehničari, sestre instrumentarke i ostali), aktivno učestvuju u izvođenju određenih dijagnostičkih i terapeutskih procedura kao što su plasiranje pace-makera, kataterizacije, angiografije,

ventrikuolografije, koronarografije i slično, a pri čemu uz pacijenta i sami bivaju izloženi direktnom snopu jonizujućih zračenja. Ovi radiobiološki efekti su ljudima čije je profesionalno opredeljenje radiološka zaštita, dobro poznati i oni zavise od više faktora kao što su jačina apsorbovane doze i radiosetljivost izloženih lica u oblasti invazivne kardiologije ukaže na stanje radiološke zaštite za ovu grupu zdravstvenih radnika.

METOD RADA

Merenja apsorbovanih doza jonizujućih zračenja su obavljene jonizacionim komorama u salama za invazivnu kardiološku dijagnostiku Instituta za kardiovaskularne bolesti u Sremskoj Kamenici , u visini glave lica koja su obavljala dijagnostičke procedure (lekari kardiolozi, sestre instrumentarke i radiološki tehničari) za period 1994 - 98. od strane fizičara Laboratorije za zaštitu Instituta u Vinči. Efektivne ekvivalentne doze čitane su sa TLD-a obrađenih u Laboratoriji za ličnu dozimetriju. Pri radu, nažalost, nije korištena nikakva zaštitna oprema sem zaštitne kecelje. Vrednosti ovako izmerenih doza su:

-glava kardiologa	0,30 m Gy
-glava sestre instrumentarke	0,23mGy
-glava radiooškog tehničara	0,06 mGy

Već u uslovima primene samo jednog dodatnog zaštitnog sredstava- pokretnog visećeg paravana, jačina apsorbovane doze jonizujućih zračenja u vazduhu se smanjuje u visini glave kardiologa za 0,24 mGy i iznosi samo 0,06mGy.

Ovi podaci postaju nam bliši i jasniji u svetlu praćenja ekvivalentnih doza dobijenih očitavanjem ličnih dozimetara korisnika. Naime, naši zakonski propisi predviđaju da se lica profesionalno izložena jonizujućem zračenju prate na tri načina:

- direktnim merenjem jačina apsorbovanih doza jonizujućih zračenja i procenom kvaliteta snopa jonizujućih zračenja
- upotrebom i redovnom kontrolom TL dozimetara
- kontrolama zdravstvenog stanja profesionalaca po pravilniku

Ni jedan od ovih načina sam za sebe nije dovoljan pokazatelj stepena ozračenosti profesionalno izloženih lica. Tako podaci koji su dati o jačini apsorbovane doze u visini glave profesioanalaca, a koji su gore navedeni, sami za sebe ne govore ništa, i moraju biti dopunjeni podacima iz tačke 2 i tačke 3. Tek tada, kada ih posmatramo zajedno , možemo doći do pouzdanih zaključaka o tome da li jeste ili nije došlo do ozračivanja ovih lica dozama većim od dopuštenih za profesionalce prema ICRP- u.

REZULTATI RADA

Ozračenost najvećeg broja profesionalno izloženih lica (96- 99%) je znatno ispod dozvoljenih granica za ova lica, a koje su po ICRP-u 20 mSv za godinu dana (odnosno 100 mSv za petogodišnji period, uz maksimalno dozvoljenu dozu od 50 mSv godišnje). Samo 1- 4% ovih lica primi u toku jedne godine doze veće od 20 mSv. Nažalost , u ovom procentu najveći je udeo zdravstvenih radnika iz oblasti invazivne kardiološke dijagnostike. Tako nam tabela 1 daje prikaz prosečnih primljenih doza za profesionalce (lekari radiolozi, lekari kardiolozi, sestre instrumentarke i radiološki tehničari), a za petogodišnji period dobijenih očitavanjem TLD dozimetara. Srednju prosečnu dozu za ovaj petogodišnji period za svaku pojedinu grupu prikazuje nam tabela 2.

Tabela 1. Pregled prosečnih godišnjih doza u mSv za period 1994- 1998 g

GODINA	LEKARI	SESTRE INSTR.	RADIOLOŠKI TEHN.
1994	32,34	18, 43	6,25
1995	30, 92	17,94	5,96
1996	29, 02	17,05	5,14
1997	27,93	16,67	5,59
1998	26,65	15,99	5,88

Tabela 2. Pregled srednjih prosečnih doza u mSv

ZANIMANJE	SREDNJA DOZA
LEKARI	29,37
SESTRE INSTRUMENTARKE	17,22
RADIOLOŠKI TEHNIČARI	5,76

Nažalost, vidimo da je ugrožena populacija lekara kardiologa i radiologa koja prosečno prima 29,37 mSv godišnje, a što prelazi dozvoljenu dozu od 20 mSv godišnje za profesionalno izložena lica prema preporukama ICRP- a. Sestre instrumentarke primaju znatno nižu dozu, od 17,22 mSv godišnje, koja je unutar dozvoljene vrednosti prema istim preporukama, dok su radiološki tehničari u ovom pogledu u najboljoj situaciji i primaju ″svega″ 5,76 mSv godišnje u proseku, što je 5-6 puta niža efektivna ekvivalentna doza u odnosu na ″nosioce posla″, lekare radiologe i kardiologe.

ZAKLJUČAK

Analizom izmerenih vrednosti jačina apsorbovanih doza jonizujućih zračenja u vazduhu, dolazi se do podataka da bi ekvivalentna efektivna doza za lekara kardiologa za jednu godinu iznosila 60 mSv (pod uslovom da se obrađuje 30 pacijenata mesečno bez upotrebe ličnih zaštitnih sredstava), dok bi ona za sestru instrumentarku iznosila oko 50 mSv pod istim uslovima. Srećom, stvarna doza nije tolika. Nesklad između proračunatih vrednosti dobijenih merenjem jačine apsorbovane doze u vazduhu i vrednosti očitanih sa TLD dozimetaraobjašnjava se uvođenjem dodatnih momenata, kao što su:

- mesto na kome se nosi TLD(ruke, grudi, i sl)
- broj TLD-a koji se nose (1, 2 ili više)
- položaj TLD-a u odnosu na zaštitno sredstvo (ispod ili iznad kecelje)
- upotreba dodatnih zaštitnih sredstava(rukavice, naočari, vizir, i sl)
- redovnost nošenja i očitavanja TLD-a

Ipak, doze koje profesionalci u oblasti invazivne kardiologije primaju izuzetno su visoke, za lekare kardiologe ove doze su iznad granica dozvoljenih i postoje veliki problemi u oblasti zaštite za ovu grupu profesionalaca. Problemi su sledeći:

- Način na koji se izvode invazivne dijagnostičke metode koji sam po sebi ne može da obezbedi dovoljno dobru zaštitu lekara i pratećeg osoblja, jer je ono stalno neposredno uz pacijenta i u direktnom snopu jonizujućih zračenja za sve vreme trajanja postupka.

– Neprimenjivanje ličnih zaštitnih sredstava kao što su zaštitne kecelje, rukavice, viziri, naočari, viseći paravani i sl., iz najrazličitijih razloga

– Neredovno nošenje i očitavanje TL dozimetara i indolentan odnos profesionalno izloženih lica prema kontrolama sopstvenog zdravstvenog stanja a na šta su inače zakonskim propisima obavezani

Šta uraditi da se stanje u ovoj oblasti radiološke zaštite popravi:

1- Postupke invazivne dijagnostike izvoditi samo u strogo indikovanim slučajevima i uz maksimalnu efikasnost postupka (radi bolje zaštite i lekara i pacijenta, pa i okoline, uz najmanje moguće komplikacije i bez ponavljanja zahvata)

2- uvesti obavezno korištenje svih zaštitnih sredstava čija je primena moguća (zaštitna kecelja, rukavice, vizir, naočari, štitnik za tireoideju, viseći paravan i slično)

3- Redovno nošenje i očitavanje TLD-a kako bi svaki korisnik bio upoznat sa svojom primljenom dozom, kao i pravilno nošenje istog (ispod kecelje, sa leve strane grudi)

4- Uvođenje nošenja tri dozimetra (NCRP, Safety series 122)

5- Redovne zdravstvene kontrole u za to referentnim ustanovama prema programu za profesionalno izložena lica, jer su ovako dobijeni podaci o stanju profesionalaca dragoceni u otkrivanju i lečenju eventualnog profesionalnog oboljenja i u smislu prevencije i očuvanja dobrog zdravstvenog stanja lica koja se bave invazivnom kardiologijom.

ABSTRACT

ESTIMATION OF DOSE LEVEL FOR PERSONAL
IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

Ž. Ilić, D. Košutić[1], S. Ilić[2]

Irradiation of greatest number of personal in diagnostic radiology and interventional cardiology is in level of recommandiatons of ICRP 60. Only 1-4% of these personal accept effective dose larger than this. That is the group of cardiologists and radiologists in ininterventional cardiology, which have annual acception the effective dose one to two times larger than limited. We suggest what to do to make this annual income of irradiation decrease.

ALGORITAM PROCENE STEPENA OZRAČENOSTI PLODA IN UTERO

Ž. Ilić, D. Košutić[1], I. Tulić[2]
Institut za nuklearne nauke Vinča, Medicinska zaštita
[1] Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija „Zaštita“
[2] KCS, Institut za ginekologiju i akušerstvo, Beograd

SADRŽAJ

U slučaju akcidentalnog ozračivanja ploda postoji mogućnost procene stepena njegove ozračenosti. Elementi ove procene obuhvataju medicinski deo posla i deo koji obavljaju stručnjaci drugih profila, kao što su fizičari koji se bave procenom apsorbovane efektivne doze.Ovde je prikazan algoritam postupka u slučaju akcidentalnog ozračivanja ploda. Obzirom na zakonom predvidjenu obavezu da se kod fertilnih žena radiološki pregledi obavljaju samo u prvih deset dana menstrualnog ciklusa, svako rešavanje problema ove vrste jeste ispravljanje greške nadležnog lekara.

UVOD

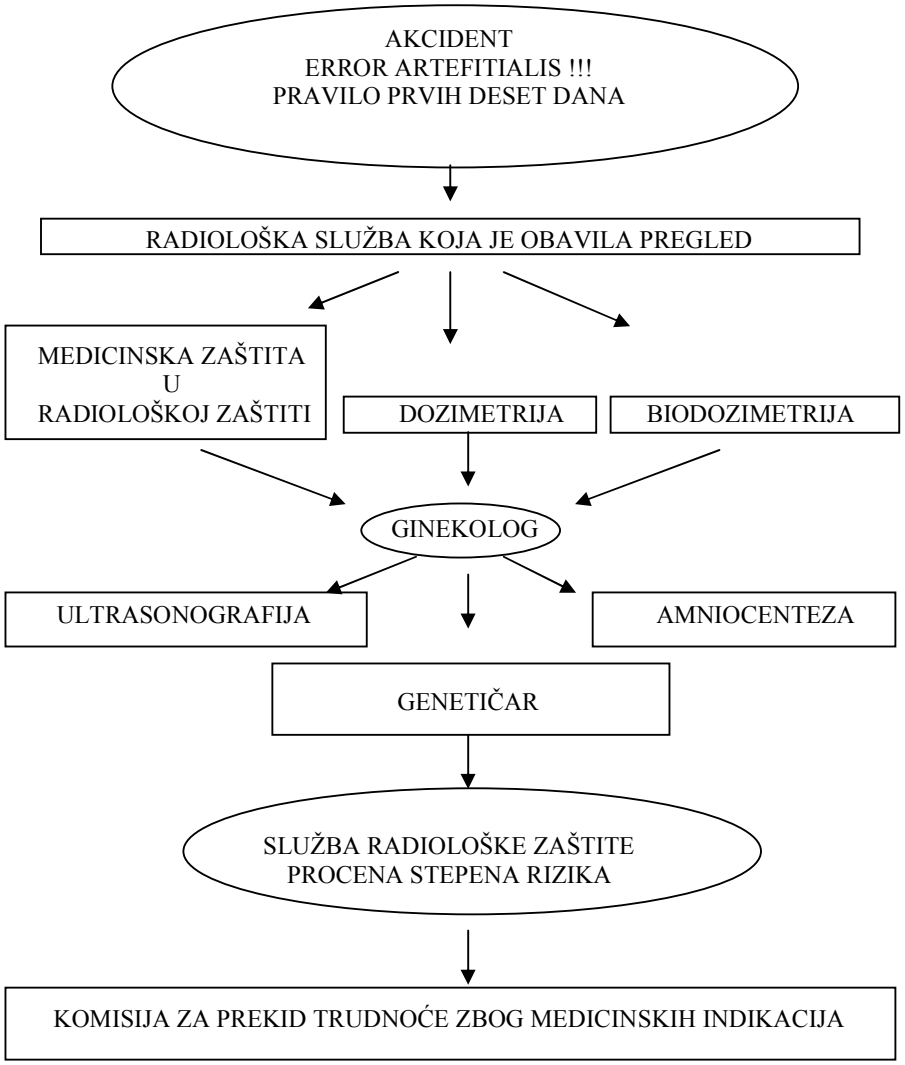
Svako ozračivanje ploda smatra se arteficijelnom greškom. Naši zakonski propisi (Sl. list 32/ 98, član 29) predviđaju, da se dijagnostički postupci uz upotrebu jonizujućih zračenja mogu primeniti kod žena u fertilnom periodu ukoliko bi se snopom zračenja ozračila i karlica, samo u prvih deset dana menstruacionog ciklusa. Naravno, od ovog ″pravila prvih deset dana″ izuzimaju se slučajevi kada za primenu ovakvog dijagnostičkog postupka postoje vitalne indikacije.

Za navedene slučajeve akcidentalnog ozračivanja gde postoji želja za održanjem začetog ploda, pruža se mogućnost procene stepena ozračenosti ploda prema algoritmu koji će biti prikazan u ovom radu.

ELEMENTI PROCENE STEPENA OZRAČENOSTI PLODA

Elementi procene obuhvataju uz medicinski aspekt ocene i elemente za koje nam je neophodna saradnja sa fizičarima koji se bave procenom efektivne doze jonizujućih zračenja, saradnja sa radiološkom službom koja je obavila određenu radilološku proceduru, saradnja sa ginekologom koji će obaviti amniocentezu i ultrasonografski pregled trudnice i ploda, kao i saradnja genetičara i molekularnog biologa koji će obaviti pregled hromozoma iz plodove vode i horionskih čupica.

ALGORITAM POSTUPKA KOD AKCIDENTALNOG OZRAČIVANJA PLODA



Efekti jonizujućih zračenja mogu biti stohastički, nezavisni od veličine doze i biti uzrok određenih mutagenih i karcinogenih posledica po plod. Stohastički efekti su uglavnom genetski ali mogu biti i somatski.

Teratogeni, somatski efekti jonizujućih zračenja nisu stohastički, jer je za njihov nastanak neophodno postojanje praga doze, što se upravo dešava u ovakvim akcidentalnim ozračivanjima. U različitim stadijumima razvitka ploda teratogeni efekti su različiti.

1. FAZA PRENIDACIJE (I nedelja graviditeta), u toku koje se formira sićušna masa usko embrionalnih ćelija. Tu je dejstvo jonizujućih zračenja dvojako: apsorbovana doza može biti dovoljna da uništi tu masu i tako onemogući implantaciju oplođene jajne ćelije u mukozu uterusa (″nemi ″ spontani pobačaj), ili je dovoljno mala da uništi samo mali broj ćelija koje bivaju zamenjene drugim, bez ikakvih posledica.
2. EMBRIONALNI PERIOD (II–VII nedelja graviditeta), period organogeneze, od desetog do četrdesetog dana graviditeta. U ovom periodu formiraju se organi, i tu su posledice ozračivanja najteže. Tu se javljaju teratogeni efekti, a najčešća teratogena mutacija u ovom periodu, zapažena empirijski kod dece Hirošime i Nagasakija, jeste mikrocefalija praćena mentalnom retardacijom. ICRP procenjuje da je rizik od teratogenih malformacija pri ozračivanju malim dozama 5: 10 000 po sivertu. Najizrazitija pojava mentalne retardacije je primećena u grupi koja se nalazila u periodu V– VIII nedelje i u XVI– XXV– oj nedelji po začeću, dok kod drugih grupa ovaj efekat nije primećen.
3. FETALNI PERIOD (VII nedelja graviditeta pa nadalje), u kojem je fetus već formiran kao mali organizam koji trpi posledice po principima radiopatoloških oštećenja kod odraslih ljudi. Tako se u slučaju globalnog ozračenja razvija visceralni sindrom i fetus umire od hemoragije u akutnom radijacionom sindromu. Obzirom na visoku radosenzitivnost embrionalnih tkiva, prag doza je znatno niža i dovoljna je doza od 2–3 Gy da izazove letalni ishod. Ozračenja in utero u ovom periodu daju porast mortaliteta zbog malignoma i to pre svega leukoza, i to u prvih deset godina života. Verovatnoća indukcije malignoma po WHO je 2: 10 000 po sivertu. Do pojave određenih malformacija može doći i pri niskim apsorbovanim dozama, reda desetih delova greja, a teratogena smrt u fazi nidacije javlja se i pri dozama nižim od greja. Ovim se objašnjava potreba pridržavanja pravila deset dana (radiološke metode primenjivati samo u prvih deset dana menstruacionog ciklusa, osim u vitalnim indikacijama).

Što se tiče efekata jonizujućih zračenja na nasledni materijal, to su takozvane mutacije genetskog materijala koje mogu biti indukovane različitim dozama jonizujućih zračenja i uvek su stohastičke. Efekti jonizujućih zračenja na embrion su tako intenzivni da je već doza od 0, 25 Gy u toku prvih nekoliko nedelja graviditeta doza rizika.

U slučaju akcidentalnog izlaganja jonizujućim zračenjima u graviditetu, postoji mogućnost procene stepena ozračenosti ploda. Elementi procene stepena ozračenosti obuhvataju aspekte koji traže angažovanje određenog broja stručnjaka kako medicinskog tako i nemedicinskog profila. Kao što vidimo na algoritmu, akcidentalno ozračena trudnica se nakon ginekološkog pregleda upućuje u radiološku službu koja je greškom izvršila radiološki pregled kako bi se utvrdili uslovi u kojima je obavljen dijagnostički pregled (napon struje, dužina ekspozicijei itd). Sa ovim podacima, trudnica se javlja u medicinsko odeljenje službe radiološke zaštite, gde na osnovu dobijenih podataka medicinski fizičari ove službe proračunavaju ekvivalentnu efektivnu dozu i dostavljaju specijalisti radiološke zaštite. U međuvremenu, trudnici se uzima krv za hematološke analize (broj crvenih i belih krvnih zrnaca sa leukocitnom formulo), analizu hromozomskih aberacija. Ovom analizom utvrđuje se učestalost hromozomskih aberacija, pre svega strukturnih, za svaku dozu veću od 0,5 Gy. Lekar specijalista genetičaru šalje oba buduća roditelja radi određivanja kariotipa ploda i formiranja definitivne slike o stanju genetskog materijala ozračenog ploda. U međuvremenu, ultrasonografski pratimo plod, i eventualno, isti ginekolog pristupa analizi plodove vode amniocentezom ukoliko je plod u tom stadijumu intrauterinog života, kako bi dobio što preciznije podatke o njegovom eventualnom oštećenju. Tek nakon sumiranja i obrade svih ovih podataka od strane nevedene grupe eksperata, može se pristupi oceni

stepena rizika od zračenja u odnosu na plod. Nesumnjivo, stepen preciznosti i tačnosti ocene ovog stanja veoma je visok, i ocena se daje u dva pravca:
– ili je rizik od posledica izlaganja joonizujućim zračenjima veći od ostalih rizika u trudnoći (to jest kada je doza značajno veća od prirodnog fona, koji je za naše uslove oko 2 mSV)
– ili se radi o izuzetno niskom doprinosu prirodnom fonu koji ne povećava u značajnoj meri ukupnu dozu, te se može reći da rizik nije ništa veći u odnosu na ostale nokse u graviditetu (hemijske nokse, ostale fizičke nokse, nasledni faktori, primipare vetuste.)

ZAKLJUČAK

U uslovima ″bele kuge″ , i relativno visokog procenta infertilnih brakova, kao i sve češćih pomeranja starosne granice za prvi porođaj kod žena na drugu polovinu tridesetih godina, ovakav pristup u tretiranju akcidentalnih ozračenja ima veoma veliki značaj. Ovo se može reći i za aspekt sanacije akcidentalnog, slučajnog ozračivanja mimo znanja gravidne osobe da se uopšte radi o graviditetu, ali i za situacije gde se nažalost, radi o zlonamernom ozračivanju kako bi se na komisijama za prekid trudnoće izdejstvovale beneficije za prekid trudnoće iz medicinskih indikacija, što nije redak slučaj. Zato, ovaj algoritam može pomoći velikoj grupi žena koje žele da sačuvaju plod i srećno donesu na svet željeno dete, ali i ginekolozima koji se susreću sa ovom drugom grupom, koja vrši zloupotrebe radiološke službe, pa na kraju i radiološkoj službi gde se ovakva akcidentalna ozračivanja zbog neuzimanja detaljne anamneze od fertilnih pacijentkinja u svakodnevnom radu često dešavaju.

ABSTRACT

EVALUATION OF LEVEL OF EBRYO IRRADIATION

In case of accidental irradiation in pregnancy, there is a possibility of avluation of embryo irradiation. we can make it in close cooperation with physicists, radiologists and gynecologists. Definite evaluation is made by interpreting all of results of measurement process of irradiation, gynecologists resulkts of amniocentesis and US – examinations and biodosimetry reaserch of chromosomes. We can definitely say that there are larger risks for pregnancy from ionizing irradiation than risks from other noxius.

PROCENA ORGANSKIH I EFEKTIVNIH DOZA ZRAČENJA U PEDIJATRIJI

M. Tomašević, B. Goldner[1]
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd
[1] Klinički centar Srbije, Beograd

SADRŽAJ

Za sprovođenje rendgendijagnostičkih postupaka u pedijatriji primenjuju se faktori opterećenja koji se značajno razlikuju u pojedinim zdravstvenim ustanovama. Razlog za tako stanje nalazi se pre svega u tome što još uvek nije izvršena adekvatna optimizacija i standardizacija dijagnostičkih postupaka.

Ispitivanja organskih i efektivnih doza zračenja u pedijatrijskoj rendgendijagnostici, izvršena u 1998. godini, pokazala su da se u najvećem broju zdravstvenih ustanova deca izlažu velikim dozama zračenja.

Procena organskih doza i efektivnih doza zračenja za primenu rendgenskog zračenja u pedijatriji sprovedena je korišćenjem konverzionih koeficijenata (NRPB – R279). Za potrebe ovih ispitivanja ulazna doza je definisana kao apsorbovana doza u vazduhu u tački preseka snopa zračenja sa površinom pacijenta.

UVOD

Sistematsko ispitivanje ozračenosti pacijenata usled primene jonizujućih zračenja u našoj Zemlji se ne sprovodi. Do sada su na osnovu ličnog angažovanja pojedinica izvršena ispitivanja ozračenosti i određivanje genetski značajne doze i gonadne doze za populaciju Grada Beograda [1], određivanje ozračenosti pacijenata usled primene rendgenskog zračenja u stomatologiji, procena ozračenosti pacijenata i proračun radijacionog rizika za populaciju R Srbije usled primene radionuklida u dijagnostičke svrhe [2] i ispitivanje i proračun efektivnih doza zračenja za odrasle pacijente u oblasti rendgendijagnostike [3]. Primena rendgenskog zračenja u pedijatriji do sada nije nikada bila tretirana. Svi podaci o ozračenosti pacijenata i osoblja odnosili su se uvek samo na odrasle osobe.

Kako je primena rendgenskog zračenja u pedijatriji specifična, za sve koji rade u ovoj oblasti ili se bave zaštitom od jonizujućih zračenja, od posebnog su značaja podaci o:

uslovima pod kojima se sprovode dijagnostički postupci,
vrsti generatora rendgenskog zračenja,
faktorima opterećenja koji se primenjuju,
zaštiti pacijenata i osoblja i
vrednostima efektivnih doza zračenja.

METODA ISPITIVANJA

Određivanje organskih doza i srednje efektivne doze zračenja po sprovedenom rendgendijagnostičkom postupku izvedeno je na osnovu izmerenih prosečnih vrednosti kerme u vazduhu (mGy) uz primenu konverzionih koeficijenata koji baziraju na Monte Karlo simulaciji rendgendijagnostičkih postupaka i primeni matematičko-fizičkih fantoma dece.

U četiri specijalizovane ustanove za zdravstvenu zaštitu dece krajem 1998. godine sprovedena je anketa, uz saglasnost Saveznog Ministarstva za rad, zdravstvo i socijalnu politiku, sa ciljem da se utvrde uslovi izlaganja dece rendgenskom zračenju u dijagnostičke svrhe. Anketom su bili prikupljeni podaci o:

vrednostima faktora opterećenja [visoki napon rendgenske cevi (kV), struja rendgenske cevi (mA), vreme snimanja (s) ili proizvod struje i vremena (mAs)];

veličini ozračenog polja na koži pacijenta;

rastojanju fokusa rendgenske cevi od kože pacijenta;

vrsti pojačavačkih folija koje se koriste;

vreti i tipu radiografskih filmova koji se koriste za snimanje pacijenata;

vrsti kaseta za snimanje.

Uporedo sa prikupljanjem navedenih podataka u istim ustanovama vršeno je i merenje kerme u vazduhu na rastojanju fokus – koža pacijenta.

Konverzioni koeficijenti određeni primenom Monte Karlo tehnike za matematičko-fizičke fantome dece starosti 0, 1, 5, 10 i 15 godina korišćeni su u proračunu srednje efektivne doze zračenja (NRPB-R279, 1996).

REZULTATI

Kako se faktori opterećenja zbog primene različitih tehnika snimanja, primenjenog fotomaterijala i pribora razlikuju u ustanovama u kojima je vršeno merenje kerme u vazduhu u tabeli 1. iznete su najmanje i najveće procenjene vrednosti efektivnih doza zračenja.

Efektivne doze zračenja date su samo za dijagnostičke postupke koji se najčešće sprovode u zdravstvenim ustanovama.

ZAKLJUČAK

Rezultati prvih ispitivanja uslova pod kojima se vrši izlaganje dece rendgenskom zračenju u dijagnostičke svrhe ukazuju da se:

još uvek u svim zdravsvenim ustanova u kojima se vrši snimanje dece ne koriste pojačavačke folije na bazi retkih zemanja;

u većini zdravsvenih ustanova koriste neadekvatni faktori opterećenja;

ne koriste kasete od ugljenih vlakana;

koriste zastareli rendgen-aparati čije održavanje nije adekvatno;

ne sprovodi dosledno Program osiguranja kvaliteta;

procenjene vrednosti organskih doza i efektivnih doza zračenja značajno razlikuju (tabela 1).

Tabela 1. PROCENJENE MINIMALNE I MAKSIMALNE VREDNOSTI EFEKTIVNIH DOZA ZRAČENJA ZA DECU RAZLIČITIH GODINA STAROSTI.VREDNOSTI EFEKTIVNIH DOZA ZRAČENJA IZRAŽENE SU U msv

	Starost deteta u godinama									
Organ koji se snima	0		1		5		10		15	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	
Lobanja A-P	0,026	0,083	0,007	0,022	0,006	0,029	0,008	0,028	0,008	0
Lobanja P-A	0,011	0,035	0,006	0,02	0,005	0,027	0,008	0,026	0,007	0
Lobanja LAT	0,013	0,042	0,006	0,018	0,004	0,017	0,011	0,029	0,009	0
Pluća A-P	0,014	0,135	0,01	0,04	0,02	0,06	0,03	0,09	0,03	0
Pluća P-A	0,01	0,09	0,006	0,023	0,013	0,037	0,02	0,06	0,02	0
Pluća LAT	0,01	0,1	0,01	0,03	0,01	0,044	0,023	0,08	0,026	0
Karlica A-P	0,057	0,19	0,033	0,07	0,07	0,127	0,077	0,09	0,113	0
Abdomen A-P	0,119	0,242	0,463	0,062	0,127	0,153	0,138	0,156	0,19	0
Bešika A-P	0,056	0,184	0,045	0,098	0,074	0,143	0,088	0,102	0,065	0
Lumbalni deo kičmenog stuba A-P	-	-	-	-	-	-	0,075	0,212	0,11	0
Lumbalni deo kičmenog stuba LAT	-	-	-	-	-	-	0,029	0,109	0,041	0

Napomena:

1. Organske doze i efektivne doze zračenja procenjene su na osnovu konverzionih koefivcijenata koji su dobijeni Monte Karlo tehnikom za

matematičko fizičke fantome dece starosti: 0, 1, 5 10 i 15 godina (NRPB – R279, 1996.).

2. U tabeli su iznete najmanje i najveće vrednosti efektivnih doza zračenja dobijene na osnovu ankete koja je bila sprovedena u četiri specijalizovane ustanove za zdravstvenu zaštitu dece.

U cilju smanjivanja izlaganja dece rendgenskom zračenju potrebno je da se odmah:

postojeće kasete za snimanje zamene kasetama izrađenim od ugljenih vlakana;

nabave pojačavačke folije na bazi retkih zemalja i uvede Program osiguranja kvaliteta na osnovu usvojenih identičnih standarda JUS –IEC;

kod postojećih rendgen-aparata izvrši određivanje osnovnih vrednosti i ispitivanje njihove stalnosti a da se kod novo nabavljenih rendgen-aparata vrši prijemno ispitivanje i određivanje osnovnih vrednosti;

uvedu evidencije o ozračivanju dece i uslovima pod kojima se to sprovodi.

LITERATURA

[1] Križanović D.: Magistarski rad, Zagreb, 1974.

[2] Tomašević M.: Interno ozračivanje pacijenata i radijacioni rizik pri primeni radionuklida u medicinskoj dijagnostici. Doktorska disertacija, Medicinski fakultet u Beogradu, 1983.

[3] Tomašević M., Goldner B.: Rendgensko zračenje i zaštita u medicinskoj dijagnostici. Velarta, Beograd, 1998.

[4] Hart D., Jones D.G., Wall B.F.: Coefficients for Estimating Effective Doses from Paediatric X-ray Examination. NRPB-R279, 1996.

[5] European Commission: European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. EUR 16261 EN, 1996.

ABSTRACT

ESTIMATION OF ORGAN DOSES AND EFFECTIVE DOSES FROM PAEDIATRIC X-RAY EXAMINATION

M. Tomašević, B. Goldner[1]

Institute of nuclear sciences ”Vinča”, Belgrade

[1] Clinical center of Serbia, Belgrade

X-ray diagnostic procedures in Paediatric are performed according to the loading factors significantly differing from one to another health institution. The reasons for that primary lies in presently inadequate optimization and standardization of the diagnostic procedures.

The study of organ doses and effective doses in Paediatric diagnostic performed in 1998 revealed that in most of the health institutions the children were irradiated to considerably high doses.

Estimation of organ doses and effective doses for Paediatric diagnostic are made using conversion coefficients (NRPB-R279).

For the purposes of this study surface dose is defined as the absorbed dose to air at the point of intersection of the X-ray beam axis with the entrance surface of the patient, including backscattered radiation.

PONOVLJIVOST APSORBOVANE DOZE RENDGENSKOG ZRAČENJA KOD DIJAGNOSTIČKIH GENERATORA

O. Ciraj , D. Košutić
INN „Vinča”, Laboratorija za zaštitu od zračenja
i zaštitu životne sredine „Zaštita”, Beograd

SADRŽAJ

U radu je procenjena ponovljivost apsorbovane doze u vazduhu na osi snopa rendgenskog zraženja na određenom rastojanju fokus-detektor. Merenja su izvedena za monofazne monopulsne i trofazne šestopulsne i dvanaestopulsne generatore rendgenskog zraečenja u različitim zdravstvenim ustanovama. Iako je većina generatora pokazala zadovoljavajuću ponovljivost doze, srednje vrednosti doza za pojedine generatore su se razlikovale i za dva reda veličine usled niza faktora .

UVOD

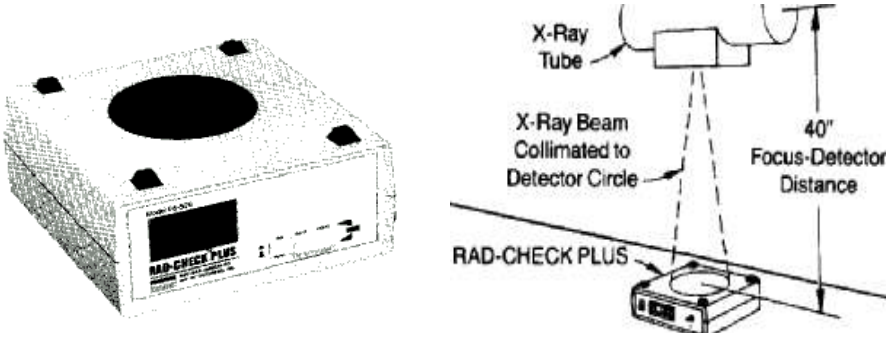
Fizičko-tehnički parametri, obuhvaćeni programom kontrole kvaliteta u radiološkoj dijagnostici imaju značajane reperkusije na kvalitet rendgenskog snimka i dozu za pacijenta. Stoga je provera pouzdanosti podešavanja i ponovljivosti visokog napona, struje i vremena snimanja neizostavan način za procenu kvaliteta generatora rendgenskog zračenja pri čemu treba uzeti u obzir da različite kombinacije fizičko-tehničkih parametra mogu rezultovati jednako kvalitetnom dijagnostičkom informacijom uz veoma različite doze za pacijente.

Prilikom provere pouzdanosti generatora rendgenskog zračenja u toku eksploatacije, pored provere pouzadanosti podešavanja i ponovljivosti visokog napona, vremena ekspozicije i struje, procenjuje se i uticaj ovih parametara na dozu rendgenskog zračenja i njenu ponovljivost. Preme propisima nekih evropskih zemalja ponovljivost doze rendgenskog zračenja mora biti u granicama od 10% a po američkim propisima do 5%. U našoj zemlji program osiguranja i kontrole kvaliteta u dijagnostičkoj radiologiji još uvek nije zakonski regulisan ali je od strane stručnog tela Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja predložena tolerantno odstupanje od 10%[3].

METOD MERENJA

Jedan od osnovnih elemenata dozimetrijske kontrole dijagnostičkih rendgen aparata jeste merenje apsorbovane doze rendgenskog zračenja u vazduhu na mestu pacijenta i na unapred definisanom rastojanju od fokusa rendgenske cevi (najčešće 1 m).

merenje apsorbovane doze rendgenskog zračenja izvršeno je jonizacionom komorom victoreen RAD CHECK Plus, model 06-526 za merenje ekspozicione doze i jačine ekspozicione doze rendgenskog zračenja u opsezima od 2.5810^{-7}C/kg do 5.15 10^{-4}C/kg i od 4.3 10^{-8}C/kgs do 8.6 10^{-5}C/kgs (0.001-2R i 0.01-20R/min), energetske zavisnosti ±5% u opsegu od 30-150 kVp i standardne kalibracije na 75 kVp pri ukupnoj filtraciji od 4 mm Al[5].



Slika1. Jonizaciona komora RAD CHECK Plus

Analizom je obuhvaćeno 133 trofaznih generatora rendgenskog zračenja (u šestopulsnom i dvanaestopulsnom spoju) i 122 stomatološka, monofazna, monopulsna generatora, postavljena u različitim zdravstvenim ustanovama. Merena je apsorbovana doza u vazduhu za standardne faktore opterećenja i geometriju koja se primenjuje tokom redovne provere kvaliteta ovih dijagnostičkih generatora rendgenskog zračenja.

Uslovi merenja doze u slučaju trofaznih generatora bili su sledeći: jonizaciona komora bila je postavljenja na sto za snimanje pacijenata na rastojanju fokus-detektor (FDD) od 1m. Svetlosnim vizirom u dubinskoj blendi zračnika rendgen aparata izvršeno je centriranje detektora. Otvor blende tj. ozračeno polje podešeno je na dimenzije 15x15 cm i time prilagođeno dimenzijama detektora. Na slici 1 je prikazana geometrija merenja apsorbovane doze rendgenskog zračenja u vazduhu.

Nakon obezbeđivanja geometrije merenja, na komandnom stolu generatora odabrani su faktori opterećenja: visoki napon U=100 kVp, struja rendgenske cevi I=320 mA i vreme ekspozicije t=0.5 s. Merenje apsorbovane doze rendgenskog zračenja u cilju procene ponovljivosti izvršeno je iz praktičnih razloga pet puta za svaki generator.

U slučaju monofaznih, stomatoloških generatora rendgenskog zračenja tubus uređaja se direktno prislanja na detektor a faktori opterećenja bili su sledeći: U=50 kVp, I=10 mA, t=1s.

Kriterijum za procenu ponovljivosti doze bio je $\sigma/\bar{D} \leq 0.05$, gde je $\bar{D}$ srednja vrednost doze iz pet merenja , σ standardna devijacija a odnos $\sigma/\bar{D}$ koeficijent varijacije. Odabrano maksimalno dozvoljeno odstupanje od 5% što predstavlja strožiji kriterijum.

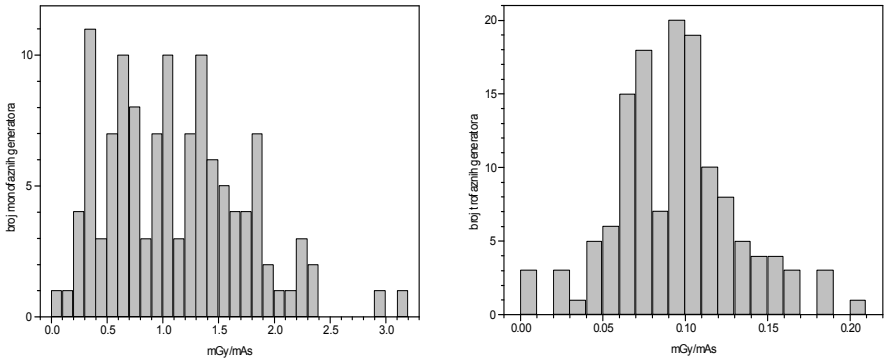
REZULTATI

Iako je većina generatora obuhvaćenih analizom pokazala zadovoljavajuću ponovljivost doze (95.90% u slučaju monopulsnih i 96.24% u slučaju višepulsnih),

konstatovane su velike razlike u srednjim vrednostima doza merenim pod istim uslovima i za iste tipove generatora rendgenskog zračenja. Za šestopulsne generatore srednja vrednost apsorbovane doze rendgenskog zračenja u vazduhu iznosi 15.4 mGy, maksimalna 32.1 mGy a minimalna 1.4 mGy pri sledećim uslovima: 100kVp, 320 mA, 0.5 s, FDD=100 cm, veličina polja 15x15 cm. Za stomatološke generatore srednja vrednost apsorbovane doze rendgenskog zračenja u vazduhu u konatktu tubusa sa detektorom iznosi 11.2 mGy, maksimalna 30.3 mGy a minimalna 0.6 mGy pri sledećim uslovima: 50 kVp, 10 mA, 1.0 s.

Tabela 1. Ponovljivost doze za monopulsne i trofazne generatore rendgenskog zračenja

tip generatora	broj	$\sigma/\bar{D} \leq 0.05$		$\sigma/\bar{D} > 0.05$	
		broj	%	broj	%
monofazni-monopulsni	122	117	95.90	5	4.10
trofazni	133	128	96.24	5	3.76



Slika 2. Vrednosti apsorbovanih doza u vazduhu za monofazne i trofazne generatore x-zračenja

Tabela 2. Vrednosti apsorbovane doze x-zračenja u vazduhu na mestu pacijenta

tip generatora	$\bar{D}$ (mGy/mAs)	σ(mGy/mAs)	D_{min}(mGy/mAs)	D_{max}(mGy/mA)
monopulsni	1.120	0.608	0.060	3.030
trofazni	0.096	0.035	0.009	0.200

ZAKLJUČAK

Izmerene doze se razlikuju i za dva reda veličine pri istim uslovima za iste tipove generatora. Uzroke za ovakvu neuniformnost treba tražiti u starosti generatora rendgenskog zračenja (prosek u našoj zemlji iznosi 21 godinu), različitoj pouzdanosti podešavanja visokog napona, struje i vremena ekspozicije, različitoj ukupnoj filtraciji…[8]. Usled velikih razlika u izmerenim dozama, veoma je teško izvršiti optimizaciju čak i za pojedine tipove generatora rendgenskog zračenja. Svaki generator se mora analizirati posebno. Pored toga, pri proceni doza za pacijente za istovetne dijagnostičke postupke prave se velike

greške, čak i u slučaju da su dijagnostički postupci izvedeni na istim tipovima aparata. Minimalni radijacioni rizik za pacijente u odgovarajuću dijagnostičku informaciju proističe iz rutinske i svakodnevne primene programa osiguranja i kontrole kvaliteta u radiološkoj dijagnostici. Ovaj program, kao sastavni deo dobre kliničke prakse pored odgovarajuće opreme zahteva pravilnu informisanost i obučenost medicinskog tima a konceptualno se u velikoj meri oslanja na medicinskog fizičara u radiološkoj dijagnostici.

LITERATURA

[1] WHO: Quality Assurance in Diagnostic Radiology. Workshop held in Neuherberg, 1982.

[2] Waggner R. Kereiakes J. Shalek R. CRC Handbook of medical Physics, Vol. II, CRC Press, Boca Raton, 1984.

[3] Tomašević M. Kontrola valiteta u rendgen dijagnostici. Monografija medicinska fizika 4, Institut za nuklearne nauke „Vinča", Beograd, 1995.

[4] Tomašević M., Goldner B. Rendgensko zračenje i zaštita u medicinskoj dijagnostici. Velarta, Beograd 1998.

[5] Victoreen Nuclear Assotiates: Rad Check Plus model 06-526. Instruction manual, 1989.

[6] IAEA: International Basic Safety Standards for Protection Against Ionising Radiation and for the Safety of radiation Sources. Wien, 1994.

[7] Wall B. How to Assess the Dose to the Patient in Diagnostic Radiology. IRPA9, Refresher course R-02. Wien, 1996.

[8] Košutić D., Ciraj O. Starost generatora rendgenskog zračenja na teritoriji RS, Zbornik radova XIX jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Golubac, 18-20 jun 1997:67-70.

ABSTRACT

DOSE REPRODUCIBILITY FOR DIAGNOSTIC X-RAY UNITS

O. Ciraj, D. Košutić

Institute of Nuclear Sciences ″Vinca″, Belgrade

Reproducibility of absorbed doses to air on x-ray beam axes at specified point has been evaluated. "Free-in-air" measurements have been performed for the three phase 6-pulse and 12-pulse and for the half-wave x-ray generators in different x-ray rooms. Although the majority of analyzed generators showed satisfied reproducibility of dose, the mean values of measured quantity ranged over two orders of magnitude due interaction of numerous factors.

IRIGOSKOPIJA - IRIGOGRAFIJA
METODA PREGLEDA, DOZIMETRIJA I ZAŠTITA

Ž. Zubanov, G. Kolarević[1]
Vojna bolnica, Novi Sad
[1] Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu, Beograd

SADRŽAJ

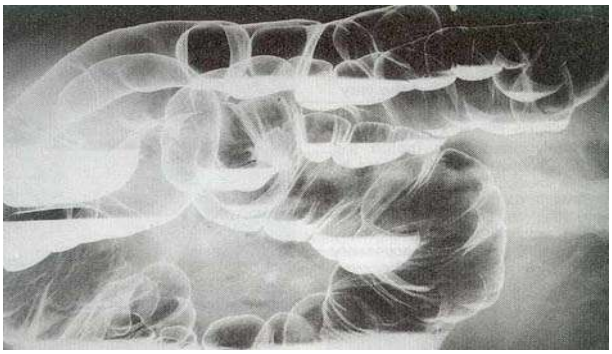
U radu je u kratkim crtama opisan način izvođenja pregleda, merenje ulazne apsorbovane doze na površini kože pacijenta i predlozi o eventualnoj primeni sredstava za zaštitu pacijenata pri irigoskopiji - grafiji.

UVOD

Irigoskopija predstavlja najpouzdaniju i najsigurniju metodu ranog otkrivanja neoplastičnih promena debelog creva, tako da je često indikovana dijagnostička metoda i pored neprijatnosti koju oseća pacijent pri samom pregledu, jer ne postoji adekvatna metoda koja bi je zamenila.

NAČIN IZVOĐENJA DIJAGNOSTIČKE METODE

Irigoskopija je kontrastna metoda pregleda debelog creva (dupli kontrast) koja traje oko 30 minuta (pacijent je u snopu oko 15 minuta). U toku pregleda pacijent svo vreme leži na stolu za snimanje. Primarni snop se usmerava na trbušni deo pacijenta u koga je prethodno klizmom ubačeno kontrastno sredstvo - barijum sulfat. Kontrastno sredstvo najpre ispunjava rektalni deo creva, zatim descendentni, lijenalnu fleksuru, transverzalni deo i ileocekalni deo kolona tj. debelog creva (slika 1). U toku pregleda pored skopiranja vrši se i grafija delova creva, ciljani i pregledni radiogrami i radiogram nakon pražnjenja debelog creva.



Slika 1. Desni laterarni radiogram kolona

TEHNIČKI PODACI APARATA I FAKTORI OPTEREĆENJA

Irigoskopija je rađena na dijagnostičkom rendgen aparatu 'Philips' Super 70 Undistat sa elektronskim pojačavačem slike i TV lancem koji radi u 6 - pulsnom spoju (proizveden 1970 godine). Maksimalne vrednosti mAs proizvoda i visokog napona koje se mogu se postići su 1000 mAs i 125 kV (110 kV pri skopiji) dok je moguće vreme ekspozicije pri grafiji 0.01 - 6 s. Ekvivalentna filtracija u zračniku je 3 mm Al.

Pri irigoskopiji pacijenata primenjuju se sledeći faktori opterećenja:		
	[kV]	[mAs]
ležeći položaj pacijenta	85 - 100	160 - 200
bočni položaj pacijenta	85 - 105	180 - 200
Pri irigografiji pacijenata primenjuju se sledeći faktori opterećenja:		
	[kV]	[mAs]
ležeći položaj pacijenta	85 - 100	160 - 200

DOZIMETRIJSKA KONTROLA

Victoreen Condenser R-metrom 570A merna je jačina apsorbovane doze na površini kože pacijenta pri rendgenoskopiji i iznosi 12.7 mGy/min (90 kV; 100 mAs.

Doza na površini kože pacijenta merena je termoluminiscentnim (TLD) dozimetrima (CaF_2: Mn). Isti su postavljani pacijentima prilikom pregleda u nivou: vrata, trbuha i gonada. Pacijenti nisu štićeni zaštitnim sredstvima (kapsule za testise) u toku skopija - grafija (specifičnost pregleda otežava primenu zaštitne kecelje ili štitnika za jajnike), dok osoblje profesionalno izloženo jonizujućem zračenju, od zaštitnih sredstava koristi: zaštitne kecelje i rukavice od 'olovne' gume (0.5 mm Pb) kao i naočare sa 'olovnim' staklom. U Vojnoj bolnici Novi Sad svaki radiolog uradi 15 - 20 irigoskopija mesečno.

Pacijent je pod skopijom proveo 15 min. pri sledećim faktorima opterećenja: 85 kV i 160 mAs. U toku pregleda urađena su i dva pregledna snimka (85 kV i 160 mAs), četiri ciljana- pacijent leži na leđima (85 kV i 160 mAs) i dva bočna ciljana- levi i desni (85 kV i 180 mAs).

Pri navedenim faktorima opterećenja rendgen aparata i trajanju intervencije, izmerene su sledeće vrednosti ulaznih doza na površini kože pacijenta (merenja su vršena odvojeno kod dva radiologa):

	Ulazna doza na površini kože pacijenta po jednoj intervenciji [mGy]
mereno u nivou vrata	0.03-0.07
mereno u nivou trbuha	0.50-18.00
mereno u nivou gonada	38.26-58.76

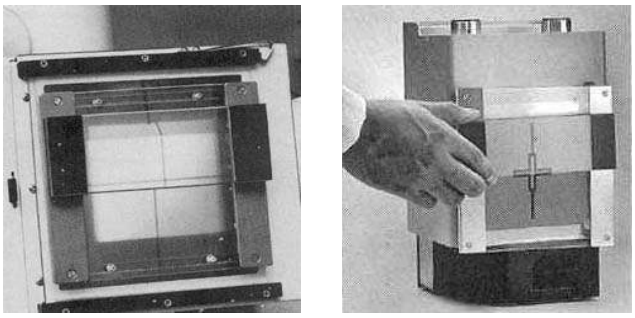
ZAŠTITA PACIJENATA - PREDLOZI ZA NJENO POBOLJŠANJE

a) Često je ova vrsta pregleda radiološki neopravdana jer kliničari 'lutaju' u dijagnostici a pacijenti uglavnom imaju više od 75 godina starosti te su iznemogli, teško

pokretni i svojim stanjem otežavaju i usporavaju pregled te se ujedno i duže zadržavaju u snopu zračenja. Takođe se dešava da je pacijent neadekvatno pripremljen za pregled te se isti odlaže a pacijent se ponovo izlaže dejstvu jonizujućeg zračenja. Metodu treba adekvatno indikovati, na visoko stručnom nivou, jer je u oko 85 % slučajeva neopravdana;

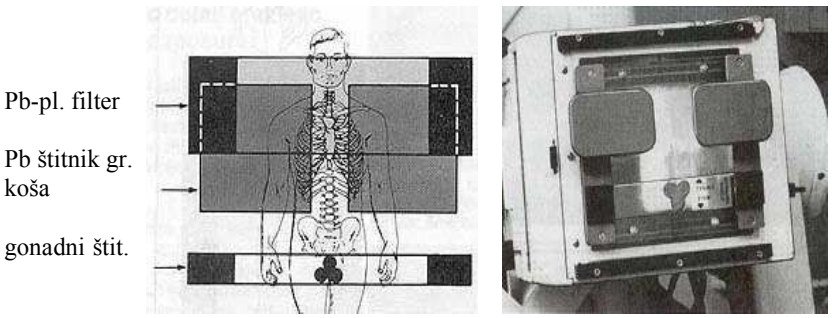
b) Postojeća pacijentna zaštitna sredstva prilagoditi zahtevima pregleda (zaštitne kecelje su teške, dugačke i ako bi se stavile preko nekih delova tela one bi spale sa pacijenta u toku pregleda jer se pacijent okreće u I i II kosi položaj). Moguća poboljšanja bi se ogledala u izradi prsluka koji bi štitio toraks i vrat;

c) Nabavkom i korišćenjem olovo - plastika eksternog filtra (CLEAR-Pb, slika 2) koji se lako montira na dubinskoj blendi, pacijentna doza bi se smanjila za oko 80 % i u mnogome poboljšao kvalitet slike. Problem pri mnogim radiografijama je određivanja optimalne osetljivosti filma zbog velike razlike u gustini tkiva, koji navedeni filter takođe



Slika 2. CLEAR-Pb olovo-plastika filter

rešava; Uz korišćenje pacijentnog x-zr. zaštitnog sistema (koji pokriva lateralne delove grudnog koša i abdomena i gonadnu regiju, sl. 3) asorbovana pacijentna doza bi se dodatno



Slika 3. Pacijentni zaštitni sistem

redukovala što bi uz folije retkih zemalja istu smanjila za 10-350 puta (naročito pogodnog pri grafijama);

d) Voditi evidenciju o pregledima tj. u Protokol pored podataka o imenu i prezimenu pacijenta, evidentirati napon i mAs vrednost, tako da ako se zahteva ponovni

pregled informisati pacijenta o vrsti i značaju pregleda ali i o njegovoj izloženosti rendgenskom zračenju (apsorbovanoj dozi).

ZAKLJUČAK

Zaštiti pacijenata pri snimanjima i prosvetljavanjima se na žalost, u većini zdravstvenih ustanova na teritoriji Republike Srbije, poklanja mala pažnja od strane radiologa i rendgen tehničara (pacijenti se obično snimaju i prosvetljavaju bez ikakve zaštite). Razlozi za takvo stanje su u većini slučajeva: nemarnost, nestimulisanost za rad, nesprovođenje u praksi zakonske regulative (novčano kažnjavanje) a ređe i nedostatak zaštitnih sredstava. Izmerene apsorbovane pacijentne doze bi se uz korišćenje predloženih zaštitnih mera znatno smanjile a samim tim i rizik od eventualnih posledica koje ovakve dijagnostičke metode nose sa sobom. Delovi tela najviše izloženi jonizujućem zraćenju u toku pregleda su: delovi stomaka - debelo i tanko crevo, jetra, pankreas, slezina, želudac, bubrezi, gonade i mokraćna bešika. Manje su izloženi: glava i vrat.

LITERATURA

[1] Pravilnik o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja (Služben list SRJ, broj 32/98);
[2] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima (Službeni list SRJ, broj 32/98);
[3] Radiology (Victoreen catalog 1996/97).

ABSTRACT

IRIGOSCOPY - IRIGOGRAPHY
METHOD, DOSIMETRY AND RADIATION SHIELDING

Ž. Zubanov, G. Kolarević[1]
Military hospital, Novi Sad
[1] Institution of preventiv medical care, Belgrade

Use of patient's radiation shilding during radiology diagnostic procedures in our country is insufficiently represent, so patients needlessly receive very high entrance skin doses in bady areas which are not in direct x ray beam. During irigoskopy, patient's radiation shilding iz very complex problem, because of the organs position. In the future that problem must be solved. We hope that some of our suggesttions about patient's radiation shilding during irigoscopy, can be a small step in that way.

GENERATOR RENDGENSKOG ZRAČENJA TOSHIBA KXO 50N

M. Tomašević, M. Ljubojević
Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Beograd

SADRŽAJ

Generator rendgenskog zračenja Toshiba KXO 50N je nov generator, savremenog izgleda, i veoma jednostavan i bezbedan za rukovanje. Ispitivanja stalnosti koja su sprovedena posle prijemnih ispitivanja i početnih ispitivanja stalnosti urađena su prema standardima Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC). Ona su pokazala da generator rendgenskog zračenja u potpunosti zadovoljava zahteve standarda. Rezultati merenja linearnosti i ponovljivosti su u skladu sa specificiranim tolerancijama.

UVOD

Poslednjih godina postavljen je veoma mali broj novih dijagnostičkih generatora rendgenskog zračenja na teritoriji Republike Srpske. Međutim, početkom 1999. godine Republika Srpska je na ime pomoći japanske Vlade dobila nove dijagnostičke generatore rendgenskog zračenja koji su odmah bili raspoređeni u određenom broju Domova zdravlja. Za sada je instalisano 13 generatora firme Toshiba.

Stručnjaci firme Toshiba izvršili su instalisanje generatora nakon čega su obavili prijemna ispitivanja i početna ispitivanja stalnosti radi utvrđivanja osnovnih vrednosti. Navedena ispitivanja i merenja su obavljena na osnovu identičnih standarda JUS IEC (Međunarodna elektrotehnička komisija) [1,2,3,4,5].

Ispitivanja stalnosti obavili su stručnjaci Instituta za nuklearne nauke „Vinča”, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita” u toku februara 1999. godine. Ispitivanja su obavljena na osnovu identičnih standarda JUS IEC [1,2,3,4,5].

METODA ISPITIVANJA

Ispitivanja stalnosti obavljena su na pet generatora rendgenskog zračenja firme Toshiba sa oznakom KXO 50 N instalisanih početkom 1999. godine u Domovima zdravlja na teritoriji Republike Srpske.

Generator rendgenskog zračenja Toshiba KXO 50 N sastoji se iz:

– komandnog stola KXO 50 N;
– visokonaponskog transformatora sa potpunim ispravljanjem;
– stativa za prosvetljavanje Fluorex Glmat II sa TV pojačavačem rendgenske slike;
– vertikalnog stativa za snimanja u stojećem stavu (Vertical Bucky Stand BS 01);

– dijagnostičkog nosača pacijenta za snimanja u ležećem stavu (X-Ray Diagnostic Table Model DF W-10B).

Za merenje kerme u vazduhu, visokog napona rendgenske cevi i vremena snimanja u okviru ispitivanja stalnosti korišćeni su instrumenti firme Keithley:

– Digital Dosimeter Model 35000;
– Digital kVp meter Model 35075; i
– 30030 X-Ray Timer.

Opremom vlastite konstrukcije obavljena su ostala merenja:

– određivanje položaja referentne ose snopa rendgenskog zračenja,
– ispitivanje kontakta film-pojačavačka folija,
– provera koincidencije osvetljenog i ozračenog polja.

U okviru ispitivanja stalnosti izvršeno je i merenje kerme u vazduhu na rastojanju fokus rendgenske cevi – koža pacijenta za najčešće korišćene dijagnostičke postupke primenom faktora opterećenja koje je predložio proizvođač opreme.

REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati merenja kerme u vazduhu

Radi utvrđivanja usaglašenosti generatora rendgenskog zračenja sa zahtevima iz usvojenih identičnih JUS – IEC standarda izvršena su merenja kerme u vazduhu na rastojanju 100 cm od fokusa rendgenske cevi. Merenja su obavljena za napone rendgenske cevi od 60 kV, 90 kV i 120 kV i za proizvod struje i vremena ekspozicije od 16 mAs, 20 mAs i 50 mAs. Rezultati su prikazani na tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati merenja kerme u vazduhu za ispitivanje linearnosti i ponovljivosti (mGy)

Napon rendgenske cevi (kV)	60	90	90	90	90	120
Struja rendgenske cevi (mA)	250	100	200	250	400	320
Vreme ekspozicije (s)	0,2	0,2	0,1	0,08	0,05	0,05
Proizvod struje i vremena (mAs)	50	20	20	20	20	16
K_1 (mGy)	2,02	2,0	2,0	1,91	1,96	2,8
K_2 (mGy)	2,03	2,0	2,0	1,91	1,96	2,8
K_3 (mGy)	2,02	2,0	2,0	1,91	1,96	2,8
$\overline{K}$ (mGy)	2,02	2,0	2,0	1,91	1,96	2,8
mGy/mAs	0,04	0,1	0,1	0,096	0,098	0,175

Izmerene vrednosti kerme u vazduhu ukazuju da je ponovljivost zadovoljavajuća i da se nalazi u granicama specificirane tolerancije. Takođe, podaci koji se odnose na ispitivanje linearnosti pri naponu rendgenske cevi od 90 kV, i proizvod struje i vremena (mAs) ukazuju da je ona izuzetno dobra i da se nalazi u granicama specificirane tolerancije.

Određivanje kerme u vazduhu na rastojanju fokus rendgenske cevi – prijemnik rendgenske slike

Generator rendgenskog zračenja Toshiba KXO 50N je za nas bio potpuno nepoznat uređaj. Zbog toga je osim ispitivanja stalnosti bilo potrebno da se izvrše i merenja

kerme u vazduhu na rastojanju fokus rendgenske cevi – koža pacijenta kako bi se došlo do potrebnih podataka za procenu doza u organima i efektivne doze zračenja za pacijente koji se izlažu zračenju. Izmerene vrednosti prikazane su na tabeli 2.

Tabela 2. Vrednosti kerme u vazduhu za dijagnostičke postupke

Organ	Položaj	kV	mAs	mA	s	K (mGy)
Lobanja	AP/PA	76	26	320	0,08	1,88
Lobanja	profil	70	20	320	0,06	1,18
Sinusi	PA	70	16	320	0,05	0,96
Sinusi	profil	66	16	320	0,05	0,86
Pluća	PA	120	2	320	0,005	0,13
Pluća	profil	120	4	320	0,013	0,32
Vratni deo kičmenog stuba	PA	70	20	250	0,08	1,12
Vratni deo kičmenog stuba	profil	70	12,5	250	0,05	0,72
Grudni deo kičmenog stuba	AP	70	20	250	0,08	1,12
Grudni deo kičmenog stuba	profil	86	40	400	0,1	3,71
Lumbalni deo kičmenog stuba	AP	86	40	400	0,1	3,71
Lumbalni deo kičmenog stuba	profil	96	50	500	0,1	5,50
Abdomen	AP	80	40	400	0,1	3,23
Femur	AP	70	26	320	0,08	1,60

Podaci navedeni u tabeli 2. ukazuju da je generator Toshiba KXO 50N tako konstruisan da se snimanja izvode sa izuzetno kratkim vremenima ekspozicije (ispod 0,1 s) ali sa značajnim vrednostima struje rendgenske cevi (250-500 mA). Zahvaljujući kratkim vremenima snimanja, što je uslovilo i male vrednosti proizvoda struje i vremena (mAs), vrednosti kerme u vazduhu na rastojanju fokus rendgenske cevi - koža pacijenta nalaze se u granicama referentnih vrednosti (u intervalu od 0,13 - 5,5 mGy)[6].

Prateći rad u pojedinim dijagnostikama došlo se do saznanja da se faktori opterećenje predloženi od strane proizvođača mogu koristiti i da se sa njima dobijaju rendgenski snimci zadovoljavajućeg kvaliteta tako da je radiološki tehničar oslobođen napora da istražuje i da sam dolazi do najpovoljnijih uslova za snimanje.

Ostala merenja

Osim navedenih ispitivanja koja su obavljena u okviru Programa osiguranja kvaliteta izvršeno je i ispitivanje vertikalnosti referentne ose snopa rendgenskog zračenja i koincidencije osvetljenog polja i ozračenog polja. Preduzeta ispitivanja su pokazala da je uređaj za ograničavanje snopa rendgenskog zračenja idealno podešen i da ne postoji otstupanje između osvetljenog i ozračenog polja. U svim slučajevima referentna osa snopa rendgenskog zračenja bila je postavljena pod uglom od 90° u odnosu na ravan prijemnika slike.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih merenja i uvida u prateća dokumenta i uputstvo za rukovanje može se zaključiti da je generator rendgenskog-zračenja Toshiba KXO 50N, izuzetno pouzdan uređaj namenjen za snimanje i prosvetljavanje pacijenata u medicinskoj rendgendijagnostici. Izmerene vrednosti kerme u vazduhu, linearnost i ponovljivost napona

rendgenske cevi, vremena snimanja i kerme u vazduhu na rastojanju fokus rendgenske cevi – prijemnik rendgenske slike usaglašene su sa zahtevima postojećih standarda i ne odstupaju od osnovnih vrednosti koje je odredio proizvođač.

LITERATURA

[1] JUS IEC 601-1-3:1997 – Električni uređaji u medicini. Deo 1: Opšti zahtevi za bezbednost. 3. Dodatni standard: Opšti zahtevi za zaštitu od zračenja kod dijagnostičkih rendgen-aparata.

[2] JUS IEC 61223-1:1999 – Vrednovanje i redovna ispitivanja u medicinskim odeljenjima za vizuelizaciju slike. Deo 1:Opšti aspekti.

[3] JUS IEC 60601-2-7:1999 – Električni uređaji u medicini. Deo 2-7: Posebni zahtevi za bezbednost visokonaponskih generatora dijagnostičkih rendgen-aparata.

[4] JUS IEC 61223-2-11:1999 - Vrednovanje i redovna ispitivanja u medicinskim odeljenjima za vizuelizaciju slike. Deo 2-11: Ispitivanje stalnosti. Uređaji za direktno opšte snimanje.

[5] JUS IEC 61223-2-11:1999 - Vrednovanje i redovna ispitivanja u medicinskim odeljenjima za vizuelizaciju slike. Deo 3-1: Prijemna ispitivanja. Performanse vizuelizacije slike sistema rendgen-aparata za snimanje i prosvetljavane.

[6] IAEA - International Atomic Energy Agency: International Basic Safety Standards for Protection agains Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources. Safety Series no.115-I, Vienna,1994.

ABSTRACT

TOSHIBA X-RAY INSTALPROFILION KXO 50N

M. Tomašević, M. Ljubojević
Institute of nuclear siences ”Vinča”, Belgrade

Toshiva X-ray instalprofilion KXO 50N is new, in modern design and especially simply and safety for handling. Constancy tests are carry out after acceptance tests and initial constancy tests in accordance with standards of International Electrotehnical Commission (IEC). They showed that the instalprofilion fulfils the requirements of the standards. Results of measurements of linearity and reproducibility are in accordance with specified tolerances.

ZNAČAJ SMANJENJA AP-DIJAMETRA U OKVIRU NOVOG NAČINA ZAŠTITE TANKOG CREVA TOKOM RADIOTERAPIJE MALIGNIH TUMORA MATERICE

S. Ljubenković
Klinika za onkologiju KC, Niš

SADRŽAJ

Radioterapija malignih tumora materice podrazumeva istovremeno neizbežno i štetno ozračivanje znatnog volumena zdravog tkiva, uključujući i deo tankog creva. Smanjivanjem AP-dijametra karlice, moguće je smanjiti volumen visoke zračne doze a time i zapreminu tankog creva unutar njega. Na posebno konstruisanom pacijent-stolu, po našim zahtevima (Jugorendgen-Ei Niš), u Klinici za onkologiju u Knez Selu, u jednogodišnjem periodu, pripremili smo za zračenje 89 pacijentkinja pod nestandardnim uslovima i postigli smanjenje AP-dijametra od 1-7 cm (4,35-26,92 %) ili prosečno 2,97 cm (13,49 %) i smanjenje volumena visoke zračne doze u istom procentualnom odnosu.

UVOD

Kvalitet života ozračenih pacijenata i lokalna kontrola tumorske bolesti podrazumevaju maksimalno moguće ispunjenje dva suprotna zahteva. S jedne strane je stalna težnja za povećanjem tumorske doze a sa druge su ograničenja od strane okolnih zdravih tkiva i organa [1–4], čije radijaciono oštećenje može dovesti do trajnih štetnih posledica, koje umanjuju kvalitet života, pa čak i komplikacija opasnih po život [4–10]. U zračenju ginekoloških tumora problem je još veći jer je materica sa svih strana okružena zdravim organima: spreda mokraćnom bešikom, pozadi rektumom a ”pokrivena”, u radiološkom smislu, vijugama tankog creva, čija je sluzokoža ujedno i najosetljivije tkivo u ovom regionu [3,5,13].

Cil nam je da, smanjenjem AP-dijametra smanjiti ukupan ciljni volumen a samim tim i apsorbovanu dozu od strane tankog creva (unutar tog volumena) i na taj način ga zaštititi od štetnog dejstva jonizujućeg zračenja.

MATERIJAL I METODA

Na posebno, za ove namene, konstruisanom i izrađenom pacijent-stolu (u fabrici Jugorendgen-Ei Niš), pripremljene su za transkutanu zračnu terapiju 93 pacijentkinje sa malignim tumorom materice. Kod 4, i pored postignutog smanjenja AP-dijametra a time i volumena visoke zračne doze, kliničkom procenom se došlo do zaključka da je, zbog fiksiranih crevnih vijuga, nemoguća njihova zaštita ovim neinvazivnim postupkom, te su

ozračene pod standardnim uslovima. Od preostalih 89, kod 6 pacijentkinja bila je dovoljna samo promena položaja tela u prostoru (postavljanjem u ravan koja sa horizontalnom ravni zaklapa ugao od 30°, tzv.Trendelenburg-pozicija), da bi došlo do smanjenja AP dijametra i kaudo-kranijalne dislokacije crevnih vijuga. Kod 75 pacijentkinja smanjenje AP-dijametra postignuto je kompresijom prednjeg karličnog zida pri supinaciji od 30°. Konačno, kod 8 pacijentkinja zbog konstitucionalnih razloga, ekskluzija tankog creva samo kompresijom nije bila dovoljna, te smo između platna kompresorijuma i obeleženog polja na koži prednjeg karličnog zida umetali posebno dizajnirane vodene boluse različitih dimenzija, zavisno od zahteva. Na taj način dobijali smo dodatnu ekskluziju tankog creva a time i smanjenje volumena visoke zračne doze.

REZULTAT

AP-dijametar, meren pod standardnim uslovima zračenja u supinaciji pacijentkinje od 0°, kretao se na uzorku od 89 žena od 16-30 cm, sa srednjom vrednošću 22.02 cm. Prethodno opisanim neinvazivnim manipulacijama na pacijent-stolu (punjenje mokraćne bešike, Trendelenburg-pozicija, kompresija prednjeg karličnog zida) uspeli smo kod svake pacijentkinje da AP-dijametar smanjimo u širokom rasponu od 1-7 cm (prosečno 2,97 cm) ili za 13.49 % u odnosu na standardne uslove. Kako su dve veličine konstantne, (dužina i širina polja), dobijali smo smanjenje volumena visoke zračne doze u odnosu na standardnu poziciju za onoliko procenata, kod svake pojedine pacijentkinje, za koliko je smanjen AP-dijametar (od 4.35 – 26.92 %). Tako npr. kod pacijentkinje pod šifrom E-100 , širina polja od 15 cm, dužina 16 cm i AP-dijametar 24 cm daju volumen visoke zračne doze od 5760 cm^3 sa 1276 cm^3 barijumom obeleženog tankog creva unutar njega. Smanjenjem AP-dijametra za 5 cm (20.83 %), dobijamo novi volumen visoke zračne doze od 4560 cm^3, pri čemu je razlika od 1200 cm^3 procentualno identična smanjenju AP-dijametra. Istovremeno, smanjena je i zapremina prisutnog tankog creva u zračnom polju na 253 cm^3, što znači da se štiti 1023 cm^3 creva ili 80.17 % od početne količine koja bi se inače, pod standardnim uslovima, nepotrebno ozračila. U kliničkom pogledu prednost je očigledna jer, i pored datih 5O Gy u 26 seansi, pacijentkinja nije imala promene u učestalosti i konzistenciji stolice, niti propratne posledične grčeve i bolove.

DISKUSIJA

Volumen visoke zračne doze, u radioterapiji malignih tumora materice, geometrijski je definisan u tri dimenzije. Donju ivicu zračnog polja predstavlja linija koja spaja donje konveksitete oba obturatorna foramena. Gornja ivica je najčešće u nivou intervertebralnih prostora L4-L5, tj. ceo L5 (kičmeni pršljen) je u zračnom polju mada, zavisno od terapijskih zahteva, može biti i niže postavljena, do nivoa promontorijuma ili više, tako da uz smanjenje širine polja obuhvata ceo paraaortalni prostor. Dužina ovih međusobno paralelnih ivica predstavlja širinu zračnog polja. Bočne ivice zračnog polja karlice međusobno su paralelne llinije koje prolaze na 1-1.5 cm spolja od krajnjih lateralnih konveksiteta radiološkog otvora male karlice i predstavljaju dužinu polja [11]. Treća veličina je tzv. AP-dijametar, tj. rastojanje između prednjeg (anterior) i zadnjeg (posterior) zračnog polja, međusobno paralelnih pravougaonika, a sam zračni volumen je, idealno posmatrano, oblika kvadra. Dužina i širina polja se očigledno međusobno razllikuju od jedne do druge pacijentkinje, zavisno od konstitucije, ali se kod svake pojedine ne mogu

menjati, tj. stalne su veličine (shodno zahtevu da se ozrače pojedine anatomske strukture)[12]. AP-dijametar je praktično jedina moguća promenljiva, od čega smo i pošli u želji da smanjimo količinu ozračenog zdravog tkiva. Nominalno dve, trbušna i karlična duplja u suštini predstavljaju jednu šupljinu, ispunjenu pokretnim i nepokretnim organima, približne gustine jediničnoj, dakle slično vodi[13]. Pošto je tečnost nestišljiva a zapremina šupljine relativno stalna, to znači da je punjenjem mokraćne bešike i kompresijom prednjeg karličnog zida moguće smanjiti AP-dijametar uz istovremenu dislokaciju crevnih vijuga u kaudo-kranijalnom smeru što je, u radioterapijskom smislu, željena posledica. Uklanjanjem vijuga tankog creva iz volumena visoke zračne doze, postiže se njegova zaštita i sprečava nastanak akutnih neželjenih efekata (prolivaste učestale stolice praćene grčevima u toku zračenja) ali i hroničnih (više meseci i godina od završetka zračenja) u vidu prepreka u pasaži creva (ileus) ili perforacije i sl. kao posledica nastale fibroze[14,15,16].

ZAKLJUČAK

1. Smanjenjem AP-dijametra postiže se redukcija ukupnog volumena visoke zračne doze kao i zapremine tankog creva unutar tog volumena.
2. Smanjenjem volumena tankog creva u zračnom polju smanjuju se broj i težina akutnih digestivnih komplikacija, što je u skladu sa literaturnim podacima.Za procenu dozno-zavisnih hroničnih sekvela potrebno je da prođe 2-5 god. od sprovedene radioterapije.
3. Za opisani način smanjenja AP-dijametra koristili smo unikatni pacijent-sto koji je po našim zahtevima izradila fabrika Jugorendgen Ei-Niš.

LITERATURA

[1] Green N, Iba G, Smith WR . Measures to minimize small intestine injury in the irradiated pelvis. Cancer 35:1633-1640, 1975.

[2] Gallagher MJ, Brereton H, Rostock R, et. al: A prospective study for treatment techniques to minimize the volume of pelvic small bowel with reduction of acute and late effects associated with pelvic irradiation. Int J Radiat Oncol Biol Phys l986; 12: 1565-1573.

[3] Green N, The avoidance of small intestine injury in gynecologic cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1983; 9; 1385-1390.

[4] Shanahan TG, Mehta M, Bertelrud K, Buchler D, Frank L, Gehring M, Kubsad S, Utrie P, Kinsella T. Minimization of small bowel volume within treatment fields utilizing customized ”belly boards”. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1990; 19: 469-476.

[5] Bertelrud K, Mehta M, Shanahan T, Utrie P, Gehring M. Bellyboard device reduces small bowel displacement. Radiol Technol 1991; 62(4): 284-7.

[6] Caspers R, Hop W. Irradiation of true pelvis for bladder and prostatic carcinoma in supine, prone or Trendelenburg position. Int J Radiat Oncol Biol Phys l983; 9(4): 589-593.

[7] Brierley JD, Cummings BJ, Wong CS, McLean M, Cashell A, Manter S. The variation of small bowel volume within the pelvis before and during adjuvant radiation for rectal cancer. Radiother Oncol 31 (1994) 110-116.

[8] Mak AC, Rich TA, Schultheiss TE, Kavanagh B, Ota DM, Romsdahl MM. Late complications of postoperative radiation therapy for cancer of the rectum and rectosigmoid. Int J Radiation Oncol Biol Phys 1994; 28(3): 597-603.

[9] Thwaites D, Scaliett P, Leer JW, Overgaard J. Quality assurance in radiotherapy (ESTRO advisory report to the Commission of the Europian Union for the ”Europe against cancer programme”). Radiother Oncol 35 (1995) 61-73

[10] Chassagne D, Sismondi P, Horiot JC, Sinistrero G, Bey P, Zola P, Pernot M, Gerbaulet A, Kunkler I, Michel G. A glossary for reporting complications of treatment in gynecological cancers. Radiother Oncol 26 (1993) 195-202

[11] Perez CA. Uterine cervix. In: Perez Ca, Brady LW. Principles and practice of radiation oncology.2nd ed. Philadelphia, J. B. Lippincott Company: 1143-1202, 1992.
[12] Dobbs J,Barrett A. Pelvis. In: Practical radiotherapy planning (Royal Marsden Hospital practice). 2nd ed. Edward Arnold: 170-177, 1988.
[13] Tanko crevo. In: Bošković MS. Anatomija čoveka. XI preštampano izdanje. Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb 230-233, 1977.
[14] Schmitt E, Symmonds R. Surgical treatment of radiation induced injuries of the intestine. Surg Gynecol Obstet 1981; 153 :896-900
[15] Zentler- Munro PL, Bessell M. Medical management of radiation-enteritis-an algiorithmic guide. Clin Radiol l987 ;38: 291-294.
[16] Langberg CW, Sauer T, Reitan JB, Hauer-Jensen M. Relationship between intestinal fibrosis and histopathologic and morphopmetric changes in consequential and late radiation enteropathy. Acta oncol 35(1): 81-7, 1996

ABSTRACT

Radiotherapy of uterine malignancies means that the considerable volume of normal tissue is inevitably being irradiated, including a part of the small bowel. Reducing the AP-diameter of the pelvis, it is possible to reduce the volume of high dose irradiation, simultaneously the small bowel volume within. On one specially constructed patient-table , on our own request (”Jugorendgen” Ei-Niš), at the Clinic of oncology-Niš we have prepared for irradiation 89 patients, under nonstandard conditions, in the period of one year. We have achieved the AP-diameter reduction of 1-7 cm (4.35-26.92 %) or, on the average, 2.97 cm (13.49 %), i.e.,the high dose volume reduction of the same proportion.

X–ZRAČENJE IZA ZAŠTITNIH ZIDOVA LINEARNIH AKCELERATORA U RADIOTERAPIJI KAO IZVOR RADIJACIONOG RIZIKA

B. Cvetković, M. Vukčević[1]
Klinički centar, Knez Selo
[1] Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Na Klinici za onkologiju u Knez Selu postoje dva linearna akcelerutora za zračne terapije sa energijama x-zračenja od 4 i 10 MeV. .Uređaji su smešteni u zaštiitnim prostorijama, tzv. bunkerima sa zaštitnim baritno-betonskim zidovima debljine i do 1,5 m. Izvršena su merenja doze zračenja iza zaštitnog pregradnog zida u prostoriji gde povremeno boravi osoblje i pacijenti. Merenja su vršena radi analize i smanjenja radijacionog rizika odnosno kontrole radijacionog rizika.

UVOD

Postojeća postrojenja su obezbeđena, osim zaštitnim zidovima i elektronskim uređajima za nadgledanje, kontrolu i prekid zračenja u slučajevima akcidenta. Međutim kada je u pitanju x–zračenje visokih energija (kao što je ovde slučaj) ne postoji (bar ne ekonomski prihvatljiva) apsolutna zaštita od zračenja u neposrednoj okolini aparata. Izlaganje lica koja su profesionalno vezana za zračenje je regulisano zakonskim aktima. Prema najnovijim zakonskim propisima nivoi apsorbovanih doza za lica profesionalno izloženih zračenju su 20 mSv za godinu dana, kumulativno, po čoveku. Do ove godine granice tih normi su bile znatno veće i iznosile su 50 mSv za godinu dana ili 30 mSv za jednokratno ozračivanje. Treba imati u vidu da su ove norme preslikane od zemalja koje eksploatišu nuklearnu energiju i gde postoji potreba da se norme povećaju zbog remonta nukleamih elektrana, odnosno zbog radnika koji rade na remontu parageneratora i koji ovu dozu dobijaju tokom jednog do dva ulaska u polje zračenja. Treba napomenuti i to da je,kada je u pitanju doza koju primi radnik iza zaštitnog zida na radioterapiji u Knez Selu, doza na celom telu, što je nepovoljniji slučaj nego ozračivanje pojedinih delova tela. Prilikom razmatranja problema radijacione zaštite treba imati još u vidu i da je oko 2% ljudske populacije izuzetno osetljivo na zračenje.

REZULTATI MERENJA

Merenje doze zračenja iza zaštitnih zidova je vršeno digitalnim gama monitorom zračenja MZ-10 proizvodnje instituta za nukleame nauke „Vinča“. Kao detektorska sonda

je upotrebljena PHILIPS GEIGER-MUÜLLER cev 18504, kalibrisana u laboratoriji instituta „Vinča“. Posle toga merenje je provereno jonizujućom komorom čija energetska i ugaona zavisnost obezbeđuje veću tačnost merenja u rasutim poljima sa širokim energetskim spektrom. Merenje je vršeno u ekstremno nepovoljnim uslovima (prema kojima se i projektuju „bunkeri“) t.j. kada je snop energije od 10MeV usmeren ka zidu. Energija izlaznog snopa fotona iza zida je nepoznata a zbog efekata rasejanja i stvaranja parova, energetski spektar iza zida je znatno i proširen.

Pošto se radi o širokom snopu zračenja koji prolazi kroz zid opažena je dosta velika homogenost izlaznog zračnog polja t.j. vrednost nivoa doza se ne menja mnogo u zavisnosti od mesta merenja iza zaštitnog zida.

Na osnovu rezultata merenja polja nije vršena procena apsorbovane doze za osoblje, jer za pretvaranje ekspozicione doze u apsorbovanu dozu treba znati energetski spektar zračenja kao i vreme boravka na pojedinim mestima u prostoriji.

Međutim, kako je osoblje pod stalnom dozimetrijskom kontrolom sa ličnim dozimetrima, prema zvaničnom dozimetrijskom izveštaju prosečna apsorbovana doza za osoblje na radioterapiji u periodu kontrole od 1 – 2 meseca se kreće od 0,4 do 0,5 mSv.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Poznato je da lica profesionalno izložena jonizujućem zračenju imaju odstupanja od normalnih vrednosti u leukocitarnoj formuli što je registrovano i kod osoblja koje radi na radioterapiji u Knez Selu. Do sada na klinici nisu otkrivena odstupanja od zakonskih normi koja bi povukla zabranu rada u zoni zračenja. Pošto se zakonski maksimumi za profesionalno ozračivanje smanjuju a pored toga postoji i stalno povećanje obima rada i boravka u zoni zračenja, potrebno je redukovati svaki mogući uzrok radijacionog rizika.

ALARA princip zaštite od zračenja, koji je opšte prihvaćen u svetu, zahteva da se nivoi doza svedu ispod graničnih odnosno da se snize do najniže mogućih, vodeći računa o ceni ulaganja i efektima zaštite. Ranije norme i uslovi za paravane su tražili da se doza iza zaštitnih zidova svede na nivo ispod 3mR/h. Ta granica uglavnom i figuriše u dokumentacijama o projektovanju zaštitnih bunkera kod inostranih građevinskih projekata.

Saglasno navedenom razmatranju, predloženo je da se na radioterapiji između dva bunkera izgradi dodatni zaštitni zid radi redukcije doze i pri najtežim uslovima na nivo ispod 3mR/h, što je moguće postići olovom debljine 5cm.

Dovoljno bi bilo, kao jeftinija varijanta, da olovni zid bude takvih dimenzija da obuhvati mesta na kojem se uglavnom nalazi osoblje prilikom obavljanja posla unutar prostorije. Olovo je izabrano zbog toga što je to materijal sa najvećom atenuacijom, pristupačan na tržištu, a zauzeo bi najmanje mesta u prostoriji koja je tačno dimenzionisana.

Prilikom određivanja mesta i debljine paravana od olova važna je i strana zida gde on mora da se nalazi, jer ne sme biti sa strane zida gde u njega direktno udara fotonski snop zraka od 10 MeV-a. Ukoliko bi fotonski snop energije 10 MeV-a prvo udario u olovni paravan pa tek onda u zaštitni pregradni zid od betona preskočena bi bila atenuacija zbog fotoelektričnog efekta u olovu. Pored toga postojala bi mogućnost aktivacije atoma olova preko fotonukleamih reakcija. Zna se da je prag fotonuklearnih reakcija za olovo nešto iznad 8 MeV.

Debljina olova od 5 cm je dovoljna da redukuje izlazni snop fotona za faktor 5 i to za najnepovoljniji energetski nivo zračenja od oko 3 MeV-a. Takode treba imati u vidu da instrument koji meri dozu zračenja iza zida „hvata“ osim direktnog snopa i rasuto zračenje tako da pokazivanje instrumenata od oko 14 mR/ h je i od direktnog i od rasutog

zračenja. To znači da je redukcija direktnog širokog snopa sa ovim debljinama paravana bila još veća, odnosno nivo od 14 mR/ h je redukovan znatno ispod 3 mR/ h .

Izradom dodatnog olovnog paravana je postignut značajan efekat u smanjenju radijacionog rizika a pomou rezultata merenja omogućeno sagledavanje problema i kontrola radijacionog rizika..

LITERATURA

[1] Antonije Antonović - Radioaktivnost u prirodi, posebno izdanje Geoinstituta, knjiga 12 Beograd 1990.
[2] Društvo za mernu tehniku Srbije - Klinička dozimetrija - zbornik predavanja, maj 1988.
[3] Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja - Zbomik radova, XIX Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Beograd,l997.
[4] Mladenović M. - Prolaz zračenja kroz materiju, ICS, Beograd 1976.
[5] Meredith W.J. Massey J.B. - Fundamental physics of radiology, J.Wright & Sons Ltd. Bristol, England,l968.
[6] Radioaktivni izotopi i zračenja (knjiga I, Opšti pojmovi) II izdanje,urednik I. Draganić, Naučna Knjiga, Beograd, 1968.
[7] Radiotherapy & Oncology, Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology, Elsevier, februar 1994.

ABSTRACT

X-RAY RADIATION BEHIND THE PROTECTIVE WALLS OF LINEAR ACCELERATORS IN RADIOTHERAPY, AS THE SUORCE OF RADIATION RISK

B. Cvetković, M. Vukčević[1]
Clinic of oncology, Knez Selo
[1] Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

In this work we investigated the radiation safety behind the ptrotective bariere of linear accelerators at the Clinic of oncology - Knez Selo. Dose rate measurements were performed at the places occasionally occupied by the medical staff and patients.

GREŠKE U QA KONTROLI DIJAGNOSTIČKIH RENDGENA

M. Vukčević, S. Stanković, M. Kovačević
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

QA-kontrola dijagnostičkih röndgena je uvećini slučajeva merenje u nestabilnom x-polju čiji su osnovni parametri, filtracija x-snopa i visoki napon rö-cevi nedovoljno poznati. Zbog toga merenja mogu da sadrže značajnu statističku i sistematsku grešku čiji zbir može biti veći od zakonskih granica za odstupanje parametara dijagnostičkog x-polja.

UVOD

Kontola x-polja dijagnostičkih Rö-uređaja, tzv. QA, je merenje u pulsirajućem x-polju Rö-cevi sa visokim naponima od 50-120 kV i sa filtracijom od 1-3 mm Al. Međutim u praksi se najčešće radi u nestabilnim x-poljima i sa nedovoljno poznatom filtracijom. Zbog toga , sa stanovištva metrologije, merenja u takvim poljima imaju mnogo problema i rezultati su često problematični. Tačnije rečeno merna nesigurnost je najčešće veća od deklarisane. U ovom radu opisuje se mogući lanac grešaka u radu sa kompletom za QA kontrolu rendgena, KEITLEY 35075 i 35065.

Glavni zadatak kontrole x-polja dijagnostičkih Rö-uređaja je određivanje tzv. kvaliteta snopa a to su filtracija, visoki napon Rö-cevi, vreme exponiranja i doza po snimku. Svi ovi parametri treba da budu pod potpunom kontrolom, da se mogu na kontrolnom pultu zadati i pri exponiranju ostvariti. Zakonska regulativa propisuje veoma usku tolernciju za odstupanje parametara x-polja od zadatih vrednosti na komandnom pultu. Većina dijagnostičkih Rö-uređaja te norme ne zadovoljava. To je društveni problem a metrološki problem je to što se ne može jednostavno i brzo odrediti kolike su zapravo te greške. Jedan od razloga za to je nestabilnost x-polja većine dijagnostičkih röndgena. Jednostavno, u dva uzastopna exponiranja sa istim uslovima na komandnom pultu, visoki napon Rö-cevi, struja cevi i dužina exponiranja se menjaju. Reklo bi se da za ovako nestabilan sistem, dovoljan broj merenja i statistička obrada rešavaju ovaj problem. Međutim problem se ne svodi samo na nalaženje srednje vrednosti i varijanse za visoki napon Rö-cevi i za dozu po exponiranju. Ako je fluktuacija izmerenih vrednosti posledica nestabilne regulacije na komandnom pultu, neke greške u određivanju parametara potiču od mernih instrumenata, čime se pored već postojećih velikih fluktuacija unosi i sistematska greška što za neke parametre snopa može biti kritično.

GREŠKA VISOKOG NAPONA

Komplet za QA kontrolu se sastoji od dozimetra sa jonizacionom komorom, tajmera, seta aluminijumskih filtera za određivanje poludebljine i instrumenta za određivanje visokog napona. Lanac grešaka upravo počinje sa greškom instrumenta za određivanje visokog napona. Ovaj instrument se sastoji od dva poluprovodnička dozimetra između kojih se nalazi metalni filter. Iz odnosa doze ispred i iza filtra dobija se faktor slabljenja snopa u filtru, što zavisi od srednje energije x-spektra, odnosno od visokog napona na Rö-cevi i, što je za ovu diskusiju najvažnije, od inherentne filtracije u cevi i dopunske filtracije u kolimatoru. Kako srednja energija x-zračenja, odnosno slabljenje na filtru instrumenta, nije jednoznačno određena samo visokim naponom već i filtracijom snopa, potrebno bi bilo odrediti slabljenje snopa za različite visoke napone i različite filtracije. Međutim instrument za merenje visokog napona , KEITLEY 35075, je podešen samo za filtraciju od 3mm Al . Kako većina dijagnostičkih röndgena kod nas ima manju filtraciju, taj instrument greši. Na koju stranu. Pošto je filtracija manja u spektru x-polja ima više niskoenergetskih fotona i to instrument „čita“ kao spektar zračenja na nižem anodnom naponu. To je prva greška sa kojom se ulazi merenje poludebljine x-zračenja.

GREŠKA POLUDEBLJINE

Za određivanje poludebljina snopa x-zračenja visoki napon se postavlja na pokazivanje kVmetra od 90kV. Ako je filtracija 1.5mm Al, stvarni napon na cevi je 93kV. Kada se postavi na dozimetar filter od 2.6mm Al, što je dozvoljena minimalna poludebljina za 90kV, odnos doze sa i bez filtra treba da bude jednak ili manji od 2. Kako je napon na Rö-cevi ustvari veći od 90kV, taj uslov će zbog nešto prodornijeg spektra biti zadovoljen i i kada zakonska minimalna poludebljina za 90kV nije ugrađena. To je druga greška.

Sa stanovišta zaštite od zračenja pacijenata ova greška je ozbiljnija. U praxi se kod malo Rö-uređaja postavljeni visoki napon na komandnom pultu poklapa sa stvarnim visokim naponom na Rö-cevi. Zbog toga se u stvari na komandnom pultu postavlja visoki napon koji daje najbolju sliku na filmu. Česta je pojava na Rö-odelenjima da se za pacijente iste debljine postavljaju različiti visoki naponi u zavisnosti na kojem röndgenu se pregledaju, jer Rö-tehničari znaju za svaki röndgen koji visoki napon treba da postave. Problem nastaje kad se pojavi na odelenju novi Rö-tehničar ili novi röndgen. Dok se ne otkrije na koju stranu greši regulacija visokog napona na komandnom pultu, bude i ponavljanja snimanja pacijenata. Iako zakonski neprihvatljiva, u praxi je to skoro neizbežna,prolazna pojava. Međutim, nedovoljna filtracija x-snopa znači da se stalno svaki pacijent ozračuje sa x-snopom u kome ima nedozvoljeno mnogo mekog x-zračenja koje se u najvećoj meri absorbuje u pacijentu, što znači da je za dijagnostiku bezkorisno a za pacijenta nepotrebno ozračivanje. Da bi takve röngene mogli da identifikujemo potrebno je tačno merenje visokog napona. Proizvođač merne instrumentacije je dao krive za korekciju izmerene vrednost visokog napona za različite filtracije . Znači treba prvo znati stvarnu filtraciju x-snopa. Taj podatak daje proizvođač röngena i on se nalazi na kućištu rö-cevi i na kolimatoru. Međutim tu treba biti vrlo oprezan jer i tu može da se pogreši. Često se desi da se zameni rö-cev ili da se na kolimatoru skine ili zameni dopunski filter. Sa stnovišta metrologije to je osnovna greška jer se greši u bitnom parametru za opis x-polja i time se, kao što smo prikazali, pokreće lanac sistematskih grešaka.

ZAKLJUČAK

Sa stanovišta metrologije x-polje dijagnostičkih röndgena je potpuno neregularno. Izražena nestabilnost zahteva da se rezultati merenja statistički obrađuju. Parametri QA kontrole dijagnostičkih röndgena se određuju sa statističkom greškom, koja potiče od nestabilne regulacije x-polja, i sistematskom greškom zbog nepoznavanja tačne filtracije snopa. U kliničkim uslovima vreme koje se može odvojiti za QA kontrolu je često, zbog preopterećenih rö-odelenja, nedovoljno da se greška merenja svede na minimalno moguću, tako da je često već greška merenja veća od zakonskih tolerancija za pojedine parametre, što pokreće i pitanje primenjljivosti zakonskih normi.

LITERATURA

[1] M. Tomašević, Kontrola kvaliteta u rendgen dijagnostici, monografija Medicinska fizika 4, Vinča, 1995

[2] D. Košutić, O. Ciraj, O. Marinković Starost generatora rendgenskog zračenja na teritoriji republike, XIX Jugoslovenski simpozijum zastite od zračenja,s.67-69, Golubac 1997

[3] KEITLEY, Manuals No. 33814 and No. 32850

[4] D. Godeshal and all., Quality Assurance Programme for Medical X-ray Diagnostic units carried out Belgium, Rad.Prot.Dos., Vol.57, No.1-4, pp.309-313,1995.

[5] C.Gori and all. Quality Control in Radiological Departments of the Florence General Hospital, Rad. Prot.Dos, Vol.57,No.1-4,pp.315-316,1995

ABSTRACT

METROLOGY CONDITIONS IN QA-CONTROL OF DIAGNOSTIC RÖENTGENS

M. Vukčević, S. Stanković, M. Kovačević
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

The QA-control of diagnostic roentgens in most cases represents the measurement in unstable x-field, with basic parameters, high voltage of rö-tube and the filtration of x-beam, not accurate known. Therefore, measurements have statistical and sistematic errors which can exceed official limits for errors for diagnostic x-field parameters. Specially critical is the error in cheking minimal half layer value of x-radiation because of the posibility of exceeding patient recomended dose.

INFORMACIONO POVEZIVANJE ENTITETA U PROGRAMU OSIGURANJA KVALITETA U RADIOLOŠKOJ DIJAGNOSTICI

V. Spasić Jokić, M. Mišović[1], Z. Bošković[1], B. Đurović[1]
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd
[1] Zavod za preventivnu medicinu Vojnomedicinske akademije, Beograd

SADRŽAJ

Program osiguranja kvaliteta (QA) u radiološkoj dijagnostici je razmatran sa stanovišta povezivanja informacionih sistema različitih entiteta koji učestvuju u njegovoj realizaciji, a koji su vezani za mernu opremu. Razmatrane su faze QA programa sa stanovišta opreme, kao i metrološki aspekti njenog održavanja. Predložena veza entiteta nije ostvarena, ali predstavlja predloženi optimum u povezivanju informacionih sistema, koji bi omogućio sprovđenje QA programa u radiološkoj dijagnostici.

UVOD

U najrazvijenijim zemljama sveta oko 13% radioloških procedura su neadekvatnog kvaliteta, ali se ne ponavljaju dok se 9% ponavlja. U zemljama u razvoju taj procenat se penje i na preko 40%. Ovako visok procenat loših i ponovljenih snimaka je posledica lošeg kvaliteta opreme, pri čemu se pacijent i medicinsko osoblje nepotrebno izlažu dodatnom zračenju, a cena dijagnostičke procedure povećava.[1]

Program osiguranja kvaliteta (QA) je organizovan napor koji treba da obezbedi dijagnostičku sliku dovoljno visokog kvaliteta, da pruži adekvatnu dijagnostičku informaciju sa najmanjom cenom koštanja i najmanjom mogućom ekspozicijom pacijenata i medicinskog osoblja, kao i da smanji broj ponovljenih snimaka i efikasno iskoristi postojeće resurse. QA program razmatra sve faze rada dijagnostičkog centra počev od zahteva za izvršenje radiološke dijagnostičke procedure do konačne interpretacije nalaza. Program QA postavlja i zahteve o izboru radiološke dijagnostičke opreme, kao i zahteve za njenu kontrolu, monitoring i održavanje relevantnih performansi. [1,2]

U tu svrhu dragocena je pomoć računarskih sistema, ne samo kao baze podataka već i u dvosmernoj komunikaciji između različitih entiteta.

ENTITETI U REALIZACIJI QA PROGRAMA

Program osiguranja kvaliteta treba da pokrije sve faze dijagnostičkog procesa od inicijalne odluke da se sprovede izabrana dijagnostička procedura, do beleženja rezultata i

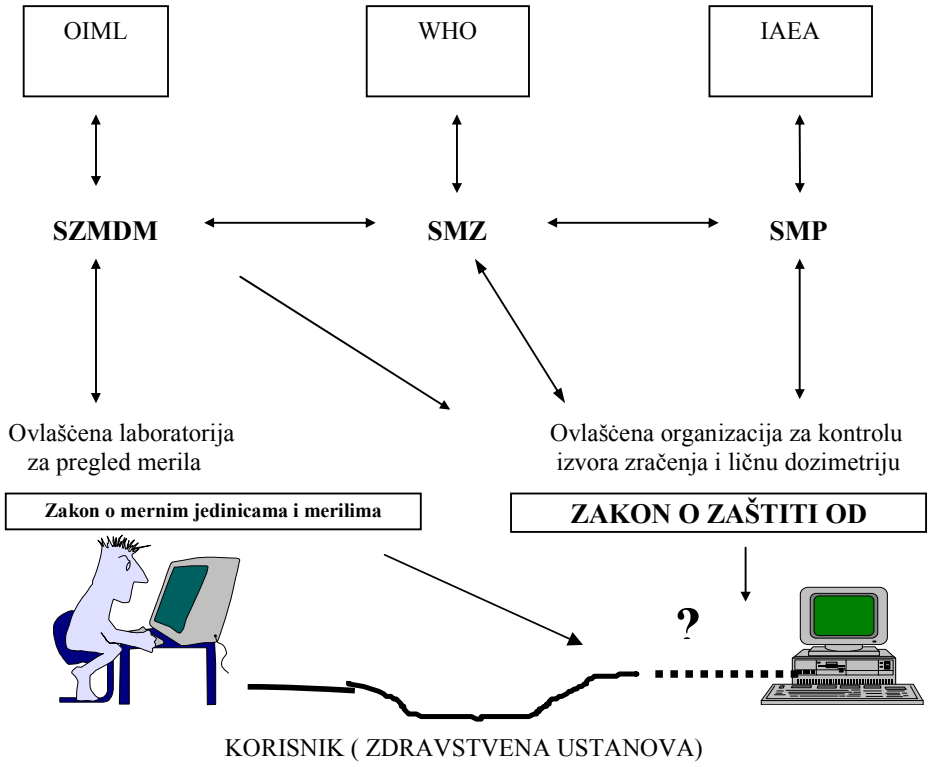
sakupljanja pratećih podataka. Program QA sa stanovišta dijagnostičke opreme definisan je u tri osnovne faze. [1]

1) Faza izbora opreme, koja obuhvata identifikaciju zahteva za kvalitetom slike, identifikaciju karakteristika opreme i izbor opreme. U fazi izbora opreme identifikacija zahteva za kvalitetom slike se radi na osnovu baze podataka o potrebnim dijagnostičkim procedurama; identifikacija karakteristika opreme na osnovu baze podataka o potrebnim karakteristikama opreme, dok se izbor opreme vrši na osnovu baze podataka o raspoloživoj opremi na tržištu. Faza izbora opreme se vrši dvosmernom komunikacijom sa ovlašćenom organizacijom, koja mora da ima sve potrebne podatke, neophodne za unifikaciju opreme, kao i izbor što kvalitetnije opreme. [1,2,3]

2) Faza prijema opreme, koja obuhvata instalaciju opreme, prijemna ispitivanja i puštanje u klinički rad. U fazi prijema opreme koristi se komunikacija sa proizvođačima i dobavljačima opreme. [1,2,3]

3) Faza eksploatacije opreme, koja obuhvata rutinsku kontrolu kvaliteta, kontrolu od strane nadležne ustanove i proveru parametara posle opravke. U fazi rutinskog rada koriste se baze podataka i softverski paketi za rutinsku kontrolu kvaliteta i proveru parametara, npr. posle opravke. U fazi rutinskog rada opreme sastavni deo softverskog paketa su izveštaji o instrumentaciji. [1,2,3]

Veza informacionih sistema relevantnih entiteta je data na slici 1.



Slika 1. Veza informacionih sistema različitih entiteta u QA programu [3]

Oznake na slici imaju sledeća značenja:
OIML - Organisation International de Metrologie Legale
WHO - World Health Organization
IAEA - International Atomic Energy Agency
SZMDM - Savezni zavod za mere i dragocene metale
SMZ - Savezno ministarstvo za rad, zdravstvo i socijalnu politiku
SMP - Savezno ministarstvo za privredu

METROLOŠKI ASPEKTI QA PROGRAMA

U cilju realizacije programa osiguranja kvaliteta u radiološkoj dijagnostici, sa metrološkog stanovišta, ostvarena je veza relevantnih entiteta - međunarodnih organizacija(Međunarodna organizacija za zakonsku metrologiju, Međunarodni biro za tegove i mere), nacionalnoih autoriteta (Savezni zavod za mere i dragocene metale i ovlašćene metrološke laboratorije) kao i odgovornog entiteta za sprovođenje QA programa i korisnika radioloških uređaja

Uspostavljen je kompletan merni lanac, od primarnog etalona do merila korisnika, za niska i srednjeenergetska X-zračenja, koja se najčešće koriste u dijagnostičkoj praksi.

Nacionalna metrološka organizacija u Jugoslaviji je Savezni zavod za mere i dragocene metale koji sprovodi Zakon o mernim jedinicama i merilima (″Službeni list SRJ″, br.80/94, 28/96 i 12/98). Zavod ima primarne etalone jedinice ekspozicione doze jonizujućeg zračenja, kerme u vazduhu i apsorbovane doze jonizujućeg zračenja, realizovane jonometrijskom metodom. Učešćem u međunarodnoj interkomparaciji Savezni zavod za mere i dragocene metale se obavezao da u zemlju unese tačnu meru i da je distribuira korisnicima kako bi obezbedio konzistentnost rezultata u zemlji i njihov međunarodni legitimitet. [3]

Zavod, preko svog informacionog sistema treba da obezbedi podatke o svim pregledanim etalonima, merilima i snopovima u zemlji, podatke o promenama vrednosti i vrednostima relevantnih fizičkih konstanti neophodnih za proračun fizičkih veličina, kao i podatke o tipskim ispitivanjima i tipskim odobrenjima za etalone i merila i podatke o uvezenim merilima i izvorima zračenja, uključujuči podatke o metrološkim propisima. Osim obezbeđenja baze podatka Zavod obezbeđuje i dvosmernu komunikaciju, pre svega sa ovlašćenim metrološkim laboratorijama, kao i organizacijama ovlašćenim za kontrolu izvora zračenja, u cilju pružanja stručne pomoći u svim metrološkim pitanjima, kao što su kalibracija i verifikacija merila i snopova zračenja i sl. [3]

Odgovorni entitet za sprovođenje QA programa je preventivna medicinska ustanova ovlašćena za kontrolu izvora jonizujućih zračenja, ličnu dozimetriju, kontrolu zdravstvenog stanja osoblja profesionalno eksponiranog jonizujućem zračenju, edukaciju kadra, pružanje stručne pomoći i zaštitu pacijenata. Ovlašćena ustanova mora da raspolaže odgovarajućom mernom opremom , verifikovanom od strane nacionalne primarne metrološke laboratorije, sa kojom učestvuje u nacionalnim interkomparacijama čime verifikuje svoje metode merenja i kvalitet svojih rezultata. Ovlašćena ustanova mora da svojim informacionim sistemom, pored baze podataka, obezbedi i dvosmernu komunikaciju sa korisnicima u cilju pružanja stručne pomoći u korišćenju opreme, kao i po pitanjima radiološke zaštite i lične dozimetrije.

Zdravstvena ustanova kao korisnik dijagnostičkih radioloških uređaja (radiologija, stomatološka rendgen dijagnostika, pulmologija, ortopedija, kardiologija idr.)

mora da prati najsavremenije preporuke Svetske zdravstvene organizacije (WHO), Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju (OIML), preko informacionih sistema ovlašćenih organizacija i nacionalnih autoriteta, kao i da u okviru svojih materijalnih mogućnosti ispoštuje sve relevantne preporuke, koje će poboljšati uslove rada i osigurati dobijanje kvalitetne dijagnostičke informacije. Korisnik mora imati komunikaciju sa odgovornim entitetom za sprovođenje programa QA i sopstvenu bazu podataka o medicinskim procedurama i evidenciju svoje opreme. Sve ostale podatke ima ovlašćena ustanova , koja je dužna da obezbedi traženu informaciju korisniku preko svog sistema, ne samo o opremi , već i podatke o ličnoj dozimetriji i zdravstvenoj kontroli lica profesionalno izloženih zračenju i pacijenata [3]

ZAKLJUČAK

U ovom radu je predložen mogući način povezivanja informacionih sistema entiteta u QA programu. Glavni teret u informacionom sistemu je prebačen na organizacije koje ovlašćuje Savezno ministarstvo za rad, zdravstvo i socijalnu politiku, budući da one imaju ovlašćenja prema Zakonu o zaštiti od jonizujućih zračenja. Ovlašćena organizacija mora da pruži zdravstvenoj ustanovi sve podatke u vezi izbora opreme, radiološke zaštite i lične dozimetrije. Predložena veza informacionih sistema entiteta nije ostvarena, ali predstavlja optimum u povezivanju informacionih sistema, koji bi omogućio sprovođenje QA programa u radiološkoj dijagnostici.

LITERATURA

[1] Quality assurance program in diagnostic radiology, WHO, 1982.Geneve;

[2] Quality control and assurance in diagnostic radiology, Materials prepared for WHO training workshop, Neuherberg, 1982.

[3] V.Spasić-Jokić, Primena računara u povezivanju entiteta u programu osiguranja kvaliteta u rendgen dijagnostici, II jugoslovenski kongres radiologa, Zbornik sažetaka,11, maj 1997, Vrnjačka Banja

ABSTRACT

INFORMATICAL CONNECTION OF ENTITIES IN QUALITY ASSURANCE PROGRAM IN RADIOLOGICAL DIAGNOSTIC

V. Spasić Jokić, M. Mišović[1], Z. Bošković[1], B. Đurović[1]

Federal Bureau of Measures and Precious Metals, Belgrade

[1] Military Academy Hospital, Belgrade

Quality assurance program in radiological diagnostic was considered from the standpoint of connection of information systems of various entities which took parts in QA program realization. All stages of choice of equipment, as well as exploitation and metrological aspects of its maintenance were considered.

Proposed connection of information systems, was not realized but it represented proposed optimum in information system connecting between various entities in realization of QA program in radiological diagnostic.

PRORAČUN EKVIVALENTNE DOZE PRI SNIMANJU PLUĆA SOFTVERSKIM PAKETOM FOTELP/EM

B. Stefanović, O. Ciraj,
[1] R. Ilić, S. Stanković
INN „Vinča”,Laboratorija za zaštitu od zračenja , Beograd
[1] INN „Vinča”,Laboratorija za fiziku , Beograd

SADRŽAJ

Radiografija pluća predstavlja jedan od najčešćih dijagnostičkih postupaka primene rendgenskog zračenja. U radu su prikazani rezultati numeričkog eksperimenta Monte Karlo softverskim paketom FOTELP/EM, sa idejom da se proceni ekvivalentna doza za pluća pri radiografiji u lateralnoj projekciji. Procenjena vrednost je u saglasnosti sa podacima iz literature.

UVOD

Radiografija pluća predstavlja jedan od najčešćih dijagnostičkih postupaka primenom rendgenskog zračenja. S obzirom na znatan doprinos medicinskog izlaganja jonizujućim zračenjima (posebno rendgendijagnostike) ukupnoj dozi za populaciju, metode za procenu primljenih doza tokom pojedinih dijagnostičkih postupaka veoma su značajne.

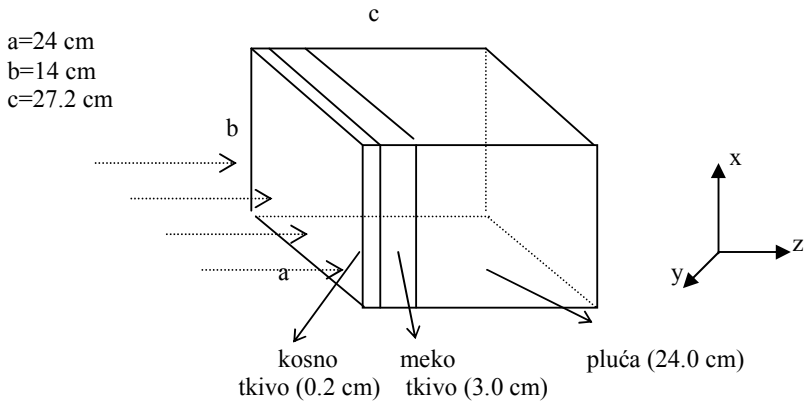
Monte Karlo tehnike zauzimaju važno mesto u numeričkim eksperimentima koji tretiraju transport jonizujućih zračenja kroz materjalne sredine [1]. Većina softverskih paketa koji se baziraju na Monte Karlo tehnikama ostvaruju analogiju modela kretanja i sudara čestica sa atomima materijalne sredine sa svim interakcijama i verovatnoćama iz realnog fizičkog događaja. Zahvaljujući ovakvom pristupu i neprekidnom razvoju računarske tehnike, danas se izvode veoma složeni numerički eksperimenti čiji rezultati omogućavaju izbor koncepcije u zaštiti od zračenja, proveru realizovanih rešenja i poređenje sa rezultatima merenja [2]. Pored inostranih softverskih paketa (MCNP, ITS, ETRAN, EGS4) razvijen je i domaći softverski paket FOTELP/EM za simulaciju transporta fotona, elektrona i pozitrona metodom Monte Karlo. Namenjem je za izvođenje numeričkih eksperimenata u dozimetriji, začtiti od zračenja, radioterapiji; za proračun raspodele apsorbovane energije u materijalnim sredinama, za procenu radijacionih oštećenja materijala, itd. Ovaj softverski paket se sastoji iz programa koji rade u 3D geometriji sa proizvoljnim spektrom čestica iz izvora energija od 1 keV do 100 MeV i geometrijama materijalne sredine koje se mogu opisati ravnima i površinama drugog reda [3].

U radu su prikazani rezultati numeričkog eksperimenta izvedenog softverskim paketom FOTELP/EM i njihovo poređenje sa podacima iz [4] i [5].

METODOLOGIJA

Softverskim paketom FOTELP/EM simulirana je interakcija fotona rendgenskog zračenja sa različitim tkivima u cilju procene apsorbovane energije u plućima pacijenta prilikom radiografije pluća u latelarnoj (LAT) projekciji. Program prati istoriju pojedinačnih fotona emitovanih iz rendgenske cevi pri prolasku kroz vazduh i različite slojeve tkivnoekvivalentnog fantoma.

Za postavku numeričkog eksperimenta iskorišćen je jednostavan geometrijski model prikazan na slici 1. Izvor rendgenskog zračenja postavljen je na rastojanju 140 cm od fantoma. Prostor između izvora zračenja i pacijenta ispunjen je vazduhom. Pacijent je modeliran nizom od tri homogena bloka čiji materijalni sastav odgovara sastavu kosnog tkiva, mekog tkiva i pluća [6], debljina 0.2 cm, 3.0 cm i 24.0 cm, respektivno. Dimenzije fantoma su bile 24 cm x14 cm x 27.2 cm.



Slika 1. Geometrijska postavka: položaj fantoma u odnosu na upadni snop i dimenzije fantoma (a-visina, b-širina i c-debljina)

Za geometriju izvora fotona odabran je homogen snop kružnog preseka poluprečnika 21.2 cm koji pada pod pravim uglom na površinu fantoma. Monoenergetski fotoni imaju emisionu energiju E=47 keV. Na ovaj način aproksimiran je spektar rendgenske cevi sledećih karakteristika: konstantan napon 90 kV, ukupna filtracija ekvivalenta 3 mm Al, anoda od volframa. Srednja energija fotona u spektru je 47 keV a fluks na rastojanju 75 cm od fokusa 3.85 10^6 $mA^{-1}s^{-1}mm^{-2}$[7]. Početni broj fotona u proračunu bio je 1000000.

Softverski paket FOTELP/EM računa apsorbovanu energiju u svakoj od četiri materijalne zone definisane geometrijskom postavkom eksperimenta. Blok materijala koji simulira pluća pacijenta podeljen je na 24 sloja duž z-ose. Debljina svakog sloja je 1 cm. Osnova bloka ima dimenzije 14 cm x 24 ccm. Izračunata je ukupna apsorbovana energija u bloku po jedinici mase (MeV/kg) za zadati broj fotona, a zatim izvršena korekcija za broj fotona koji odgovara realnim uslovima snimanja u LAT projekciji.

Ulaznim podacima definisane su cut off energije fotona, elektrona i pozitrona na kojima se prekida simulacija transporta odgovarajuće čestice, odnosno ona se apsorbuje na mestu gde je dostigla cut off energiju. Zadate vrednosti cut off energija za fotone, elektrone

i pozitrone iznose: 1 keV, 5 keV i 5 keV, respektivno. Numerički eksperiment je izveden na PC 586, 133 MHz, 16 Mb RAM i trajao je 15.67 min.

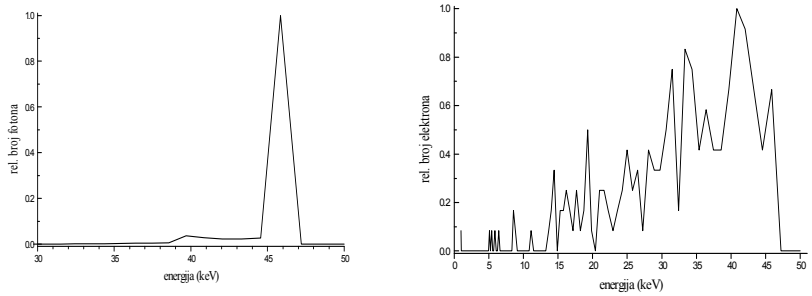
REZULTATI

Za postavljeni model izračunato je da apsorbovana doza u plućima iznosi 1.29mSv. Ova vrednost se razlikuje manje od 17% u odnosu na vrednost navedenu u referenci [4], gde je odre|ivanje ekvivalentne doze za pojedine organe izvedeno na osnovu izmerenih prosečnih vrednosti kerme u vazduhu i konverzionih koeficijenata koji se baziraju na Monte Karlo simulaciji rendgendijagnostičkih postupaka i fantoma MIRD [4]. Tabele [5] sadrže konverzione koeficijente za pretveranje ekspozicione doze na površini kože pacijenta u ekvivalentnu dozu u organima za najčešće rendgendijagnostičke procedure. Na osnovu ulaznih podataka o fotonskom snopu, dimenzija fantoma i odgovarajućih geometrijskih korekcija izračunata je ekspoziciona doza na površini fantoma, koja je zatim konvertovana u ekvivalentnu dozu u plućima. Izračunata vrednost se razlikuje za 14% od vrednosti dobijene našim proračunom (tabela 1.).

Tabela 1. Vrednosti ekvivalentne doze u plućima pri snimanju u LAT projekciji

	Tomašević [4]	*HHS Publ. [5]*	*FOTELP/EM*
H (mSv)	1.55	1.48	1.29

S obzirom da u realnim uslovima varijacije doza za iste dijagnostičke postupke u različitim ustanovama iznose i “do dva reda veličine” a zavise od tipa rendgen aparata, izbora fizičko-tehničkih parametara snimanja, vrste prijemnika slike…[8] , izvedenu procenu možemo smatrati zadovoljavajućom.



Slika 2. Spektri izbeglih fotona i elektrona

U problematici zaštite od zračenja značajno je ustanoviti i spektralnu distribuciju fotona i elektrona umaklih iz absorbera, u ovom slučaju tkivnoekvivalentnog fantoma. Spektri izbeglih fotona i elektrona u funkciji energije prikazani su na slici 2.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenog proračuna može se zaključiti da simulacija transporta fotona, elektrona i pozitrona softverskim paketom FOTELP/EM, uspešno odražava realne procese pri interakciji jonizujućih zračenja i bioloških materijala. Za slučajeve različitih geometrija opisanih ravnima i površinama drugog reda numerički eksperiment je metoda izbora kada nije moguće sprovesti direktna merenja.

U radiografiji pluća (kao i drugim rendgendijagnostičkim postupcima), ispitivanjem novih mogućnosti softverskog paketa FOTELP/EM, poboljšanjem kvaliteta geometrijske konfiguracije fantoma i snopa i boljim aproksimacijama spektra rendgenskog zračenja, moguće je dobiti preciznije dozimetrijske podatke.

LITERATURA

[1] Turner J.E., Wright H.A., Hamm R.N. A Monte Carlo Primer for Health Physicist, Health Phys.48(6): 1985:717-733.

[2] Ilić R.D., Tehnike Monte Karlo u transportu čestica, Naučna knjiga, Beograd, 1991., pp.170

[3] Ilić R.D., Stanković S., Vukčević M., Petrović M., Numerički eksperimenti u zaštiti i dozimetriji, Zbornik radova XIX jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Golubac, 1997: 115-119.

[4] Tomašević M., Goldner B., Rendgensko zračenje i zaštita u medicinskoj dijagnostici, Velarta, Beograd, 1998: 387-388.

[5] Handbook of Selected Tissue Doses for Projections Common in Diagnostic Radiology, HHS Publication FDA 89-8031, Rockville, Maryland, 1988.

[6] Snyder W.S., Werner G.G., Tabulation of Dose Equivalent per Microcurie –Day for Source and target organs of an Adult for Various Radionuclides, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1976.

[7] Birch R., Marshall M., Catalogue of Spectral data for Diagnostic X-rays, The Hospital Physics Assosiation, Oxford, UK, 1975.

[8] Almeida C.E., Lomba M., Cunha P.G., A Survey of Chest Medical X-ray Doses, Proceedings of International Congess on Radiation Protection, Vienna, Austria, 1996: 386-388.

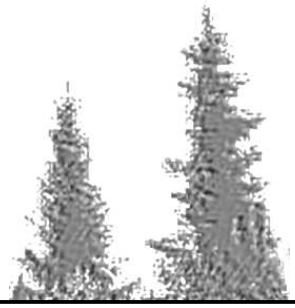
ABSTRACT

CALCULATION OF EQUIVALENT DOSE IN CHEST RADIOGRAPHY USING FOTELP/EM MONTE CARLO CODE

B. Stefanović, O. Ciraj,
R. Ilić, S. Stanković
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

Chest X-ray examinations are the most frequent type of diagnostic procedure. The paper presents the results of numerical experiment performed by Monte Carlo computer code FOTELP/EM with basic idea to estimate the equivalent dose for chest in lateral projection. The estimated value is in good agreement with literature data.

7



RADIOBIOLOGIJA

PROCENA GENOTOKSIČNOSTI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA FISH MIKRONUKLEUSNIM TESTOM

G. Joksić, A. Petrović-Novak[1]
Institut za Nuklearne nauke „Vinča“
[1]Institut za hematologiju, Klinički centar Srbije

SADRŽAJ

U ovom radu izloženi su rezultati ispitivanja genomskih mutacija humanih limfocita in vitro ozračenih izvorom gama zračenja (^{60}Co) i neozračenih kontrola FISH mikronukleusnim testom. Cilj ispitivanja bio je eksperimentalno odrediti medjusobni odnos toksičnih i klastogenih efekata u ukupnom oštećenju genoma dejstvom ispitivanog zračenja. Zaključeno je da je tokisčni efekat zračenja na genom gotovo zanemarljiv te minimalno doprinosi ukupnoj radijacionoj ozledi naslednog materijala čoveka. U kontrolnim uzorcima zapažen je visok procenat mikronukleusa aneugenog porekla (nastalih dejstvom hemijskih agenasa). Odredjivanje procenta mikronukleusa nastalih dejstvom hemijskih agenasa povećaće preciznost ove metode u biodozimetriji jonizujućeg zračenja, naročito malih doza. U radu je istaknuta jednostavnost i pouzdanost metode i mogućnost analize više bioloških parametara iz jedne ćelijske kulture.

UVOD

CB mikronukleusni test (“cytokinesis-block”) razvili su Fenech i Morley 1985.godine. Od tada do danas metoda se neprekidno usavršava te nalazi sve veću primenu u radiobiologiji i toksikologiji. Koristi za procenu radijacionog ili genotoksičnog efekta u ćelijama koje su prošle prvu in vitro deobu [1]. Najveća prednost mikronukleusnog testa je u tome što se stepen genomskih mutacija i proliferativna sposobnost ćelija može analizirati istovremeno [2]. Hibridizacijom binukleranih ćelija in situ antikinetohor antitelima ili alfoidnom DNK probom (FISH) može se odrediti poreklo mikronukleusa (klastogeno ili aneugeno). Hibridiziovani preparati su fluorescentno obojeni što omogućava analizu apoptoznih figura u mononuklearnim i binuklearnim ćelijama [3]. Uz odgovarajući izbor DNK proba prvi put do sada može se analizirati aneuploidija [4]. Gotovo svi navedeni parametri mogu se dobiti samo sa jednog preparata iz iste ćelijske kulture .

Nove mogućnosti mikronukleusnog testa svetska naučna javnost iskoristila je za rešavanje problema porekla spontane učestalosti mikronukleusa i efekata hemijskih agenasa na oštećenje genoma. Kako metoda pruža i mogućnost da se u uslovima istovremene izloženosti fizičkim i hemijskim agenasima odredi udeo svakog od njih, veruje se da će ovakva ispitivanja biti izuzetno važna u odredjivanju praga za nastajanje genomskih mutacija za mnoge hemijske agense [5].

Poznato da je dejstvo jonizujućeg zračenja na genom dvojako; klastogeno i genotoksično. Klastogeni efekti dovode do ćelijske smrti vrlo brzo nakon ozračivanja. Genotoksični efekti jonizujućeg zračenja su sporedni, smatraju se manje opasnim, ali se njihovo postojanje ne zanemaruje. Odredjivanje genotoksičnog dejstva zračenja je polazna tačka u proceni udela hemijskih agenasa u ukupnom oštećenju humanog genoma istovremenim dejstvom hemijskih agenasa i jonizujućeg zračenja. U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja genotoksičnog efekta gama zračenja FISH mikronukleusnim testom na uzorcima ljudske krvi akutno ozračenim trapijskom dozom gama zračenja. Istom metodom analizirana je priroda mikronukleusa u neozračenim uzorcima istih osoba.

MATERIJAL I METODE

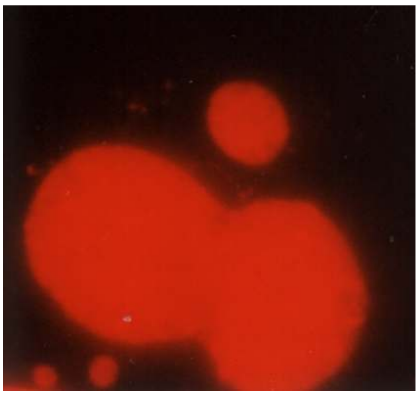
Uzorci krvi uzeti su od zdravih donora, nepušača, sterilno na heparinu. Alikvoti (2 ml) ozračeni su u fantomu od pleksiglasa 15x15 cm, izvorom zračenja ^{60}Co, dozom 2 Gy, brzinom doze 0.45Gy/min, na sobnoj temperaturi. Postavljene su limfocitne kulture ozračenih uzoraka i neozračene kontrole. Ćelije su gajene 72^h u prisustvu citohalazina B (6μg/ml) poslednjih 24^h inkubacije. Preparacija mikronukleusnih kultura modifikovana je u skladu sa zahtevima procedure za in situ hibridizaciju. Za hibridizaciju korišćena je alfa satelitna DNK proba za sve centromere obeležena digogsigeninom (Oncor). Postupak hibridizacije uradjen je po uputstvu Oncor: preparati su pretretirani RNA-zom (100ng/ml), ispirani u puferu (2xSSC) i dehidratisani u seriji rastućih koncentracija etanola. Zatim su tretirani proteinazom K (0.5μg/ml) i ponovo dehidratisani. DNK proba denaturisana je na 70°C 5'.Denaturacija DNK u ćelijama na preparatu uradjena je u 70% rastvoru formamida na 72°C. Hibridizacija je trajala 13 sati u vlažnoj komori na temperaturi 37°C. Za detekciju hibridizovanih signala korišćena su antitela obeležena fluorescentnom bojom FITC (ovčija i zečija antidigogsigenin antitela). Preparati su bojeni propidijum jodidom (PI) i analizirani na fluorescentnom mikroskopu (Axiophot,Opton). Ćelijska jedra i mikronukleusi obojeni su crveno. Hibridizovani segmenti vide se kao žute tačke (FITC) i predstavljaju centromerni region zajednički za sve hromozome u humanom genomu (višestruki ponovci AATGG sekvenci). Na osnovu prisustva hibridizovanih signala u binuklearnim ćelijama mikronukleusi su klasifikovani u dve kategorije: MNC+ (pozitivni na centromeru) i MNC- (negativni na centromeru). Na ozračenim uzorcima i neozračenoj kontroli sa jednog preparata analizirana stepen indukovanih genomskih mutacija (učestalost mikronukleusa), proliferativni potencijal limfocita (CBPI) i frekvencija mikronukleusa sa pozitivnim i negativnim signalima na centromeru.

REZULTATI

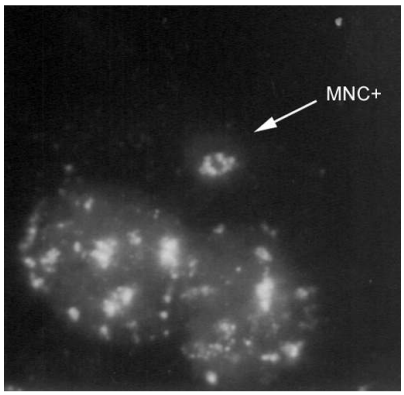
Rezultati ispitivanja ozračenih uzoraka i neozračene kontrole prikazani su na tabeli 1. Učestalost mikronukleusa je izražena na 1000 binuklearnih ćelija. Proliferacioni potencijal (CBPI, engl. "cytokinesis block proliferation index") izračunava se iz medjusobnog odnosa mono bi i polunuklearnih ćelija. Mikrografije binuklearnih limfoblasta sa mikronukleusima pozitivnim i negativnim na centromeru prikazani su na slici 1 i 2. MNC+ mikronukleusi u sebi sadrže svetle tačke dok su MNC- bez signala.

Tabela 1: Učestalost genomskih mutacija, mitotski indeks i broj mikronukleusa aneugenog i klastogenog porekla u ozračenim i kontrolnim uzorcima

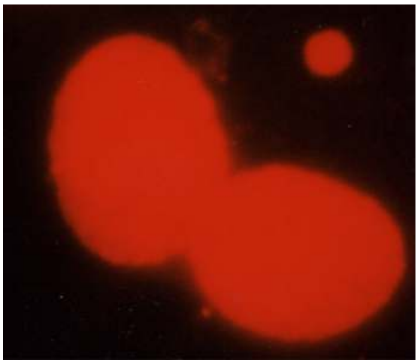
Uzorak	Učestalost MN (kontrola)	Broj MNC+	Broj MNC−	CBPI	Učestalost MN (ozračen)	Broj MNC+	Broj indukovanih MNC+	Broj MNC−	CBPI
1.	16	9	7	1.97	197	13	4	184	1.72
2.	24	13	11	1.88	211	18	5	193	1.76
3.	13	9	4	2.01	213	15	6	198	1.77
4.	9	6	3	1.96	194	14	8	180	1.69
5.	19	7	12	1.96	200	14	7	186	1.71
6.	9	3	3	1.82	188	16	13	179	1.69
Σ %	90	50 55.6%	40 44.4%	1.93	1203	90 7.5%	43 3.6%	1120 93.1%	1.72



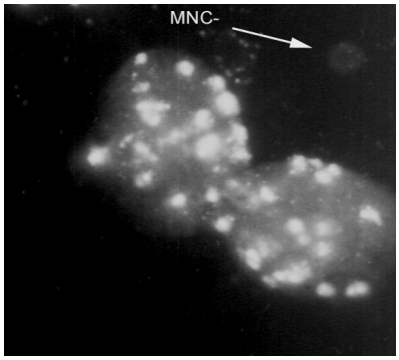
Slika 1. Binuklearna celija sa jednim MN (PI)



MN sa pozitivnim centromernim signalom (FITC)



Slika 2. Binuklearna celija sa jednim MN (PI)



MN sa negativnim centromernim signalom (FITC)

U kontrolnim uzorcima uočljiv je visok procenat mikronukleusa koji u sebi sadrže centromeru (55.6%). Nešto manje su zastupljeni mikronukleusi bez centromernih signala (44.4%). U ozračenim uzorcima procenat mikronukleusa bez signala iznosi 93.1.

Kada se od ukupnog broja mikronukleusa indukovanih zračenjem oduzme broj pozitivnih na centromeru iz kontrole, dolazimo do rezultata da svega 3.6% mikronukleusa sadrži centromeru. Učestalost mikronukleusa indukovanih in vitro ozračivanjem kretala se od 198-213. Proliferativni potencijal limfocita stimulisanih in vitro odredjen je medjusobnim odnosom mono, bi i polinuklearnih ćelija. U ozračenim uzorcima prosečno iznosi 1.72, u kontroli 1.93. Evidentno je mitotsko kašnjenje usled ozračivanja (u proseku 11% ćelija ne uspeva da stigne do faze deobe).

DISKUSIJA

Centromernim mikronukleusnim testom precizno se može odrediti priroda agensa koji je delovao na genom. Analiza mikronukleusa u kontrolnim uzorcima jasno je pokazala da je više od polovine indukovano hemijskim agensima kojima smo svakodnevno izloženi. Navike u ishrani, uzimanje različitih medikamenata, konzumiranje alkoholnih pića ima značajan udeo u formiranju ove vrste mikronukleusa. Većina hemijskih agenasa deluje toksično na ćelijske proteine, naročito na tubulin ometajući njegovu polimerizaciju usled čega se stvara defektno deobno vreteno. U deobi ćelije vreteno vuče hromozome na suprotno orijentisane ćelijske polove. Defektne mikrotubule ne mogu da dobro vežu hromozome i gube ih prilikom transporta. Od takvih hromozoma, nakon deobe, formiraju se mikronukleusi koji u sebi sadrže pozitivne centromerne signale. Toksično dejstvo hemijskih noksi može ugroziti i proteine koji čine sastavni deo hromozoma usled čega centromerni region hromozoma nije dovoljno istaknut, neuspeva da se veže za deobno vreteno, ostaje izgubljen u citoplazmi i formira isti tip mikronukleusa. U ozračenim uzorcima izražen je visok procenat mikronukleusa (93.1) negativnih na centromeru. Takvi mikronukleusi su posledica nestabilnih hromozomskih aberacija tipa acentričnih fragmenata i ukazuju na izrazito klastogenu prirodu jonizujućeg zračenja. Svega 3.6% mikronukleusa indukovanih jonizujućim zračenjem je genotoksičnog porekla. Toksični doprinos zračenja na ukupno oštećenje genoma je mali, ali ga je potrebno odrediti za svaku kategoriju jonizjućeg zračenja. U tom slučaju bi se vrlo precizno mogao odrediti udeo hemijskih noksi i jonizujućeg zračenja u ukupnoj ozledi genoma u slučajevima kombinovane izloženosti navedenim agensima. Takva izloženost je najčećša, bilo da se radi o akcidentima, profesijskoj izloženosti ili zagadjenju životne sredine. Preliminarni rezultati ispitivanja izloženih u ovom radu, pokazuju da se relativno jednostavno može utvrditi priroda agensa koji je doveo do ozlede naslednog materijala čoveka. Centromernim mikronukleusnim testom postiže se prezina procena apsorbovane doza jonizujućeg zračenja. U profesionalnoj izloženosti može biti izuzetno važan parametar, ali je važno uraditi skrining spontane učestalosti mikronukleusa populacije različitih profesija i starosne strukture.

LITERATURA

[1] Fenech, M., Morley, A.A. (1985) Measurement of micronuclei in lymphocytes. Mutation Res. 147, 29-36.

[2] Joksić,G., Petrović-Novak, A., Stanković, M., Kovačević, M. (1999) 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, 46,1,40-49.

[3] Kirsch-Volders, M., Elhajouji, A., Cundari,E., Van Hummelen, P. (1997) The in vitro micronucleus test- a multi-endpoint biological assay to detect simultaneously mitotic delay, apoptosis, chromosome breakage, chromosome loss and non-disjunction. Mutation Res 392, 19-30.

[4] Faroogi, Z., Darroudi,F., Natarajan, A.T.(1993) The use of fluorescence in situ hibridization for the detection of aneugens in cytokinesis-blocked mouse splenocytes. Mutagenesis 8, 329-334.
[5] Parry, J.M., Feilder, R.J., McDonald, A., (1994) Thresholds for aneuploidy-inducing chemicals. Mutagenesis 9, 503-504.

ABSTRACT

GENOTOXIC EFFECTS OF IONISING RADIATION REVEALED BY FISH MICRONUCLEUS ASSAY

Gordana Joksić, Angelina Petrović-Novak[1]
Vinča Institute of Nuclear Sciences
[1] Clinical Centre Srbija, Institut for Haematology

The incidence of genomic mutations in circulating human lymphocytes irradiated with γ-rays in vitro was examined employing FISH micronucleus assay. The same analysis was performed in control unirradiated samples. The study aims to evaluate relationship between genotoxic and clastogenic effects after irradiation in vitro. The obtained results showed very low contribution of toxic damages in total level of genome mutations. Considering the level of spontaneously occurring micronuclei FISH analysis demonstrated that 54% are aneugenic in origin, arised as a consequence of the action of chemical mutagens. Quantification of clastogenic versus aneugenic events offer very precise approach in biodosimetry, particularly in cases of irradiation with low radiation doses. The simplicity and advantages of micronucleus test as cytogenetic multi-endpoint assay to detect simulatneously mitotic delay, chromosome breakage chromosome loss and non-disjunction is pointed out in this study.

UČESTALOST HROMOZOMSKIH ABERACIJA (CA) I MIKRONUKLEUSA (MN) U HUMANIM LIMFOCITIMA OZRAČENIM *IN VITRO*

M. Stanković
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za Medicinsku zaštitu

SADRŽAJ

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja učestalosti hromozomskih aberacija i mikronukleusa u in vitro ozračenim uzorcima krvi zdravih odraslih osoba ženskog pola. Za ozračivanje korišćen je izvor γ– zračenja (^{60}Co), doza 2Gy. Koreliranjem citogenetskih parametara hteli smo da ispitamo pogodnost ova dva citogenetska testa u biodozimetriji jonizujućeg zračenja, proceni radioosetljivosti i proceni gnomskih mutacija ljudi koji su ambijentalno ili profesionalno izloženi klastogenim agensima.

UVOD

Jonizujuće zračenje predstavlja jedan od najjačih mutagenih agenasa u prirodi. Sasvim pouzdan parametar oštećenja genetičkog materijala usled delovanja jonizujućeg zračenja je pojava hromozomskih aberacija (kao što su: dicentrični, policentrični, prstenasti hromozomi). Sve ove hromozomske aberacije prati pojava acentričnog fragmenta, kao zauvek izgubljenog dela genetičkog materijala. U mnogim radovima [1,2] potvrđeno je da prisustvo acentričnog fragmenta predstavlja jasan pokazatelj ćelijske smrti. Mikronukleusi predstavljaju jedarca koja nastaju u citoplazmi telesnih ćelija čiji kariotip sadrži nestabilne strukturne hromozomske aberacije. Acentrični hromozomi, hromatidne i hromozomske delecije, a ponekad i celi hromozomi koji nisu uspešno podeljeni u anafazi ćelijske deobe, ostaće odvojeni od glavnog jedra i u citoplazmi novoformiranih ćelija obrazovaće mikronukleuse. Može se slobodno reći da je učestalost mikronukleusa indirektni pokazatelj učestalosti hromozomskih aberacija. S druge strane citohalazin-B mikronukleusni test je veoma pogodan za primenu jer se zahvaljujući njemu može vrlo brzo analizirati veliki broj ćelija, što daje objektivnu sliku učestalosti i distribucije CA. Istraživanja [3,4] su pokazala da radijacioni odgovor na jonizujuće zračenje može biti dobar kriterijum za studije individualne varijabilnosti u humanoj populaciji.Kod zdravih odraslih osoba primećena je velika individualna varijabilnost u osetljivosti na jonizujuće zračenje. Mnogobrojni su uzroci ovoj varijabilnosti, ali jedan od najznačajnijih faktora u osetljivosti zdravih osoba na zračenje je heterozigotnost genskog lokusa za ataksiju telangiektaziju. Analiza učestalosti CA i MN predstavlja najsenzitivniji biološki metod određivanja apsorbovane doze jonizujućeg zračenja

MATERIJAL I METODE

U ovom radu je praćeno 13 zdravih žena, koje profesionalno nisu izložene fizičkim ili hemijskim mutagenima. Starost žena u ovoj grupi se kretala od 22 do 49 godina. Alikvoti heparinizirane venske krvi ozračeni su u fantomu od pleksiglasa (dimenzija 15x15cm) izvorom ^{60}Co γ - dozom 2 Gy, akutno . Dva sata nakon ozračivanja postavljene su kulture limfocita periferne krvi na način koji je opisan u našim ranijim radovima. Paralelno su postavljene kulture limfocita za analizu mikronukleusa i hromozoma. Neozračeni uzorci su služili kao kontrola.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na tabelama 1, 2 i 3, dati su rezultati analize hromozomskih aberacija 13 žena, starosti od 22 do 49 god., čiji su uzorci krvi ozračeni in vitro terapijskom dozom od 2Gy, kao i kontrolni uzorci koji nisu zračeni.

Tabela 1. Učestalost hromozomskih aberacija
u in vitro ozračenim uzorcima krvi i u kontrolnim uzorcima

God. Star.	IN VITRO OZRACENI UZORCI KRVI											KONTROLA		
	Br.pre ćelija	Br.prek/ ćeliji	%aber. ćelija	Hromozomske aberacije								Br.pre ćelija	Br.pre po ćel	%abe ćelija
				Dic.	Ring	AF	Peca	Trans	Te.plo	CB*	CB			
22	113	0,95	29,02	27	4	45			3	7		198	0	0
49	162	0,77	26,54	28	8	44	4	1	4	2		200	0	0
38	155	0,61	23,87	22	6	33	2			3	1	175	0	0
42	160	0,57	33,12	29	9	14				4	2	194	0	0
42	112	0,52	33,03	20	1	16				5		165	0	0
34	101	0,44	23,76	9	3	21				1		188	0	0
40	124	0,74	39,52	33	2	22				2		193	0	0
40	109	0,75	43,12	23	5	26				4		201	0	0
40	102	0,60	31,37	18	3	19				2		179	0	0
39	108	0,48	24,07	18	1	14						186	0	0
37	105	0,84	32,38	19	5	31	1	3			1	192	0	0
32	111	1,22	42,34	37	7	40	1	3				187	0	0
47	120	0,59	23,33	20	7	17				1		191	0	0

CB* → hromatidni prekid
CB → hromozomski prekid
PECA → pericentrična inverzija

Na tabeli 1, se vidi da je procenat aberantnih ćelija velik i da se kreće od 23,33% do 43,12%. U proseku imamo 31,2 ± 0,17% aberantnih ćelija na 100 pregledanih metafaza. Ukupno je pregledano 1584 metafaznih ćelija. Ako se pogleda distribucija hromozomskih aberacija, vidi se da ima mnogo dicentrićnih, prstenastih hromozoma i acentričnih fragmenata, što je i očekivano kada se zna da su nestabilne hromozomske aberacije direktni pokazatelj svežeg ozračivanja. Kada se pogleda broj prekida po ćeliji vidi se da je on manje više uniforman kod svih ispitanika i da nema nekog značajnog odstupanja Broj prekida po ćeliji se kreće od 0,44 do 1,2. Prosečno imamo 0,7± 0,24 prekida po ćeliji. U kontrolnom uzorku je pregledano ukupno 2449 metafaznih ćelija i nisu nađene nikakve promene.

Na tabeli 2. su dati su rezultati citohalazin B- mikronukleusnog testa. Ukupno je pregledano 18476 binuklearnih ćelija.

Tabela 2. Učestalost mikronukleusa u in vitro ozračenim uzorcima krvi

Godi. star.	Br. BN ćelija	MN/ BN ćel	%BN saMN	MN/ 1000	DISTRIBUCIJA MN							
					0 MN	1 MN	2 MN	3 MN	4 MN	5 MN	6 MN	7 MN
22	2036	1,60	11,29	180,75	1806	135	61	25	9			
49	1224	1,18	14,46	171,56	1047	150	24		3			
38	1362	1,46	12,92	188,69	1186	120	42	9	2	1	1	1
42	1374	1,33	13,10	175,40	1194	138	30	7	3	2		
42	1665	1,31	14,29	187,38	1427	177	50	9	2			
34	1553	1,23	14,16	175,14	1333	175	38	5			1	
40	1327	1,33	17,18	228,33	1099	168	47	11	2			
40	1236	1,15	15,69	181,22	1042	165	28	1				
40	1326	1,21	16,29	198,34	1110	178	32	5			1	
39	1075	1,19	16,65	199,06	896	148	27	4				
37	1717	1,21	15,72	191,03	1447	218	46	6				
32	1181	1,28	14,30	183,74	1012	129	35	3	1	1		
47	1400	1,24	19,90	247,85	1121	221	49	8	1			

Ako pogledamo distribuciju MN, vidimo da najveći broj binuklearnih ćelija sadrži od 1 do 4 MN. Binuklearne ćelije sa 5 i 6 MN srećemo samo kod 3 ispitanika, a binuklerne ćelije sa 7 MN nalazimo samo kod 1 ispitanika. Kada se pogleda tabela 2 vidi se da ispitanici pod rednim brojem 7 i 13 imaju najveći broj MN na 1000 pregledanih BN ćelija(228,33 i 247,85). Na tabeli se vidi da se kod ovih ispitanika nalazi i najveći procenat BN ćelja sa MN(17,12% i 19,9%). S druge strane, kod ispitanika sa rednim brojevima : 2, 4 i 6 imamo najmanji broj MN na 1000 pregledanih BN ćelija(171,56; 175,40; 175,14). Ovde se sreće i najmanji % BN ćelija sa MN(14,46%; 13,10%; 14,16%). Iz tabele se jasno vidi da kod ispitanika čiji su uzorci krvi in vitro ozračeni terapijskom dozom zračenja od 2Gy, postoji individualna varijabilnost u odgovoru na jonizujuće zračnje , što ako se uporedi sa rezultatima dobijenim analizom hromozomskih aberacija ne može da se vidi. Ako pogledadamo tabelu 3, vidimo da se ovde učestalost mikronukleusa kreće u granicama normale za zdravu populaciju. Rezultati pokazuju da je citohalazin B mikronukleusni test mnogo senzitivniji parametar individualne radioosetljivosti nego analiza hromozomskih aberacija. Ove studije pokazuju očiglednu individualnu varijabilnost u broju radijaciono indukovanih mikronukleusa, što ukazuje na bolju senzitivnost MN u odnosu na CA u njihovom odgovoru na jonizujuće zračenje. Objavljeni rezultati [5] i [6], pokazuju da se upotrebom malih doza zračenja uvećavaju razlike u kapacitetu repera između ćelija što pokazuje razlike u individualnoj radioosetljivosti posle akutnog ozračivanja dozom od 2Gy. Predispozicija nekih osoba ka većoj radioosetljivosti može da poveća rizik od radijaciono indukovanog kancera, kao i da dovede do preosetljivosti na radioterapiju, što lako možemo prepoznati obradom rezultata dobijenih analizom mikronukleusa. Mikronukleusni test je značajan pokazatelj kvantitativnog efekta radijacije, i koristi se za brzu procenu radioosetljivosti u kliničkim ispitivanjima.

Tabela 3. Učestalost mikronukleusa u kontrolnim uzorcima

Godine starosti	Br. BN ćelija	Br. Mn/ BN	% BN sa MN	MN/1000	D I S T R I B U C I J A M N		
					0 MN	1 MN	2 MN
22	1425	1,1	0,63	7,01	1416	8	1
49	1155	1,1	0,78	8,66	1146	8	1
38	1276	1	0,78	7,84	1266	10	
42	1091	1	0,73	7,33	1083	8	
42	1060	1	0,75	7,54	1052	8	
34	1104	1,1	0,81	9,05	1095	8	1
40	1117	1	0,89	8,95	1107	10	
40	1159	1	0,60	6,03	1152	7	
40	1241	1,1	0,64	7,25	1233	7	1
39	1213	1,1	0,74	8,24	1204	8	1
37	1200	1	0,75	7,50	1191	9	
32	1092	1,1	0,82	9,16	1083	8	1
47	1059	1	0,85	8,50	1050	9	

LITERATURA

[1] Grote, S.J., Joshi, G.P., Revell, S.H., Shaw,C.A.: Observations of radiation- induced chromosome fragment loss in live mammalian cells in culture and its effect on colony forming ability. Int.J.Radiat.Biol.,39, 1981b, 395-408.

[2] Carrano,A.V., Heddle, J.A.: The fate of chromosomal aberrations.J.Theor. Biol., 38, 1973, 289-304.

[3] Joksić,G., Nikolić,M., Spasojević,V.:Radiosensitivity of different aged human lymphocytes following electron irradiation in vitro. Neoplasma, 44, 2, 1997.

[4] Joksić,G., Novak,A,. Stanković,M., Kovačević,M.: Radiosensitivity of human lymphocytes in vitro correlates more with proliferative ability of cells than with the incidenc4 of radiation-induced damages of the genome. Neoplasma,46, 1, 1999.

[5] Elyan,S.A.G., West,C.M.L., Roberts, S.A. Hunter, R.D..: Use of low dose rate irradiation to measure the intrinsic radiosensitivity of human T-lymphocytes. Int.J.Radiat.Biol., 64, 1993, 375-383.

[6] Scott,D., Spreadborough,A.R., Roberts,S.A.: Radiation-induced G2 delay and spontaneous chromosome aberrations in ataxia-telangiectasia homozygotes and heterozygotes. Int. J. Radiat. Biol., Suppl., 66, 1994, 157-164.

ABSTRACT

THE INCIDENCE OF CHROMSOME ABERRATION AND MICRONUCLEI IN HUMAN LYMPHOCYTES IRRDAITED *IN VITRO*

M.Stanković

“Vinča” Institute of Nuclear Sciences, Medical Protection Centre Belgrade

The results of chromosome aberration and micronuclei analysis in human blood cells, of healthy adults, irradiated *in vitro*, are presented in this paper. The correlation between those cytogenetic endpoints aims to evaluate the suitability of this methods in biodosimetry of ionizing radiation,radiosensitivity and biomonitoring of human population.

UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA VIJABILNOST I BROJ ĆELIJA U KULTURI SA MALIGNIM I BENIGNIM KARAKTERISTIKAMA

V. Bogdanović, K. Taški[1], A. Rudić,
G. Bogdanović, V. Vit. Baltić i Lj. Krmpot
Institut za onkologiju, Sremska Kamenica
[1] Institut za biologiju PMF, Novi Sad

SADRŽAJ

Kultura ćelija kao sistem sa kontrolisanim uslovima predstavlja pogodan model za analizu dejstva jonizujućeg zračenja na ćelijsku populaciju. U našem eksperimentu određivali smo broj i vijabilnost ćelija u ćelijskim kulturama K562 i L929 prethodno ozračenim γ - zracima. Cilj istraživanja bio je da se utvrde razlike u senzitivnosti na zračenje između maligne i benigne ćelijske linije, i proceni zaštitni efekat ekstracelularno dodate superoksid - dismutaze. Analiza broja i vijabilnosti ćelija pokazala je da je dediferencirana, maligna ćelijska kultura K562 znatno osetljivija na zračenje od benigne L929. Zaštitni efekat ekstracelularno dodatog SOD nije uočen.

UVOD

Biološki sistemi se odlikuju specifičnošću u pogledu reakcije na zračenje, odnosno razlikuje se stepen oštećenja koje pri akutnom opštem ozračenju izazove jedna ista doza u različitim ćelijama, tkivima i organima [1].

U živoj ćeliji jonizujuće zračenje može da proizvede dve vrste efekata: direktne i indirektne, a oba su u vezi sa nastankom reaktivnih kiseoničnih čestica. Direktni efekti indukuju oštećenje DNA i peroksidativne promene u membranama i drugim ćelijskim komponentama. Indirektno, nastali metaboliti mogu interferirati sa bitnim metaboličkim funkcijama [2,3]. Pritom, ćelije su utoliko osetljivije ukoliko je njihova reproduktivna sposobnost veća, kariokinetska transformacija duža, a njihova morfologija i funkcija manje izdiferencirana [1].

Kultura ćelija kao sistem sa kontrolisanim uslovima predstavlja pogodan model za analizu dejstva jonizujućeg zračenja na ćelijsku populaciju. Ona pruža mogućnost izučavanja poremećaja procesa rasta, razvoja i deobe ćelije, kao i biohemijskih i populacionih fenomena.

Cilj istraživanja je bio da se utvrde razlike u senzitivnosti na zračenje između maligne i benigne ćelijske linije, i proceni zaštitni efekat ekstracelularno dodate superoksid - dismutaze.

MATERIJAL I METODE

Eksperiment je rađen na ćelijskim kulturama humane eritroleukemije (K562) i mišijih fibroblasta (L929). K562 ćelije su gajene u RPMI-u sa 10% FCS sa dodatkom antibiotika. Zasejavane su u epruvete od 10 ml u koncentraciji od 1.6 x 10^6/ml. L929 ćelije su gajene u DMEM-u sa 10% FCS sa dodatkom antibiotika. Zasejavane su u mikrotitar ploče sa 6 otvora u koncentraciji od 100 x 10^3. Eksperiment je započet nakon tri dana od zasejavanja, kada su ćelije postale konfluentne. Kulture su jednokratno ozračene sa 3000, odnosno sa 2500 cGy. Pritom, odgovarajuća doza od 2500 cGy za kulturu L929 je određena pomoću dva prethodna eksperimenta, dok je doza kojom je ozračena kultura K562 bila poznata iz literaturnih podataka [4] .

Planom eksperimenta uzorci iz svake ćelijske kulture su podeljeni u 4 grupe. Drugoj i četvrtoj grupi uzoraka dodat je SOD u koncentraciji od 10^{-6} M jedan sat pre ozračivanja. Prva i druga grupa nisu ozračene, a treća i četvrta grupa su jednokratno ozračene γ- *zracima.* (Mevatron, Siemens). Broj i vijabilnost ćelija su određivani u 1., 24., 48., 72. i 96. satu posle zračenja i paralelno u uzorcima koji nisu zračeni testom odbacivanja boje i brojanjem u Neuebauer-ovoj komori pod mikroskopom.

Eksperimentalni podaci su statistički obrađeni testom Kolmogorov-Smirnova (p_1) koji pokazuje da li između ispitivanih grupa postoje statistički značajne razlike. Test zasnovan na proporcijama (p_2) pokazao je u kojim satima eksperimenta je između poređenih grupa biološki odgovor ćelija bio različit. Za najviši stepen značajnosti uzeta je vrednost $p< 0.05$.

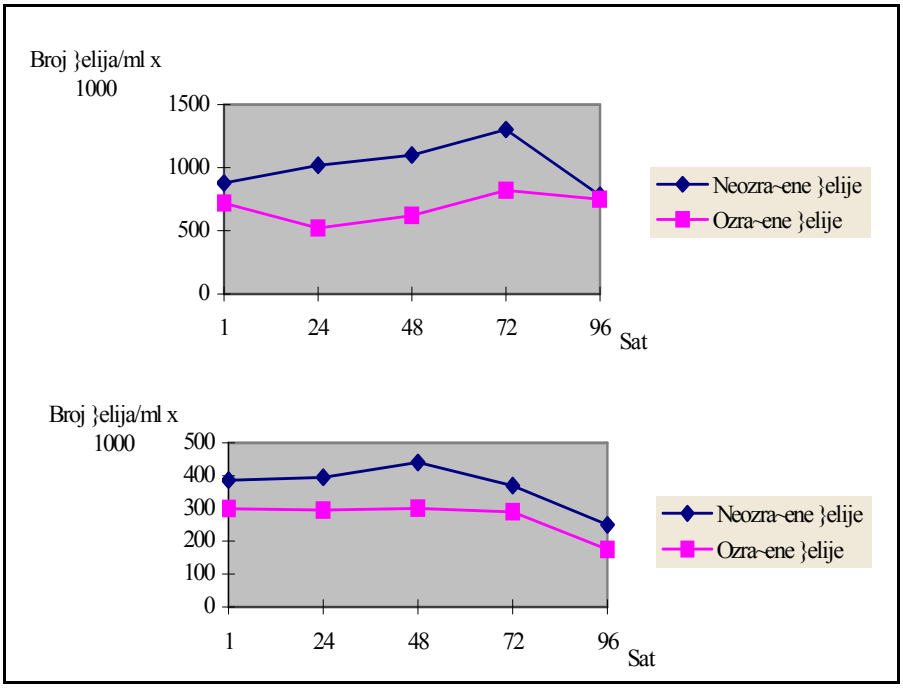
REZULTATI

Tabele 1. i 2. Broj ćelija/ml i vijabilnost (%) u kulturi K562

Ćelijska kultura K562			p_1=0.3294	*Ćelijska kultura K562*		p_1=0.905
Sat	Broj ćelija/ml x 1000		p_2	Vijabilnost (%)		p_2
	Neozračene ćelije	Ozračene ćelije		Neozračene ćelije	Ozračene ćelije	
1	880	720	0.1665	97.77	90.00	0.8062
24	1020	520	0.0738	92.72	93.10	0.3625
48	1100	620	0.2176	91.07	79.48	0.8761
72	1300	820	0.4809	92.98	87.23	0.7026
96	780	750	0.0138	88.00	62.64	0.1341

Tabele 3. i 4. Broj ćelija/ml i vijabilnost (%) u kulturi L929

Ćelijska kultura L929			p_1=0.1742	*Ćelijska kultura L929*		p_1=0.1000
Sat	Broj ćelija/ml x 1000		p_2	Vijabilnost (%)		p_2
	Neozračene ćelije	Ozračene ćelije		Neozračene ćelije	Ozračene ćelije	
1	387	300	0.6100	92.68	98.82	0.0010
24	395	295	0.0020	97.62	93.23	0.0000
48	440	301	0.0730	94.72	94.48	0.1691
72	370	290	0.6390	90.00	92.02	0.5967
96	250	175	0.0020	65.66	68.88	0.3970



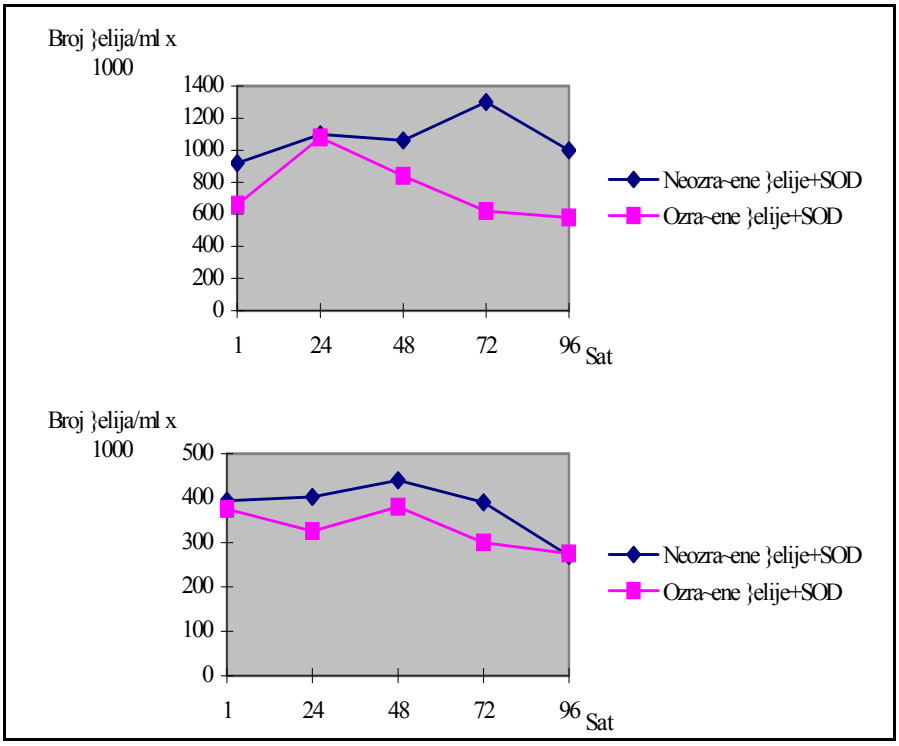
Grafikon 1 : Broj ćelija/ml x 1000 u ćelijskim kulturama: a) K562 (gore); b) L929 (dole)

Tabele 5. i 6. Broj ćelija/ml i vijabilnost (%) u kulturi K562

Ćelijska kultura K562			p_1=0.0092	*Ćelijska kultura K562*		p_1=0.9926
Sat	Broj ćelija/ml x 1000		p_2	Vijabilnost (%)		p_2
	Neozračene ćelije+SOD	Ozračene ćelije+SOD		Neozračene ćelije+SOD	Ozračene ćelije+SOD	
1	920	660	0.8871	95.83	94.28	0.8062
24	1100	1080	0.0046	96.77	85.71	0.3625
48	1060	840	0.3547	86.84	93.33	0.8761
72	1300	620	0.0046	90.02	94.12	0.7026
96	1000	580	0.2012	76.24	78.84	0.1341

Tabele 7. i 8. Broj ćelija/ml i vijabilnost (%) u kulturi L929

Ćelijska kultura L929			p_1=0.0001	*Ćelijska kultura L929*		p_1=0.1000
Sat	Broj ćelija/ml x 1000		p_2	Vijabilnost (%)		p_2
	Neozračene ćelije+SOD	Ozračene ćelije+SOD		Neozračene ćelije+SOD	Ozračene ćelije+SOD	
1	394	375	0.0000	93.26	97.62	0.4300
24	402	325	0.0030	96.66	95.28	0.0800
48	440	380	0.5832	95.00	99.00	0.9000
72	390	300	0.0000	92.30	90.27	0.0150
96	270	275	0.0000	72.86	76.84	0.2480



Grafikon 2: Broj ćelija/ml x 1000 u ćelijskim kulturama sa dodatim SOD: a) K562 (gore); b) L929 (dole)

DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Ako posmatramo trend rasta ozračenih i neozračenih ćelija (Tabela 1, Grafikon 1a) za ćelijsku kulturu K562, uočavamo da je kod neozračenih ćelija prisutan redovan, logaritamski rast. Sa napredovanjem eksperimenta, ćelije se umnožavaju, a u 96. satu, kada je medijum već zasićen dolazi do pada u broju ćelija. Ozračenih ćelija je znatno manje i primećuje se osetan pad u broju nakon 24 sata od zračenja. Logaritamski trend rasta je narušen. Pri analizi statističkih parametara, uočava se da test Kolmogorov - Smirnova ne pokazuje značajne razlike između posmatranih grupa, a da su se samo u 24. i 96. satu eksperimenta ($p<0.05$) pojavile značajne razlike u broju ćelija u odnosu na ukupan broj u grupi. Iz ovoga se može zaključiti da je zračenje uticalo na smanjenje apsolutnog broja ćelija, dok je relativan broj (broj ćelija u odnosu na ukupan broj u grupi) ostao stabilan i nakon zračenja.

Ćelije L929 zadržavaju logaritamski trend rasta nakon zračenja (Tabela 3, Grafikon 1b). Razlike se takođe pokazuju samo u apsolutnom broju ćelija, koji nije značajno manji kod ozračene grupe. Statistički značajne razlike po testu Kolmogorov - Smirnova se ne uočavaju. Test zasnovan na proporcijama pokazuje razlike u broju ćelija u odnosu na ukupan broj u 48., 72. i 96. satu eksperimenta.

Pri poređenju ozračenih i neozračenih ćelija sa dodatim SOD (Tabele 5 i 7, Grafikon 2) uočava se sličan trend kao i kod uzoraka koji nisu tretirani ovim enzimom, što

odgovara literaturnim podacima koji tvrde da egzogeno dodat SOD ne ulazi lako u ćelije [5,6]. Zaštitni efekat uočava se samo u 24. satu eksperimenta sa ćelijama K562, gde je nakon prve mitoze posle zračenja došlo do povećanja broja ćelija, što se odrazilo i na statističku značajnost (p=0.046). Kod ćelija L929 (Tabela 7, Grafikon 2b), tokom svih 5 dana eksperimenta sačuvan je trend logaritamskog rasta, dok zaštitni efekat dodatog SOD uopšte nije zapažen.

Pri analizi vijabilnosti ćelija K562 (Tabela 2), takođe se uočava smanjenje broja živih ćelija kod ozračenih uzoraka, ali bez statističke značajnosti. Ćelije L929 u izvesnim satima eksperimenta (1. i 96.) pokazuju čak i porast vijabilnosti. Ako se posmatra vijabilnost ćelija K562 u uzorcima sa dodatim SOD (Tabela 6), razlike se uočavaju samo u apsolutnom procentu vijabilnosti, ali bez statističke značajnosti. Zanimljiva je kontradiktorna činjenica da je u 24. satu eksperimenta povećan broj ćelija, ali da je značajno opala njihova vijabilnost. Ozračene ćelije L929 sa dodatim SOD u 48. i 96. satu eksperimenta (Tabela 8) pokazuju povećan procenat vijabilnosti. Zaštitni efekat ekstracelularno dodatog SOD nije uočen. Iz literaturnih podataka [1, 7, 8] poznato je da su ćelije hematocitne loze, kao i maligne ćelije (K562) osetljivije na zračenje od nemalignih fibroblasta (L929), što je i potvrđeno našim eksperimentom.

LITERATURA

[1] Korać B.: Uticaj niske temperature i zračenja na aktivnost antioksidativnog sistema u nekim tkivima pacova, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, PMF, 1991.

[2] Jovanović M.: Zaštita ljudi od jonizujućeg zračenja hemijskim sredstvima, Vojnoizdavački i novinski centar Beograd, 1987.

[3] Regan J. D., Settlow R. B.: Biology of radiation carcinogenesis, 103, Raven Press, New York, 1976.

[4] Bogdanović G., Pražić B., Kerenji A., Kuzmanović Z., Nikolić V.: Aktivnost antioksidativnih enzima u ozračenoj kulturi ćelija; eksperimentalni *in vitro* model, Informacije o kancerogenima 1993; 10 (3-4); 43-6.

[5] Krishna M. C., Russo A., Mitchell J. B.,Goldstein S., Dafni H., Samuni A.: Do Nitroxide Antioxidants Act as Scavengers of Superoxide Radical or as SOD Mimics, J.Biol.Chem., Volume 271, 42, pp 26026-26031, 1996.

[6] Semrau F., Kuhl J. R., Ritter S., Ritter K.: Manganese Superoxide Dismutase (MnSOD) and Autoantibodies Against MnSOD in Acute Viral Infections, Journal of Medical Virology 55: 161-167, 1998.

[7] Rorhdanz E., Kahl R.: Alterations of Antioxidant Enzyme Exspression in Response to Hydrogen Peroxide, Free radical Biology & Medicine, vol 24, no1 pp 27-38, 1998.

[8] Greenstock C.L.: Redox Processes in Radiation Biology and Cancer, Radiation Research 86, pp 196-211, 1981.

ABSTRACT

The cell culture as a system with controlled conditions is an adequate model for analysing the effects of γ - irradiation on cell population. In our experiment we were determining number and viability of cells in cell cultures K562 and L929 previously irradiated with γ - rays. The aim of investigation was to confirm differences in sensitivity to γ - irradiation between malignant and benign cell lines, as well as a possible protection effect of extracellularly added SOD. Analysis of number and viability of cells has shown that dedifferentiated, malignant cell culture is significantly more sensitive to γ - rays than benign L929. Protection effect of extracellularly added SOD was not noticed.

UTICAJ X-ZRAČENJA NA SADRŽAJ DIAZEPAMA I NJEGOVIH METABOLITA U PLAZMI, JETRI I MOZGU PACOVA

V. Dragojević-Simić, V. Kilibarda , D. Bokonjić,
S. Dobrić, D. Jovanović, S. R. Milovanović
Nacionalni centar za kontrolu trovanja, VMA, Beograd

SADRŽAJ

U mužjaka Wistar pacova podvrgnutih ozračenju celog tela tvrdim X-zracima u dozi od 6,7 Gy 7. dana nakon zračenja ispitivana je farmakokinetika diazepama (DZP) i njegovih metabolita nordiazepama, temazepama i oksazepama. DZP je aplikovan intravenski u dozi od 5 mg/kg, a njegove koncentracije, kao i koncentracije pomenutih metabolita određivane su u serumu, jetri i mozgu u toku osam sati od primene leka po metodi HPLC sa UV detekcijom. Sadržaj DZP je bio smanjen u serumu, jetri i mozgu ozračenih pacova u poređenju sa kontrolom, ali su razlike bile značajne samo tokom prva dva sata nakon primene leka. Koncentracije metabolita DZP su tokom celog posmatranog perioda bile značajno smanjene u jetri i mozgu, ali ne i u serumu zračenih životinja. Naši rezultati sugerišu da je akutna radijaciona povreda značajno uticala na farmakokinetiku DZP i njegovih metabolita u pacova, prvenstveno delujući na njihovu raspodelu u organizmu.

UVOD

Poznato je da izlaganje ljudi dozama jonizujućeg zračenja većim od 1Gy dovodi do oboljenja celog organizma poznatog pod nazivom akutna radijaciona bolest. Pošto zračenje može, u zavisnosti od doze, da ošteti funkciju svih organskih sistema opravdano je očekivati i modifikaciju odgovora ozračenog organizma na lek. Ova ispitivanja nisu samo od vojno-medicinskog značaja, već imaju primenu u svakodnevnoj onkološkoj praksi, jer se kod pacijenata sa malignim oboljenjima često uz radioterapiju primenjuju i medikamenti [1]. Zbog široke upotrebe benzodiazepina u medicinskoj praksi ispitali smo uticaj akutne radijacione povrede na sadržaj diazepama i njegovih metabolita (nordiazepama, temazepama i oksazepama) u serumu, jetri i mozgu pacova.

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su rađeni na pacovima muškog pola, soja Wistar, koji su bili podvrgnuti ozračenju celog tela tvrdim X-zracima, energije 8 MeV-a u dozi od 6,7Gy ($LD_{50/30}$) na linearnom akceleratoru. Sedmog dana nakon zračenja pacovima je davan diazepam (5 mg/kg *iv*), a potom je po 5 do 10 životinja žrtvovano u definisanim

vremenskim imtervalima u toku osam sati od primene leka. Diazepam i njegovi metaboliti određivani su u serumu, tkivu jetre i mozgu po metodi HPLC sa UV detekcijom koja je prethodno opisana [2]. Za izračunavanje svih farmakokinetskih parametara je korišćen program PHARM/PCS verzija IV. Statistička analiza je izvedena korišćenjem Mann-Whitney testa, a razlike su smatrane statistički značajne za $p< 0.05$.

REZULTATI I DISKUSIJA

Nakon intravenske primene diazepam se, kako u kontrolnih, tako i u zračenih životinja, ponašao po farmakokinetskom modelu dva odeljka (Tabela 1).

Tabela 1. Farmakokinetički parametri diazepama (5 mg/kg) nakon intravenske primene u kontrolnih i ozračenih pacova (6.7 Gy)

Farmakokinetički parametri	Kontrola	Zračenje
C_{max} (mg/L)	0.94	0.3
t_{max} (min)	5	5
K_d (min^{-1})	0.0413	0.0592
$t_{1/2d}$ (min)	16.8	11.7
K_e (min^{-1})	0.0048	0.0037
$t_{1/2e}$ (min)	144.7	187.1
AUC (mg x min/L)	45.41	25.6
Cl_t (mL/min/kg)	431.83	743.3
V_d (L/kg)	90.2	198.2

Volumen distribucije leka je bio duplo veći u ozračenih pacova, uz tendencija povećanja klirensa, i produženja poluvremena njegove eliminacije. Koncentracije diazepama u serumu, jetri (Tabela 2) i mozgu (Tabela 3) ozračenih pacova su bile smanjene tokom prvih šest sati nakon primene leka, u odnosu na kontrolu, a značajno tokom prva dva sata. Ispitivanja sadržaja sva tri metabolita u jetri su pokazala da su bili statistički značajno manji u zračenih životinja (Tabela 2), što nije bio slučaj u serumu. Ispitivanja koncentracija metabolita diazepama u tkivu mozga su pokazala slične rezultate kao i u jetri (Tabela 3). Naime, koncentracije nordiazepama i temazepama su bile značajno smanjene u zračenih pacova u toku celog posmatranog perioda, dok je nivo oksazepama u mozgu takođe bio smanjen u odnosu na kontrolu, ali je postojanje statističke značajnosti pokazano samo prva dva časa nakon primene diazepama.

Dobijeni rezultati ukazuju da se u pacova u toku manifestne faze akutne radijacione bolesti menja farmakokinetika diazepama, što bi bio prvenstveno rezultat promenjene distribucije leka, ali se ne može isključiti ni uticaj zračenja na njegov metabolizam. Naime, postoje brojni literaturni podaci koji ukazuju da distribucija leka u organizmu nakon zračenja može biti izmenjena kao rezultat promene u protoku krvi u različitim delovima tela ili u stepenu vezivanja leka za plazmatske proteine [1]. Ovo se prvenstveno odnosi na pojavu povećane vaskularne permeabilnosti koja je opisana nakon ozračenja celog tela životinja, kao i smanjeno vezivanje leka za albumine plazme usled njihove smanjene sinteze, povećanog katabolizma, i gubitaka preko oštećenog digestivnog trakta. Međutim, zračenje izaziva i značajne promene u metabolizmu leka, pre svega kao rezultat oštećenja funkcije jetre, što je npr. pokazano za benzodiazepin hlordiazepoksid [3].

Pošto se eliminacija diazepama i njegovih metabolita u pacova odvija gotovo isključivo preko jetre, za pretpostaviti je da se svaki poremećaj njene funkcije nakon zračenja reperkutuje na njihov metabolizam. Dalja ispitivanja farmakokinetike diazepama u ozračenih pacova nakon drugih puteva primene bi moglo da pomogne u potpunijem rasvetljavanju ovog problema.

Tabela 2. Koncentracije diazepama i njegovih metabolita (μg/gr tkiva) u jetri kontrolnih i zračenih pacova posle primene diazepama (5 mg/kg *iv*)

Vreme	Diazepam*		Nordiazepam**		Temazepam***		Oksazepam***	
(min)	K	Z	K	Z	K	Z	K	Z
5.	1.32	1.32	0.46	0.18	0.85	0.20	0.57	0.10
15.	1.71	0.48	0.42	0.07	0.60	0.07	0.52	0.05
20.	0.91	0.31	0.38	0.11	0.45	0.11	0.43	0.12
30.	0.65	0.30	0.37	0.10	0.40	0.11	0.58	0.04
45.	0.58	0.29	0.27	0.08	0.23	0.10	0.36	0.05
120.	0.17	0.10	0.05	0.04	0.17	0.05	0.16	0.09
180.	0.18	0.09	0.06	0.03	0.20	0.05	0.22	0.09
240.	0.05	0.03	0.04	0.02	0.19	0.03	0.28	0.06
300.	0.06	0.04	0.06	0.02	0.21	0.01	0.16	0.07
360.	0.05	0.02	0.07	0.02	0.26	0.00	0.25	0.07
420.	0.03	0.02	0.06	0.01	0.24	0.00	0.24	0.03
480.	0.03	0.01	0.06	0.01	0.20	0.00	0.25	0.04

* $p < 0.05$ u odnosu na kontrolu (0-120 min)
** $p < 0.05$ u odnosu na kontrolu (0-480)
*** $p < 0.001$ u odnosu na kontrolu (0-480 min)

Tabela 3. Koncentracije diazepama i njegovih metabolita (μg/gr tkiva) u mozgu kontrolnih i zračenih pacova posle primene diazepama (5 mg/kg *iv*)

Vreme	Diazepam*		Nordiazepam**		Temazepam***		Oksazepam*	
(min)	K	Z	K	Z	K	Z	K	Z
5.	3.63	0.42	0.09	0.02	0.08	0.02	0.25	0.04
15.	1.13	0.66	0.10	0.03	0.05	0.02	0.17	0.06
20.	1.89	0.35	0.10	0.03	0.11	0.04	0.20	0.09
30.	1.04	0.50	0.67	0.02	0.11	0.03	0.21	0.03
45.	1.73	0.38	0.22	0.02	0.11	0.03	0.21	0.03
120.	0.36	0.16	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
180.	0.29	0.15	0.82	0.02	0.10	0.02	0.06	0.05
240.	0.17	0.10	0.60	0.02	0.06	0.02	0.04	0.04
300.	0.19	0.10	0.36	0.02	0.06	0.02	0.03	0.06
360.	0.22	0.05	0.19	0.01	0.07	0.01	0.02	0.06
420.	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03
480.	0.05	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02

* $p < 0.05$ u odnosu na kontrolu (0-120 min)
** $p < 0.05$ u odnosu na kontrolu (0-480)
*** $p < 0.001$ u odnosu na kontrolu (0-480 min)

LITERATURA

[1] Sokol GH, Greenblat DJ, Kaufman SD. Radiation effects on normal tissue: pharmacokinetic and therapeutic implications. In: Sokol GH, Maickel RP, editors. Radiation-drug interactions in the treatment of cancer. NewYork: John Wiley & Sons, 1980:79-111.

[2] Kilibarda V, Brđović J, Nedeljković M. Analitika benzodiazepina u biološkom materijalu. Arh Farm 1994; 44: 635-43.

[3] Sokol GH, Greenblatt DJ, Littman P, Franke K, Koch-Weser J. Chlodiazepokside metabolism in mice following hepatic irradiation. Pharmacology 1975; 13: 248-51.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF X-IRRADIATION ON DIAZEPAM AND ITS METABOLITES (NORDAZEPAM, TEMAZEPAM AND OXAZEPAM) CONTENT IN PLASMA, LIVER AND BRAIN IN THE RATS

V. Dragojević-Simić, V. Kilibarda , D. Bokonjić,
S. Dobrić, D. Jovanović, S. R. Milovanović
National Poison Control Centre, Military Medical Academy, Belgrade,

The influence of whole-body X-ray irradiation (6.7 Gy) on pharmacokinetics of diazepam (DZP) and its metabolites (nordazepam, temazepam and oxazepam) was examined in male Wistar rats. DZP (5 mg/kg iv) was administered at day 7 after irradiation, and the content of the drug and its metabolites was measured by reversed-phase HPLC/UV in the serum, liver and brain at defined time points during eight hours. Concentrations of DZP were reduced in serum, liver and brain of irradiated rats, comparing to control, but the difference was significant during 2 hours after application only. On the other hand, concentrations of DZP metabolites were significantly reduced in the liver and brain of irradiated animals, but not in the serum. Our results suggest that acute radiation injury has altered the pharmacokinetics of DZP and its metabolites in the rats, preferentially affecting its distribution.

VREDNOSTI HEMATOLOŠKIH PARAMETARA KOD OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH ZATVORENIM IZVORIMA ZRAČENJA

V. Spasojević Tišma, G. Joksić , S. Milačić[1]
Institut za nuklearne nauke „Vinča“
[1] KBC, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu prikazani su rezultati uporedne analize srednjih vrednosti ćelijskih elemenata i hemoglobina periferne krvi kod osoba koje su profesionalno izložene jonizujućem zračenju. Isti parametri praćeni su i u kontrolnoj grupi. Promene su praćene u vremenskom periodu za 1997. godinu.

UVOD

Pri malim dozama jonizujućeg zračenja, a u uslovima profesionalne ekspozicije oštećuju se tkiva koja poseduju najveću radioosetljivost. Najveću radioosetljivost na male doze zračenja ima hematopoezno tkivo zbog intenzivnog metabolizma i visokog mitoznog indeksa. Stvaranje svih ćelija periferne krvi počinje u kostnoj srži iz zajedničke pluripotentne matične ćelije. Oštećenje pluripotentne matične ćelije i smanjenje njene reproduktivne sposobnosti dovodi do smanjenja broja zrelih ćelija u perifernoj krvi. Ove promene zrelih ćelija u perifernoj krvi mogu biti izazvane i infekcijom virusnog ili bakterijskog porekla, odredjenim hemijskim i fizičkim agensima, posebno jonizujućim zračenjem. Slobodni radikali stvoreni u procesu apsorpcije kod energije jonizujućeg zračenja u ekstra ćelijskoj tečnosti i u ćeliji oštećuju membranu ćelija menjajući njen energetski potencijal, propustljivost, aktivni transport i enzimski sistem u njoj.[1] Smanjenjem enzimske aktivnosti granulocita remeti se njihova odbrambena uloga u organizmu, smanjuje njihova sposobnost migracije kao i veličina zapaljenskog odgovora na unetu noksu. Oštećenjem T i B limfocita dolazi do pada ćelijskog i humoralnog imuniteta i gubitka odgovarajuće imunološke kompetencije. Cilj rada je korelirati hematološki status radnika izloženih malim dozama jonizujućih zračenja sa podacima lične dozimetrije i opštim zdravstvenim stanjem.

MATERIJAL I METODE

Analizom je obuhvaćeno 40 osoba koje su profesionalno izložene zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja i u svom radu koriste lična kontrolna sredstva propisana Zakonom. Od sredstava lične dozimetrije koriste TLD dozimetar. Radne prostorije i izvori sa kojima rade poseduju upotrebnu dozvolu za rad. Podaci su dobijeni iz zdravstvenih

kartona periodičnih pregleda obavljenih u Institutu „Vinča“ za 1997. godinu. Praćene su vrednosti broja eritrocita, količine hemoglobina, broja leukocita, trombocita i ćelija „leukocitarne formule“ (broja segmentiranih granulocita, eozinofila, limfocita i monocita).

Kontrolna grupa broji 38 ispitanika. Radi ekonomsko finansijske poslove i nije u kontaktu sa izvorima jonizujućih zračenja. Uvidom u medicinsku dokumentaciju svih ispitanika konstatovano je da ne boluju od hroničnih hematoloških bolesti. Pri obradi podataka uzimani su u obzir i pol ispitanika, starosno doba ispitanika, dužina radnog staža kao i podaci iz oblasti lične dozimetrije.

Tabela 1.

Hematološki parametri	Grupa	Sr.vred.	St.dev.	Min.	Max.	T–test	P
Eritrociti x 10^{12}/l	Eksp.	4,1040	0,2964	5,00	4,68	0,0591	0,9531
	Kont.	4,0976	0,4531	3,03	4,99		
Hemoglobin g/l	Eksp.	125,16	13,0022	103	153	0,0591	0,9531
	Kont.	118,20	27,3739	111	149		
Leukociti x 10^9/l	Eksp.	6,6640	1,7404	4,20	10,00	2,0368	0,0472*
	Kont.	5,7560	1,3925	4,20	8,70		
Retikulociti	Eksp.	0,0081	0,0013	0,0060	0,0110	0,1184	0,9062
	Kont.	0,0080	0,0011	0,0060	0,0100		
Trombociti x 10^9/l	Eksp.	289,37	74,0647	30,20	427	–1,0406	0,3032
	Kont.	309,08	59,0289	200,00	430		
Segmentirani x 10^9/l	Eksp.	3,9640	1,3438	2,23	6,50	2,6314	0,0114*
	Kont.	3,1240	0,8613	1,69	4,80		
Eozinofili x 10^9/l	Eksp.	0,1872	0,1656	0,04	0,72	0,8351	0,4078
	Kont.	0,1504	0,1454	0,04	0,60		
Limfociti x 10^9/l	Eksp.	2,2924	0,4164	1,76	3,08	0,9294	0,3573
	Kont.	2,1372	0,7236	1,11	3,92		
Monociti x 10^9/l	Eksp.	0,2444	0,1628	0,00	0,42	1,3734	0,1760
	Kont.	0,1900	0,1123	0,04	0,50		

Rezultati su statistički obradjeni. Izračunavana je srednja vrednost i standardna greška dobijenih rezultata. Značajnost nadjenih razlika izmedju grupa odredjena je pomoću Studentovog T-testa ($p \leq 0,05$).

REZULTATI I DISKUSIJA

Promene u broju krvnih ćelija kao hematoloških indikatora u perifernoj krvi posle zračenja proučava se tokom mnogo godina. Rezultati ispitivanja za navedeni period

prikazani su na tabeli. Ispitivanja navedenih hematoloških parametara eksponovane i kontrolne grupe nisu pokazala odstupanja od normalnih vrednosti. Analizom ispitivanih parametara T-testom za $p \leq 0,05$ nadjena je statistički značajna razlika u broju leukocita i ćelija "leukocitarne formule" u eksponovanoj grupi u odnosu na kontrolu.

Prosečne godišnje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja (podaci lične dozimetrije) eksponovane grupe su daleko manje od Zakonom propisane granice za profesionalnu ekspoziciju koja iznosi 20 mSv godišnje. Granični nivo male doze jeste onaj koji još uvek ne izaziva trajan efekat ili je efekat minimalan tako da se odmah reparira. Pod ovim uslovimja nivoa doza, efekti zračenja zavisiće od dužine vremena izloženosti, radioosetljivosti tkiva, starosnog doba i pola, naslednih i drugih ličnih osobina individue.

ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja hematoloških parametara u eksperimentalnoj grupi su u korelaciji sa rezultatima lične dozimetrije. Nijedan od navedenih parametara ne pokazuje da je apsorbovana doza zračenja iznad granice za profesionalno izložena lica.

Rezultati ispitivanja u ovoj godini ne odstupaju bitno od rezultata dobijenih u prethodnim ispitivanjima.[2].

LITERATURA

[1] Vidaković A.: Medicina rada II, Beograd, 1997.
[2] Spasojević Tišma V., Milačić S., Božanić Krneta M.: Hematološki parametri kod osoba koje profesionalno rade sa radionuklidima. XIX Jugoslovenski Simpozijum zaštite od zračenja, zbornik radova, Golubac, 1997.

ABSTRACT

HEMATOLOGICAL PARAMETERS EXAMINED IN PERSONS EXPOSED TO SEALED SOURCES OF IONIZING RADIATION

V. Spasojević Tišma, G. Joksić , S. Milačić[1]
Institute of Nuclear Sciences Vinca, Belgrade
[1] Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational Helth and Radiological Protection „Dr Dragomir Karajović", Belgrade

The paper presents the results of comparative analysis of haematological parameters (mean values of blood cells and haemoglobins) in group of persons profesionally exposed to ionizing radiation. Obtained results are matched with appropriate controls. The examination was performed during 1997 year.

UTICAJ X-ZRAČENJA NA ĆELIJE MONOCITNO-MAKROFAGNOG SISTEMA I EKSTRACELULARNI MATRIKS: IMUNOHISTOHEMIJSKA ANALIZA

V. Dragojević-Simić, M. Čolić[1]
Nacionalni centar za kontrolu trovanja, VMA, Beograd
[1] Institut za medicinska istraživanja, VMA, Beograd

SADRŽAJ

Fenotipske promene ćelija monocitno-makrofagnog sistema i ekstracelularnog matriksa timusa Wistar pacova ispitivane su tokom 30 dana nakon izlaganja celog tela X-zracima u dozi od 3,5 Gy. One su bile identifikovane in situ na kriostatskim presecima timusa streptavidin-biotin imunoperoksidaznim bojenjem pomoću R-MC i ED serije monoklonskih antitela (mAt). Pokazano je da je ova doza X-zraka dovela do niza cikličnih promena u strukturi timusa koje nisu samo posledica oštećenja timocita i sletstvenog oporavka limfoidnog odeljka, nego i direktnih efekata zračenja na elemente mikrosredine, kao što su makrofage, interdigitantne ćelije i ekstracelularni matriks.

UVOD

Timus je centralni limfatički organ čija mikrosredina obezbeđuje optimalne uslove za nastanak imunokompetentnih T limfocita iz nezrelih timocita, pa je proučavanje efekata zračenja na njega od velikog značaja za shvatanje opšte reakcije organizma na radijacionu povredu.

Međutim, za razliku od timocita, koji spadaju u najosetljivije ćelije u organizmu, a nakon delovanja jonizujućeg zračenja većina umire po tipu programirane ćelijske smrti (apoptoze), elementi mikrosredine timusa su dugo smatrani relativno radiorezistentnim [1, 2]. Među njima poseban značaj pored epitelnih ćelija imaju i ćelije monocitno-makrofagnog sistema (MMS) (makrofagi, interdigitantne ćelije), endotelne ćelije i ekstracelularni matriks (ECM). Makrofage imaju značajnu ulogu u sazrevanju timocita, procesima selekcije i eliminacije apoptotičnih timocita [3], a ECM indukuje fetalno sazrevanje epitelnih komponenti [4].

S obzirom da noviji podaci ukazuju da jonizujuće zračenje oštećuje i mikrosredinu timusa [5] cilj ovog rada je bio da se analiziraju efekti ozračenja celog tela niskim dozama X-zraka na pojedine subpopulacije ćelija MMS i ECM timusa pacova korišćenjem imunohistohemijske metode sa izabranim panelom monoklonskih antitela (mAt).

MATERIJAL I METODE

Za eksperimente su korišćeni pacovi soja Wistar, muškog pola, starosti 6-8 nedelja. Ozračenje celog tela je vršeno tvrdim X-zracima, energije 8 MeV-a, u dozi od 3,5 Gy na linearnom akceleratoru (SL 75-20 MEL). Kontrolne i zračene životinje su u grupama od po 5 do 10 žrtvovane 2, 4, 14, 21, 28 i 30 dana nakon zračenja. Fenotipske promene ćelij-a MMS i ECM su bile analizirane *in situ* na kriostatskim presecima timusa korišćenjem streptavidin-biotin metode pomoću R-MC serije (R-MC 23, 39, 41, 44, 45), ED serije (ED_1 i $_2$) i OX 39 mAt kako je prethodno opisano [4, 6, 7].

REZULTATI I DISKUSIJA

Apsolutno neletalna doza X-zračenja (3,5 Gy) dovela je do niza cikličnih promena u strukturi timusa koje se označavaju kao: faza primarne involucije (prva dva dana nakon zračenja), faza primarne regeneracije (2.-14 dana), faza sekundarne involucije (14.-21. dana) i faza sekundarne regeneracije (21.-30 dana). Ove promene su, kako je već opisano, prvenstveno posledica oštećenja timocita, ali i sletstvenog oporavka limfoidnog odeljka [8]. Na tabeli 1 su dati sumarni rezultati fenotipskih karakteristika pojedinih subpopulacija ćelija MMS i ECM u prvim dvema fazama nakon zračenja, koji pokazuju da jonizujuće zračenje oštećuje i mikrosredinu timusa.

U fazi primarne involucije korišćenjem mAt koja detektuju pojedine subpopulacije makrofaga je pokazano povećanje njihovog ukupnog broja u ozračenih životinja. Bojenjem sa R-MC 41 i ED_2 mAt specifičnim za korteksne i korteksno-medulske makrofage uočeno je povećanje njihovog broja i promena oblika. Naime, za razliku od R-MC 41^+ i ED_2^+ makrofaga u intaktnih životinja koji su uglavnom zvezdolikog izgleda sa brojnim izduženim produžecima, ove ćelije se u ozračenih pacova zaokrugljuju uz istovremenu povećanu ekspresiju membranskog bojenja. Bojenje sa R-MC 39, R-MC 45 i ED_1 mAt pokazuje smanjenje broja makrofaga u meduli u odnosu na kontrolu. U ovoj fazi broj i ekspresija IL–2R na dendritičnim ćelijama medule se znatno povećavaju. MAt koje prepoznaje vezivo i krvne sudove pokazuje intenzivnije bojenje u svim zonama timusa u poređenju sa kontrolom. U ovoj fazi u zračenih životinja se zapaža i proširenje krvnih sudova u meduli i korteksno–medulskoj zoni.

U toku rane faze regeneracije broj makrofaga je još uvek značajno povećan u odnosu na intaktne životinje, naročito u korteksu. Ovo zapažanje potkrepljuje bojenje sa svim mAt koja se vezuju za korteksne makrofage (Tabela 1). Makrofage u korteksu su brojne, često u većim grupama, i kao i u prethodnoj fazi, imaju izrazitije membransko (ED_2, R–MC 39, R–MC 41) ali i citoplazmatsko bojenje (ED_1). Takođe je zapažen nešto veći broj makrofaga u meduli bojenih sa pomenutim mAt u odnosu na prethodnu fazu, dok je broj OX 39^+, $ED1^+$ interdigitantnih ćelija u meduli, kao i antigenska ekspresija na njima nepromenjena (Tabela 1). Sa progresivnom regeneracijom timusa ukupan broj makrofaga se smanjuje, i one sve više izgledom podsećaju na ćelije u intaktnih životinja. U ovoj fazi je zapažena i gušća R-MC 23^+ vaskularna mreža kako u korteksu, tako i u meduli u odnosu na prethodnu fazu.

Ovi rezultati jasno pokazuju da promene u nelimfoidnom odeljku timusa nastaju delimično kao rezultat direktnog delovanja X-zračenja, a delimično indirektno usled efekta na timocite. O uticaju zračenja na mikrosredinu timusa ima veoma malo podataka, i to uglavnom o efektima na epitelni odeljak [5]. Međutim, najnoviji podaci ukazuju da tkiva

uopšte odgovaraju na zračenje na koordinisan, i multifaktorski način, a da ova noksa u krajnjem kompromituje tkivni integritet promenom protoka informacija između ćelija [9].

Opisane promene makrofaga korteksa se mogu tumačiti njihovom aktivacijom *in situ* usled masovne destrukcije timocita u kratkom vremenskom periodu, što je u skladu sa podacima da kortikalni makrofagi imaju fagocitnu ulogu u čišćenju timusa od apoptotičnih timocita [10].

Tabela 1. Imunohistohemijska karakterizacija ćelija monocitno-makrofagnog sistema i ECM u pacova podvrgnutih ozračenju celog telaX-zracima (3.5 Gy)

Monoklonska antitela (mAt)	Imunoreaktivnost	Primarna involucija*	Primarna regeneracija**
R-MC 39, R-MC 41 R-MC 44 R-MC 45 ED_1 ED_2	Makrofagi kapsule (MC)	Izrazito povećanje broja, antigenske ekspresije i promena oblika MC, MK i MKMZ	Nešto manji broj MC, MK i MKMZ ali uz još uvek prisutno izrazitije bojenje ovim mAt i promenjenim oblikom
	Makrofagi korteksa (MK)		
	Makrofagi korteksno-medulne zone (MKMZ)		
R-MC 39 R-MC 44 R-MC 45 ED_1	Makrofagi medule (MM)	Smanjenje broja MM	Nešto veći broj MM
ED1 OX 39	Interdigitantne ćelije (IDĆ)	Povećanje broja IDĆ i povećana antigenska ekspresija na njima	Isto kao u prethodnoj fazi
R-MC 23	Kapsula, trabekule, krvni sudovi korteksa, korteksno-medulne zone i medule	Intenzivnije bojenje u svim zonama timusa. U korteksno-medulnoj zoni i meduli su prošireni krvni sudovi	Zapaža se gušća vaskularna mreža u korteksu, korteksno-medulnoj zoni i meduli

* Promene u odnosu na kontrolu
** Promene u odnosu na prethodnu fazu

Povećan broj makrofaga se može tumačiti povećanom migracijom u timus što je pokazano u uslovima povećane destrukcije timocita kod delovanja nekih citostatika [11]. U svakom slučaju izmena morfologije, antigenske ekspresije i povećana fagocitozna aktivnost ovih ćelija ukazuju na izraženu aktivaciju ovih ćelija, bilo direktnim efektom X-zraka na njihovu membranu ili indirektno, stimulacijom fagocitoze. Nalaz smanjenog broja makrofaga u meduli bi se mogao tumačiti njihovim većim migriranjem u korteks. Takođe, zračenje dovodi do povećene fagocitne aktivnosti i interdigitantnih ćelija koje su u fiziološkim uslovima slabi fagociti [12]. Rocha i saradnici [13] su pokazali da IL-$2R^+$ dendritične ćelije timusa *in vitro* proliferišu u prisustvu IL-2, a monociti stimulisani interferonom γ eksprimiraju IL-2R i u kombinaciji sa IL-2 takve ćelije izlučuju IL-1. Takođe, poznato je da zračenje preko aktivacije makrofaga povećava produkciju IL-1 [14]. Naši rezultati su pokazali povećan broj makrofaga i interdigitantnih ćelija u timusu i u toku primarne regeneracije, koji bi dakle bili značajan izvor stvaranja ovog citokina. Postoje dokazi da su IL-1 i IL-2 uključeni u regulaciju timocitne proliferacije i diferencijacije, a značaj IL-2/IL-2R puta u regeneraciji timusa nakon zračenja pokazan je kako kod miša tako i u pacova [7, 15]. Dakle, interdigitantne ćelije i makrofagi nakon zračenja u timusu ne

samo da su neophodni za proces fagocitoze velikog broja apoptotičnih timocita, nego i, najverovatnije, imaju značajnu ulogu u procesu regeneracije timusa bilo preko produkcije citokina, ili direktnih ćelijskih kontakata. Pored toga skorašnje studije su pokazale da izlaganje jonizujućem zračenju izaziva globalno remodeliranje ekstracelularnog matriksa (koga sačinjavaju bazalne membrane i intersticijski ECM) i stvara citokine koji su snažni modulatori ponašanja ćelija [9] Npr. jednokratno ozračenje celog tela gama zračenjem (0,1−5Gy) je izazvalo brze promene u ECM mišije mlečne žlezde koje su perzistirale nekoliko nedelja, kao i u ECM jetrinog tkiva. Međutim, vrsta tkiva ima značajnu ulogu u određivanju karaktera remodeliranja izazvanih zračenjem. Imunohistološkom analizom je pokazano da zračenje ne izaziva promene u antigenskoj ekspresiji kolagena IV u mlečnoj žlezdi, dok je ona značajno povećana u perisinusoidnim prostorima jetre nakon trećeg dana, a vraća se na normalu sedmog dana od delovanja ove nokse. U timusu, međutim, pomoću mAt R-MC 23 pokazano je intenzivnije bojenje u svim zonama, koje se nakon trećeg dana smanjuje. Pretpostavka je da ovo mAt detektuje kolagen, a pokazano je da su kolagen I, III i IV glavni strukturni proteini ECM [4, 9]. Takođe, korišćenjem istog mAt je pokazana proširenost krvnih sudova u KMZ i meduli u prva dva dana nakon zračenja, a nakon toga se ima utisak gušće vaskularne mreže u svim zonama timusa. Ovim nalazima idu u prilog saznanja da transformišući faktor rasta β1 (TGFβ1), ključni medijator brzog remodeliranja ECM nakon zračenja i regulator hemostaze, reguliše produkciju i degradaciju ECM i vrši potentnu modulaciju angiogeneze kao i imunog odgovora i inflamacije.

Dakle, može se zaključiti da je ozračenje celog tela pacova tvrdim X-zracima u dozi od 3,5 Gy dovelo do niza cikličnih promena u strukturi timusa koje nisu samo posledica oštećenja timocita i sletstvenog oporavka limfoidnog odeljka¸ nego i direktnih efekata zračenja na elemente mikrosredine, kao što su makrofage, interdigitantne ćelije i ekstracelularni matriks.

LITERATURA

[1] Anderson R.E., Warner N.L. Ionizing radiation and the imune response. Adv Immunol, 24, 215-335, 1976.

[2] Ghassah M., Labejof L., Berry J.P., Galle P. Early ultrastructural lesions of apoptosis induced in vivo in two varieties of tissues (thymus and kidney) after a single whole-body gamma-irradiation of adult mice. Cell Mol Biol Noisy Le Grand, 43, 1197-11204, 1998.

[3] Zeira M., Gallily R. Interaction between thymocytes and thymus-derived macrophages. II. Engulfment of thymocytes by macrophages. Cell Immunol, 117, 277-288, 1988.

[4] Čolić M., Popović LJ., Gašić S., Dragojević-Simić V., Milićević N.M., Matanović D. Immunohistochemical characterization of rat thymic non-lymphoid cells. II. Macrophages and granylocytes defined by monoclonal antibodies. Immunology, 69, 416-422, 1990.

[5] Čolić M., Dragojević V., Matanović D. Phenotypic characteristics of rat thymic epithelial cells following X-ray irradiation. Iugoslav Physiol Pharmacol Acta, 24 (Suppl 6), 5-6, 1988.

[6] Dijkstra D.C., Dopp A.E., Joling P., Kraal G. The heterogenity of mononuclear phagocytes in lymphoid organs: distinct macrophage subpopulations in the rat recognized by monoclonal antibodies ED_1, ED_2, ED_3. Immunology, 54, 589-599, 1985.

[7] Dragojević-Simić V., Čolić M., Gašić S. The effect of cystaphos on the expression of interleukin 2 receptors on thymic cells in irradiated rats. Arch Toxicol Kinet Xenobiot Metabol, 1, 25-33, 1993.

[8] Dragojević-Simić V., Čolić M., Gašić S. Influence of a radioprotector WR-638 on the lymphoid compartment of the irradiated rat thymus: a flow cytometric analysis. Int J Radiat Biol, 66, 143-150, 1994.

[9] Barcellos-Hoff M.H. How do tissues respond to damage at the cellular level? The role of cytokines in irradiated tissues. Radiat Res, 150 (Suppl), S109-S120, 1998.

[10] Olah J., Rohlich P., Toro I. Thymus. In: Ultrastructure of lymphoid organs, an electron microscopic atlas. Budapest, Akademial Kiado, 1975, pp. 37-52.

[11] Castaldi G., Zavagli G. Migration of macrophages to the thymus after cyclophosphamide. Br J Exp Path, 53, 28-30, 1972.

[12] Čolić M. Morfološke i funkcionalne karakteristike ćelija timusa miša u toku udružene radijacione povrede. Doktorska disertacija Beograd, Vojnomedicinska akademija, 1987.
[13] Rocha B., Lehven A., Papiernik M. IL-2 –dependent proliferation of thymic accesory cells. J Immunol, 140, 1076-1080, 1988.
[14] Geiger B., Gallily R., Gery I. The effect of irradiation on the release of lymphocyte-activating factor (LAF). Cell Immunol, 7, 177-180, 1973.
[15] Zuniga-Pflucker J.C., Kruisbeek A.M. Intrathymic radioresistant stem cells follow an IL-2/IL-R pathway during thymic regeneration after sublethal irradiation. J Immunol, 144, 3736-3740, 1990.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF X-IRRADIATION ON MONOCYTE-MACROPHAGE LINEAGE CELLS AND EXTRACELLULAR MATRIX OF THE RAT THYMUS: IMMUNOHISTOCHEMICAL ANALYSIS

V. Dragojević-Simić, M. Čolić[1]
National Poison Control Centre, Military Medical Academy, Belgrade
[1] Institut for Medical Research, Military Medical Academy, Belgrade

Phenotypic changes of monocyte-macrophage lineage cells and extracellular matrix of the thymus were studied in male Wistar rats during the 30 days after whole-body X-ray irradiation (3.5 Gy). They were identified in situ on cryostat thymic sections using streptavidin-biotin immunoperoxidase staining by R-MC and ED series of monoclonal antibodies (mAbs). It was shown that this dose of X-rays caused significant cyclic changes in the thymus structure, which were not only the consequence of its noxious effects on thymocytes followed by the recovery of the lymphoid compartment, but also the result of direct effects of X-irradiation on macrophages, interdigitating cells and extracellular matrix.

ANALIZA HROMOZOMSKOG STATUSA U OSOBA PROFESIJSKI IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević
KCS, Institut „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

SADRŽAJ

U savremenoj radijacionoj citogenetici odavno je prihvaćen postulat po kome DNK–a molekula kao esencijalni biološki supstrat predstavlja najznačajniju metu jonizujućeg zračenja. Kao posledica tog delovanja mogu nastati veoma delikatna oštećenja naslednog materijala, koja se mogu manifestovati u obliku strukturnih hromozomskih aberacija. U ovom radu prikazani su rezultati višegodišnjih citogenetičkih istraživanja hromozomskih aberacija kod lica koja su profesionalno izložena delovanju jonizujućeg zračenja (684 ispitanika). U periodu 1995–1996. god. povećana je učestalost hromozomskih promena kod lica zaposlenih u nuklearnoj medicini, kada se procenat kretao od 19,10% do 10,9%. Znatnije povećanje učestalosti hromozomskih aberacija zapaženo je u periodu 1997–1998. kod radiologa i rendgen tehničara, kada je procenat iznosio od 23,52%–19,64%. Notirane su hromozomske aberacije tipa dicentrika, prstenastih hromozoma i acentričnih fragmenata. Profesionalana ekspozicija je posebno delikatna zbog hroničnog izlaganja malim dozama jonizujućeg zračenja, gde je zbog kumulativnog efekta zračenja važno sagledatati i biološki odgovor organizma na date uslove ekspozicije.

UVOD

Nesumnjivo je dokazano da jonizujuće zračenje indukuje 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. Mlade i manje diferencirane ćelije su osetljivije na delovanje jonizujućeg zračenja. Kako se smanjuje sposobnost ćelije za deobu, tako se smanjuje i njena radiosenzitivnost [1]. Sposobnost ćelija da se repopulišu i zamene ćelije oštećene zračenjem kao i da usklade regeneraciju tkiva i organa je, bez sumnje, nasledno svojstvo organizma. Kod regeneracije tkiva veliki broj gena koji nose faktore rasta uključeni su i doprinose direktno regeneraciji tkiva, ali molekularni signali koji iniciraju procese još uvek nisu sasvim razjašnjeni. U savremenoj radiobiologiji odavno je prihvaćen postulat po kome je DNK–a molekul najznačajnija meta jonizujućeg zračenja. Neposredno posle oštećenja DNK–a molekula, značajnu ulogu imaju reparacioni mehanizmi od čije efikasnosti zavisi krajnja posledica zračenja [2]. Reparativni enzimski procesi primarnu leziju transformišu u sekundarnu, pri čemu DNK–a struktura može biti vraćena u pređašnje normalno stanje, ako se radi o manjim oštečenjima. Ukoliko su oštečenja veća, aktiviraju se enzimski sistemi „missrepair” i „missreplication”, odnosno pogrešna popravka i pogrešna replikacija.

Analiza hromozomskih aberacija kod lica profesionalno izloženih jonizujućem zračenju predstavlja jedan od najpouzdanijih bioloških parametara radijacionog rizika. One predstavljaju odgovor na primljenu dozu. Analiza hromozomskih aberacija u profesionalnoj ekspoziciji jonizujućem zračenju ima najčešče kvalitativan karakter, a to znači konstatuje prisustvo i vrstu hromozomskih aberacija. Praćenje i analiza hromozomskih aberacija u ćelijama humanih limfocita predstavlja za sada, kako je već istaknuto, jedan od najsigurnijih evaluacionih pristupa u radijacionoj citogenetici. Poznato je da su strukturne aberacije krajnji rezultat čitavog niza kompleksnih biohemijskih reakcija, i verovatno, citološka manifestacija neuspešnih pokušaja ćelije da molekularnim intervencijama popravi ili eliminiše primarno oštećenje na naslednom materijalu. Treba imati u vidu da su citogenetički detektibilna oštećenja hromozoma za ćeliju najčešće letalna. U tom smislu aberacija predstavlja samo vrh ledenog brega i, istovremeno, jasnu indiciju o sposobnosti jonizujućeg zračenja da prouzrokuje i čitav spektar delikatnih oštećenja naslednog materijala.

MATERIJAL I METODE

Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana Moorhaedova mikrometoda za limfocite periferne krvi i konvencionalna citogenetska tehnika analize hromozomskih aberacija [3].

Cela krv za postavljanje kulture limfocita čoveka (HL) uzima se venskom punkcijom od ispitanika i prihvata u sterilnu epruvetu kojoj je dat heparin. Heparinisana krv se može čuvati do 24 sata, na temperaturi +4 ^{O}C. Kultivacija se obavlja u RPMI medijumu uz dodatak 0,1% mitogena–fitohemaglutinina (PHA) koji indukuje transformaciju limfocita u blastoidne ćelije, u kojima započinje snažna sintetska aktivnost, praćena morfološkim promenama (povećanje ćelijskog volumena preko tri puta), koja rezultira sukcesivnim mitotskim podelama da bi se obezbedio najveći mogući broj ćelija u metafazi, kada je hromozomski komplement ćelije najpogodniji za citogenetsku analizu, 2 – 3 sata pre isteka vremena kultivacije, kulturama dodaje 0,2 ml kolcemida, koji onemogućava prelazak ćelija iz metafaze u anafazu mitoze, tako što ometa funkciju deobnog vretena. Citogenetička istraživanja su vršena kod lica koja su profesionalno izložena dejstvu jonizujućeg zračenja. Ispitanici su svrstani u grupe prema vrsti posla koji obavljaju. Broj ispitanika koji je obuhvaćen ovim ispitivanjem u poslednje četiri godine iznosi 684.

Citogenetička ispitivanja hromozomskog statusa kod lica profesionalno izloženih delovanju jonizujućeg zračenja, pokazala su da frekvenca hromozomskih promena zavisi od vrste radioaktivnog izvora koji se pri radu koristi.

REZULTATI I DISKUSIJA

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. Radi validnosti rezultata neophodno je za svakog pacijenta uzeti detaljni anamnestički upitnik o profesiji, eventualnoj terapiji fizikalnim i hemijskim sredstvima i dijagnostici jonizujućem zračenju u poslednjih 12 meseseci. Citogenetska analiza limfocita periferne krvi ispitanika prikazane su u tabelama 1, 2, 3, i 4.

Tabela 1. Rezultati citogenetičkog ispitivanja u toku 1995. godine

Zanimanje	Broj ispitanika	Hromozomske aberacije %	
		povećano učešće	bez hromozomskih aberacija
radiolozi	40	5,0	95,0
rengen tehničari	74	8,1	91,9
pneumoftiolozi	8	0,0	100,0
stomatolozi	14	7,1	92,9
nukl. medicina	46	10,9	89,1
ukupno	182		

Tabela 2. Rezultati citogenetičkog ispitivanja u toku 1996. godine

Zanimanje	Broj ispitanika	Hromozomske aberacije %	
		povećano učešće	bez hromozomskih aberacija
radiolozi	35	5,7	94,3
rengen tehničari	108	7,4	92,6
nukl. medicina	47	19,1	80,9
ostala zanimanja	21	–	100,0
ukupno	211		

Po učestalosti strukturnih hromozomskih aberacija u periodu 1995–1996. najviše skreću pažnju lica koja su zaposlena u nuklearnoj medicini gde rade sa otvorenim izvorima zračenja. Nivo ozračivanja lica koja rade sa izvorima jonizujućih zraženja u laboratorijama za primenu radionuklida u medicinskoj dijagnostici i terapiji određuje se za vreme svih radnih operacija. Biodozimetrijska analiza kod ovih ispitanika pokazala je da je procenat sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija iznosio od 10,9–19,1%, u odnosu na grupe profesionalaca izloženi zatvorenim izvorima zračenja. Kod lica zaposlenih u nuklearnoj medicini hromozomske aberacije su posledica spoljašnjeg ozračivanja i unutrašnje kontaminacije. Povećana učestalost hromozomskih aberacija kod ovih ispitanika svakako je posledica većeg radijacionog rizika koji postoji pri radu sa otvorenim izvorima zračenja, ali i neadekvatne primene mera zaštite na radu. Pored nestabilnih srukturnih hromozomskih aberacija (dicentrici, acentrični fragmenti, ring hromozomi) signirane su i stabilne hromozomske aberacije (translokacije i pericentrične inverzije). U jednoj ispitivanoj grupi radnika zaposlenih u nuklearnoj medicini izdvojena su dva ispitanika sa multipnim promenama, koje su posledica interne kontaminacije [4].

Dalja istraživanja su pokazala da dolazi do povećanja profesijske izloženosti zračenju, u grupi radiologa i rendgentehničara u periodu 1997–1998. godine (19,64–23,52%), što se manifestovalo drastičnim povećanjem procenta učestalosti hromozomskih aberacija (tab. 3 i 4). Broj ispitivanih radiologa u 1997. godinu i pneumoftiziologa u 1998. godinu nije reprezentativan te zaključke koji se nameću s obzirom na rezultate treba prihvatiti sa rezervom.

Kada se analizira procenat ispitanika sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija, onda pored nestabilnih aberacija koje predstavljaju indikatore delovanja jonizujućeg zračenja na nasledni materijal, treba notirati i stabilne hromozomske aberacije u humanom hromozomskom setu koje se mogu detektovati kod lica koja su bila podvrgnuta nekim ranijim dijagnostičkim pretragama.

Treba istaći da radiosenzitivnost odnosno radiorezistentnost zavisi od genetske konstitucije genskog lokusa ataxia – telangiectasia (AT), a delikatna je aktivnost p53 kao

kritičnog učesnika u regulaciji ćelijskog ciklusa, gde ćelije sa normalnom funkcijom p53 zaustavljaju ćelijski ciklus nakon delovanja jonizujućeg zračenja i time se pruža šansa reparativnom enzimskom sistemu da popravi eventualnu leziju na DNK–a [5]. U našoj laboratoriji za radijacionu citogenetiku postoje uslovi da se pored konvencionalne citogenetske tehnike, CB mikronukleusnog testa radi i FISH tehnika, koja se takođe može koristiti za kvantitativnu procenu izloženosti malim dozama jonizujućeg zračenja.

Tabela 3. Rezultati citogenetičkog ispitivanja u toku 1997. godine

Zanimanje	Broj ispitanika	Hromozomske aberacije %	
		povećano učešće	bez hromozomskih aberacija
radiolozi	17	23,52	76,48
rengen tehničari	75	9,33	90,67
nukl. medicina	6	–	–
ostala zanimanja	8	37,5	62,50
ukupno	106		

Tabela 4. Rezultati citogenetičkog ispitivanja u toku 1998. godine

Zanimanje	Broj ispitanika	Hromozomske aberacije %	
		povećano učešće	bez hromozomskih aberacija
radiolozi	51	19,60	80,40
rengen tehničari	108	19,64	80,36
pneumoftiolozi	9	22,22	77,78
ostala zanimanja	17	16,66	83,34
ukupno	185		

ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir da je poznato da se ekstremna radioosetljivost i radiorezistentnost mogu pouzdano prepoznati mikronukleusnim testom, u zaštiti od zraženja profesijski izloženih lica bilo bi veoma važno umesto „nulte“ kontrole kod prethodnih zdravstvenih pregleda uraditi procenu radioosetljivosti i osobama takve genetske predispozicije preporučiti posao gde je radijacioni rizik najmanji [6].

Posebna pažnja se mora obratiti edukaciji osoblja i planiranju prikladnog radnog prostora za rad sa otvorenim odnosno zatvorenim izvorima jonizujućeg zračenja, što će obezbediti maksimalnu zaštitu ne samo osoblja već i pacijenta

LITERATURA

[1] Marinković, D; Tucić, N; Kekić, V. (1989). GENETIKA Naučna knjiga, Beograd

[2] Zimonjić, D.B; Savković, N; Anđelković, M. (1990). GENOTOKSIČNI AGENSI Naučna knjiga, Beograd

[3] Moorchead, P.S. et all. (1960). Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. Exp.cell. RES, 20:613–616.

[4] Jovičić, D; Milačić, S; Knežević, I. (1998). Citogenetički efekti pri profesionalnoj ekspoziciji radionuklidima. RAS. 7,2:223–225.

[5] Canman C.E; Wolff, A.C; Chen, C.Y; Fornace, A.J; Kastan, M.B. (1994). The p53 – Dependent G (1) Cell – Cycle Checkpoint Pathway and ATAXIA –TELANGIECTASIA, CANCER RES; 54,19:5054–5058.

[6] Joksić, G; Nikolić, M; Spasojević–Tišma, V; (1997). Radiosensitivity of Different Aged Human Lymphocytes Following Electron On Irradiation In vitro, NEOPLASMA, 44,2:117–121.

ABSTRACT

CHROMOSOMAL STATUS ANALYSIS IN INDIVIDUALS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION EFFECTS

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational Helth and Radiological Protection ”Dr Dragomir Karajović”, Belgrade

Modern radiation cytogenetics had accepted long ago a postulate that DNA molecules as the essential biological substrate represent the most important target of the ionizing radiation. The effects of the radiation include possible development of highly delicate lesions of the genetic material which may be manifested as structural chromosomal aberrations. The study represents the results of years – long cytogenetic studies of chromosomal aberrations in individuals occupationally exposed to ionizing irradiation (684 subjects). The subjects were classified into different groups according to the type of their jobs. During the period 1995–1996 the incidence of chromosomal aberrations was increased among nuclear medicine professionals, ranging from 19,1–10,9%. Significant increase of chromosomal aberration incidence was evidenced during the period 1997–1998 among radiologists and X–ray technicians, ranging from 23.52% to 19.64%. Dicentric type of chromosomal aberrations, ring – shaped chromosomes and acentric fragments were detected. Occupational exposure is particularly delicate issue due to the chronic exposure to small doses of ionizing irradiation and consequential cumulative irradiation effect necessitating the insight into the biological response of the organism to the given conditions of exposure. Adequate education of the staff and apprpriate protection against irradiation, which is at the same time best prevention both for early disorders and late consequences of the ionizing irradiation.

UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA VAGINALNU FLORU U TOKU RADIOTERAPIJE GINEKOLOŠKOG MALIGNOMA POSTOPERATIVNO

M. Krstić, S. Ljubenković, B. Cvetković, M. Milutinović
Klinika za onkologiju KC, Niš

SADRŽAJ

Jonizujuće zračenje dovodi do promena na malignim ćelijama, zdravom tkivu i mikroorganizmima prisutnim u datoj sredini. Uzročnici vaginitisa mogu biti različite vrste patogenih i uslovno patogenih mikroorganizama. U grupi od 50 žena na postoperativnoj zračnoj terapiji, uključenih u istraživanje, uziman je vaginalni bris pre i posle svake intravaginalne aplikacije nosača zračnog izvora -Cs^{137} . Zasejavanje je vršeno na odgovarajućim hranljivim podlogama. Rezultati su pokazali da su bakterije veoma otporne na zračenje, posebno GRAM pozitivne

UVOD

Promene izazvane radijacijom zavise od stepena diferentovanosti tkiva, tako da su visoko diferentovane ćelije radiorezistentnije u odnosu na manje diferentovane [1]. Kada su u pitanju mikroorganizmi, utvrđeno je da postoji razlika u otpornosti između pojedinih vrsta, a takođe između različitih sojeva iste vrste [2].

CILJ

Utvrditi da li jonizujuće zračenje pokazuje bakteriostatsko i baktericidno dejstvo na saprofitnu i patogenu bakterijsku floru i selektivno je menja u vaginalnoj sredini.

MATERIJAL I METODA

Ispitivanje je obavljeno u Klinici za onkologiju KC Niš i mikrobiološkoj laboratoriji Klinike za plućne bolesti u Knez Selu. Uključena je grupa od 50 žena lečenih od ginekološkog karcinoma, koje su na osnovu važećeg protokola za lečenje malignoma nakon operativnog zahvata, podvrgnute zračnom tretmanu. Postoperativna zračna terapija je sprovedena kombinovano. Transkutana, na linearnom akceleratoru energije fotona 10 MeV u ukupnoj dozi 40-50 Gy, dok je brahiterapija sprovedena na "Buchler"-u sa Cs^{137} u vidu 4-5 intrakavitarnih aplikacija vaginalnog tubusa sa 7-8 Gy po seansi (jednom nedeljno), uz kalkulisanje doze na 0.5 cm od površine vaginalne sluzokože tj. od površine aplikatora.

Svim pacijentkinjama je uziman vaginalni bris pre i posle svake intrakavitarne aplikacije, bez prethodnog vaginalnog ispiranja. Brisevi su uzimani sterilnim štapićima u epruvetama a zatim zasejavani na odgovarajuće podloge u Petri-pločama. Za određivanje vrste mikroorganizama kao bazična podloga korišćen je krvni agar, bujon kao podloga za obogaćivanje, a od selektivnih podloga endo-agar, Schachman- i Sabouraud agar. Podloge su čuvane u termostatu na temperaturi od 37°C, 18-24^{h} a zatim je vršeno očitavanje. Rezultati su obuhvatili vrstu mikroorganizama i broj kolonija.

REZULTAT

Od ukupnog broja ispitivanih žena, kod 33/50 (66 %) nađeni su saprofitni mikroorganizmi a kod 17/50 (34 %) patogeni. Kod 9/17 (53 %) žena izolovana je jedna bakterijska vrsta, kod 7/17 (42 %) udružena infekcija sa dve bakterijske vrste, a 3 i više bakterijskih vrsta nađeno je kod jedne pacijentkinje. Saprofitne i patogene bakterije u masi bile su zastupljene kod 28/50 (58 %) žena, a pojedinačne kolonije kod 22/50 (42 %). U toku zračenja praćeno je preživljavanje bakterija upoređivanjem broja bakterija na početku i posle poslednje intrakavitarne aplikacije. Utvrđeno je smanjenje broja bakterijskih kolonija tokom zračne terapije, tako da je kod 41 (82 %) pacijentkinje bris na kraju bio sterilan, kod 7 (14 %) je bilo do 5 kolonija, a kod 2 (4 %), bakterije u masi kao na početku zračenja.

DISKUSIJA

Kod žena obolelih od ginekološkog malignoma na zračnoj terapiji, vaginalne infekcije se javljaju kao čest i uvek aktuelan problem [3,4]. Inflamatorni proces u vagini nastaje tek kada je vaginalna sredina poremećena a tome doprinosi i sama intrakavitarna terapija jer dolazi do citohistološkog oštećenja ćelija sluzokože vagine i do smanjenja prirodnih odbrambenih mehanizama zdravih ćelija [5]. Mikroorganizmi, kao slabo diferentovane ćelije, su radiorezistentniji u odnosu na ćelije okolnog tkiva u datoj sredini [6]. Prva ispitivanja osetljivosti mikroorganizama na jonizujuće zračenje obuhvatala su vegetativne oblike bakterija i bakterijske spore. Zaključeno je da su bakterijske spore znatno otpornije, a iz grupe vegetativnih oblika, GRAM negativni mikroorganizmi su mnogo osetljiviji od GRAM pozitivnih vrsta [7]. Utvrdili smo da postoji razlika u otpornosti na zračenje između pojedinih vrsta, kao i između različitih sojeva iste vrste bakterija, što je u skladu sa literaturnim podacima [2]. Osetljivost na zračenje, koja je uslovljena genetskim faktorima mikroorganizama, može da se promeni zavisno od faze ciklusa u kojoj se bakterija nalazi za vreme sprovođenja radioterapije, uslova za vreme i posle ozračivanja, kao i od vrste jonizujućeg zračenja [2]. Visokoenergetski elektroni su manje efikasni od gama-zračenja ukoliko je prisutan kiseonik, dok frakcionisana doza deluje manje efikasno na vegetativne bakterije. Kao i kod svih živih ćelija i u slučaju bakterija mehanizam delovanja jonizujućih zraka zasniva se na nespecifičnoj jonizaciji molekula, a ta reakcija je najviše izražena na DNK. Od osobina zračenja, na rezistenciju bakterija utiču: linearni transfer energije (LET), brzina doze i frakcionisanje doze. Relativna biološka efikasnost (RBE) raste sa LET-om [8]. U tom slučaju, efekt zračenja je rezultanta odnosa izmedu letalnih oštećenja i reparisanja tih oštećenja, jer mikroorganizmi poseduju reparatorni enzimski mehanizam koji je u stanju da kod izvesnog broja ozračenih mikroorganizama repariše letalni efekt [9]. .

ZAKLJUČAK

1. Jonizujuće zračenje selektivno menja bakterijsku floru u vaginalnoj sredini.
2. Baktericidno i bakteriostatsko dejstvo su posledice zračne terapije na patogenu i saprofitnu bakterijsku vaginalnu floru.

LITERATURA

[1] Hebrang A, Petrovčić F. Radijacija i zaštita u medicinskoj dijagnostici. Medicinska knjiga Beograd-Zagreb 28-40, 1987.
[2] Sabovljev S. Ispitivanje radijacione rezistencije mikroorganizama iz relevantnih sredina. Doktorska disertacija. Beograd 1981.
[3] Kucera H. Vergleich der Nebenwirkungen der postoperativen HDR und LDR. Radiumbesthralung bei Korpuskarzinom. Afterloading Buchler Anwendertreften. Wien 1984.
[4] Sobel JD. Vaginal infection in adult women. Medical clinics of North America 74 (6) : 1573-602, 1990.
[5] Hanna FN, Taylor-Robinson D, Kalodiki-Karamanoli M, Harris JR, McFadyen JR. The relation between vaginal PH and the mikrobiological status in vaginitis. British Journal of obstetrics and gynaecology 92: 1267-71, 1985.
[6] Fowler JF. Nuclear particles in cancer treatment. Adam Hilger Ltd, Bristol in collaboration with the Hospital Physicists Association 1-4, 1981.
[7] Bridges AE, Olivo JP and Chandler VL. Appl Microbiol 4 : 143-7, 1956.
[8] Kumta VS and Zewis NF (1974). Radiation sterilisation of medical products, JSOMED, Bombay 37-60.
[9] Karakašević B. i sar. Mikrobiologija i parazitologija. Medicinska knjiga Beograd Zagreb 138-9, 1987.

ABSTRACT

Ionizing radiation induces changes in malignant cells, normal tissues and microorganisms in the given environment. The causes of postoperative vaginitis may be various pathogenic or conditionally pathogenic microorganisms.

All 50 women on postoperative radiotherapy, investigation included, had their vaginal swabs taken before and after each intracavitary application-Cs^{137} . Culture was done on the appropriate nourishing bases, with reading of the results afterwards.

The results showed that ionizing radiation exerts its bacteriostatic and bactericidal action on the saprophytic and pathogenic bacterial flora in the vaginal environment.

HEMATO– I GASTROPROTEKTIVNA EFIKASNOST AMIFOSTINA U OZRAČENIH PACOVA

S. Dobrić, M. Popović [1], D. Bokonjić
Nacionalni centar za kontrolu trovanja, VMA, Beograd
[1] Departamento de Ciencias Morfologicas y Psicobiologia, Facultad de Medicina, Campus Universitario de Espinardo, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, Spain

SADRŽAJ

U odraslih mužjaka Wistar pacova (200–250 g), podvrgnutih jednokratnom ozračenju celog tela X–zracima u dozi od 6 Gy i 8 Gy, ispitani su hemato– i gastroprotektivni efekti radioprotektora amifostina (300 mg/kg ip, 20 min pre zračenja) tokom 28 dana posle zračenja. Pokazano je da zračenje na dozno–zavisan način dovodi do poremećaja u perifernoj krvnoj slici, uz najizraženije sniženje broja leukocita, kao i do razvoja lezija u gastričnoj mukozi, uglavnom tipa petehija. Pretretman amifostinom prouzrokovao je brz i gotovo kompletan oporavak broja ćelija u perifernoj krvi, te smanjio intenzitet gastričnih lezija, pogotovo 7–og postradijacionog dana, kada su one bile najizraženije. Stoga se može izvesti zaključak da amofostin, pored već poznatog hematoprotektivnog, ispoljava i zadovoljavajuće gastroprotektivno dejstvo.

UVOD

Amifostin, aminopropilni derivat cisteamina, poznat i kao WR–2721, jedan je od najefikasnijih radioprotektora sintetisanih i ispitanih do danas [1,2]. Zbog selektivne zaštite zdravih, u odnosu na tumorska tkiva, postao je posebno interesantan za primenu kod bolesnika podvrgnutih radioterapiji tumora. Otkriće da može ublažiti neželjena dejstva mnogih citostatika, dovelo je do njegove široke primene u onkologiji. Danas se ovaj lek nalazi registrovan u mnogim zemljama, uključujući i našu [3].

Poznato je da su ćelije hematopoetskog tkiva i gastrointestinalnog trakta jedne od najosetljivijih na zračenje [4]. Efikasnost amifostina u zaštiti hematopoetskog tkiva od štetnih dejstava zračenja i citostatske terapije potvrđena je u brojnim pretkliničkim i kliničkim studijama [2,3,5–7]. Takođe, pokazano je da on veoma efikasno štiti i ćelije crevnog epitela od radijacionog oštećenja [7,8].

Međutim, podaci o efektima jonizujućeg zračenja na sluznicu želuca, kao i o gastroprotektivnoj efikasnosti amifostina za sada su veoma oskudni. Stoga je cilj ovog rada bio da se ispitaju gastroprotektivni efekti amifostina u ozračenih pacova i uporede sa njegovim dobro poznatim hematoprotektivnim efektima.

MATERIJAL I METODE

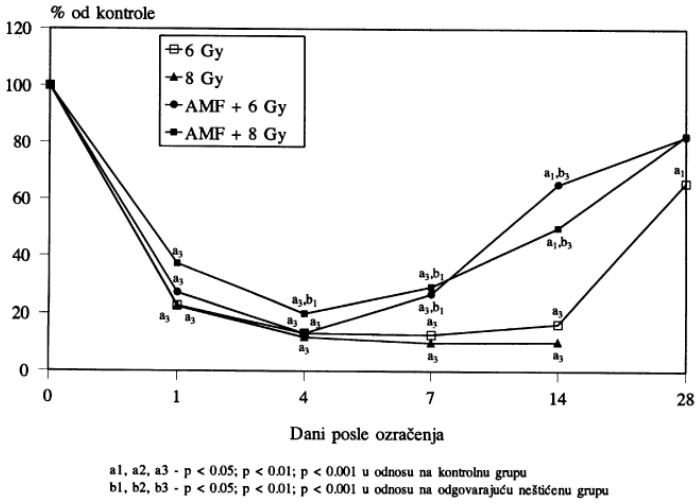
Eksperimenti su sprovedeni na odraslim mužjacima Wistar pacova, telesne mase od 200–250 g. Životinje su ozračene na celo telo X–zracima energije 8 MeV–a u dozi od 6 Gy i 8 Gy (linerani akcelerator SL 75–20, Philips). Amifostin je uvek davan u dozi od 300 mg/kg *ip*, 20 min pre zračenja. Tokom 28 dana od zračenja praćeno je preživljavanje, promene u telesnoj masi i ponašanju životinja, kao i promene u perifernoj krvnoj slici (eritrociti, leukociti, trombociti, hematokrit, hemoglobin), odnosno promene na sluznici želuca. Želučane lezije (erozije i tačkasta krvarenja ili petehije) posmatrane su pod uvećanjem (3x), a njihova veličina određivana je merenjem dužine, s tim što je u slučaju petehija, 5 takvih lezija uzimano kao 1 mm. Intenzitet nađenih lezija izražavan je kao ulkusni indeks (UI), tj. kao zbir dužina erozija i petehija, podeljen brojem životinja u grupi:

$$UI = \frac{\text{dužina erozija (mm)} + \text{dužina petehija (mm)}}{\text{broj pacova}}$$

Sve vrednosti praćenih parametara izražavane su kao X±SEM. Statistička značajnost između pojedinih grupa ispitivana je pomoću Student–ovog t–testa i MannWhitney–ovog U–testa. Značajnim su smatrane razlike srednjih vrednosti na nivou od $p<0.05$.

REZULTATI I DISKUSIJA

Naše ispitivanje pokazuje da X–zračenje u subletalnim (6 Gy) do minimalno apsolutno letalnim dozama (8 Gy) prouzrokuje dozno–zavisno sniženje ćelija sve tri krvne loze u perifernoj krvi ozračenih pacova. Pri tome je najizraženije sniženje zabeleženo u broju leukocita budući da oni, a među njima posebno limfociti, spadaju u jedne od, na zračenje, najosetljivijih ćelija [4].



Slika 1. Efekt amifostina (AMF) na broj leukocita u perifernoj krvi ozračenih pacova

Amifostin je, prema očekivanjima, ispoljio izuzetno dobar zaštitni efekt na uočene hematološke poremećaje, obezbeđujući, u posmatranom postradijacionom periodu, brz i gotovo potpun oporavak broja uobličenih ćelijskih elemenata u perifernoj cirkulaciji. Kao što se vidi na Slici 1. broj leukocita u ozračenih i prethodno štićenih pacova uvek je bio značajno viši od odgovarajućih vrednosti neštićenih životinja, da bi se 28–og dana posle zračenja gotovo u potpunosti vratio na kontrolni nivo.

Osim radijacionog oštećenja hematopoeze, X–zračenje u dozama od 6 Gy i 8 Gy dovodi i do oštećenja sluznice želuca, prouzrokujući uglavnom lezije tipa petehija (Tabela 1). Njihov intenzitet je bio najizraženiji 7–og dana posle zračenja, što je koincidiralo s ispoljavanjem manifestnih znakova akutne radijacione bolesti (proliv, adinamija, gubitak telesne mase). U daljem postradijacionom toku intenzitet lezija se smanjivao, ali je još uvek bio prisutan u preživelih životinja (pacovi ozračeni sa 6 Gy X–zraka). Treba istaći da su ove promene bile izraženije u životinja ozračenih dozom od 8 Gy, nego onih ozračenih sa 6 Gy i ta razlika postala je visoko statistički značajna 7–og postradijacionog dana. Amifostin nije uticao na razvoj gastričnih lezija u prva tri dana posle ozračenja, bez obzira na primenjenu dozu X–zraka. štaviše, 2–og postradijacionog dana intenzitet lezija u štićenoj grupi bio je čak i viši od odgovarajućeg u neštićenih životinja. Međutim, 7–og dana posle zračenja, kada je intenzitet lezija u neštićenim grupama bio najveći, u životinja pretretiranih amifostinom, došlo je do njegovog značajnog smanjenja.

Tabela 1. Efekt amifostina (AMF) na intenzitet gastričnih lezija u ozračenih pacova

Dani posle zračenja	Ulkusni indeks (mm)			
	6 Gy	8 Gy	AMF + 6 Gy	AMF + 8 Gy
1.	0.2 ± 0.1	1.7 ± 0.8	0.0 ± 0.0	3.6 ± 3.2
2.	1.4 ± 1.4	0.1 ± 0.1	4.6 ± 1.4^{a3,b1}	2.9 ± 1.7^{a2,b2}
3.	0.5 ± 0.1^{a2}	2.3 ± 1.8^{a1}	2.0 ± 1.3	3.2 ± 2.6^{a1}
7.	5.4 ± 1.1^{a3}	14.5 ± 1.6^{a3*}	2.8 ± 0.4^{a3,b1}	9.4 ± 1.5^{a2,b1}
14.	4.8 ± 2.1^{a3}	9.8 ± 3.2^{a2}	3.9 ± 0.4^{a3}	7.3 ± 3.3^{a2}
28.	3.0 ± 1.4^{a2}	–	3.2 ± 1.2^{a2}	3.9 ± 0.3^{a2}

a1, a2, a3 – $p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$ u odnosu na kontrolnu grupu

b1, b2, b3 – $p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$ u odnosu na odgovarajuću neštićenu grupu

* $p < 0.001$ u odnosu na grupu 6 Gy

Treba napomenuti da i sam amifostin, tokom prvih 7 dana posle jednokratne doze od 300 mg/kg *ip*, u lažno ozračenih pacova prouzrokuje pojavu petehija (nije pokazano), što bi moglo da bude razlogom njegove gastroprotektivne neefikasnosti u prvim danima posle zračenja. Međutim, kako u vreme ispoljavanja najizraženijih gastričnih lezija u ozračenih životinja pokazuje statistički značajan zaštitni efekt, može da se zaključi da, pored već dobro poznatog hematoprotektivnog, ovaj lek ispoljava i zadovoljavajući gastroprotektivni efekt.

LITERATURA

[1] Sweney T.R. A survey of compounds from the antiradiation drug development program of the U.S. Army Medical Research and Development Command, Walter Reed Inst. Res., Washington, 1979.

[2] Giambarresi L., Jacobs A.J. Radioprotectants. In: Military radiobiology (Conclin J.J., Walter R., eds.), Academic Press, 1987, 265–301.

[3] Reynolds J.E.F. Martindale – The Extra Pharmacopoeia, The Pharmaceutical Press, London, 1996.

[4] Cockerham L.G. et al. Ionizing radiation, In: Principles and methods of toxicology, 3rd ed. (Hayes A.W., editor), Raven Press, New York, 1994, 447–496.

[5] Glover D. et al. WR–2721 protects against the hematologic toxicity of cyclophosphamide. A controlled phase II study, J. Clin. Oncol., 4:584–588, 1986.

[6] Bisht K.S. et al. Drug combination against single drug treatment in radiation protection of the bone marrow of CFU, Strahlenther. Onkol., 166:545–548, 1990.

[7] Naruka K., Bhartiya H.C. Radioprotection of pronormoblast and normoblast by WR–2721, Sthralenther. Onkol., 166:542–544, 1990.

[8] Sigdestat C.P. et al. The effect of S–2–(3–aminopropylamino)ethylphosphorothioic acid (WR–2721) on intestinal crypt survival, 1. 4MeV X–rays, Radiat. Res., 62:267–275, 1975.

[9] Halberg F.E. et al. Intraoperative radiotherapy with localized radioprotection diminished duodenal toxicity with intraluminal WR–2721, Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 21:1241–1246, 1991.

ABSTRACT

HEMATO– AND GASTROPROTECTIVE EFFICACY OF AMIFOSTINE IN IRRADIATED RATS

S. Dobrić, M. Popović[1], D. Bokonjić

National Poison Control Centre, Military Medical Academy, Belgrade

[1] Departamento de Ciencias Morfologicas y Psicobiologia, Facultad de Medicina, Campus Universitario de Espinardo, Universidad de Murcia, Murcia, Spain

In male Wistar rats (200–250 g), whole–body irradiated by 8MeV X–rays (6 Gy and 8 Gy), the hemato– and gastroprotective effects of radioprotector amifostine (300 mg/kg ip, 20 min before irradiation) were studied during 28 days after irradiation. It was shown that X–irradiation dose–dependently produced decrease of all blood cells in the peripheral circulation, particularly leukocytes, as well as the gastric lesions, mainly petechia type. Pretreatment by amifostine provided rapid and almost complete recovery of blood cells count and diminution of gastric lesion intensity, particularly on the Day 7 after irradiation when the lesions were the most pronounced. Accordingly, it could be concluded that amifostine, except well–known hematoprotective, may produce successful gastroprotective effects, too.

DENSITOMETRY OF LOWER RAT JAWS IRRADIATED WITH X-RAYS

M. Demajo, M. Petković[1], O. Ivanišević-Milovanović
Institute for Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Yugoslavia.
Laboratory for Molecular Biology and Endocrinology
[1] Medical Protection Department

ABSTRACT

Densitometry of the lower rat jaws on dental film was performed on five defined lanes from female rats aged 26 days, whose heads were irradiated with a single dose of 9.6Gy of X-rays at the age of 8 days. Significantly lower density of the lower jaw bone ($p<0.05$) was measured in the nonirradiated control rats compared to the irradiated animals in the lane positioned from the middle of the upper surface of the developing crown of the third molar, extending vertically down to the lower edge of the mandibular bone. The bone density on the lane covering the vertical line just in front of the capitulum mandibulae and the angulus mandibulae was significantly lower in the irradiated animals ($p<0.02$) than in the intact controls. From our results, it may be concluded that X-irradiation effects the lower rat jaw bone density in specific regions.

INTRODUCTION

It has been previously shown that a single dose of 9.6Gy of X-rays applied to the head region of 8-days-old female rats retards the growth of the teeth, especially the third molar (4) and also reduces the growth rate of the lower jaw. (1,2,3) On the basis of our previous morphological studies on the effects of X-rays on the rat lower jaw and teeth, in this report we present our analysis of bone density in the lower rat jaws after irradiating the animals with X-rays.

MATERIALS AND METHODS

The head region of 8-days-old female rats of a Wistar strain were irradiated with a single dose of 9.6Gy of X-rays ("Philips" machine, 200Kv, 16mA, FDO 34cm, filter 1mm Al, dose rate: 0.7869 Gy/min.). The bodies of the animals were protected by lead "U" shaped shields reaching anteriorly just behind the ears. Nonirradiated rats served as controls. All animals were kept with their mothers (7 pups per group), in the animal room at 22°C, lights on 7:00-19:00hrs. At the age of 26 days, all animals were sacrificed by decapitation, the jaws were cleaned of soft tissue. The jaws were filmed by a dental "Siemens" machine under the following conditions: 220V, 50-200Hz, 60KW, 10mA,

exposure time 0.5 sec., object distance 1cm. Standard dental film was used. The dental films were densitometrically scanned in 2 dimensions on an LKB 2222 ultrascan XL, defining the lanes as described below (Fig.1). Data obtained by scanning were converted by the gel scan XL programme and reciprocal values of relative optical densities were depicted. The peaks were integrated and the values are presented as the Mean ± S.E.M. It should be noted that the higher the mean optical density value given, the lower the bone density. The Student′s T-test was used for comparing the means and the level of significance was set at $p<0.05$.

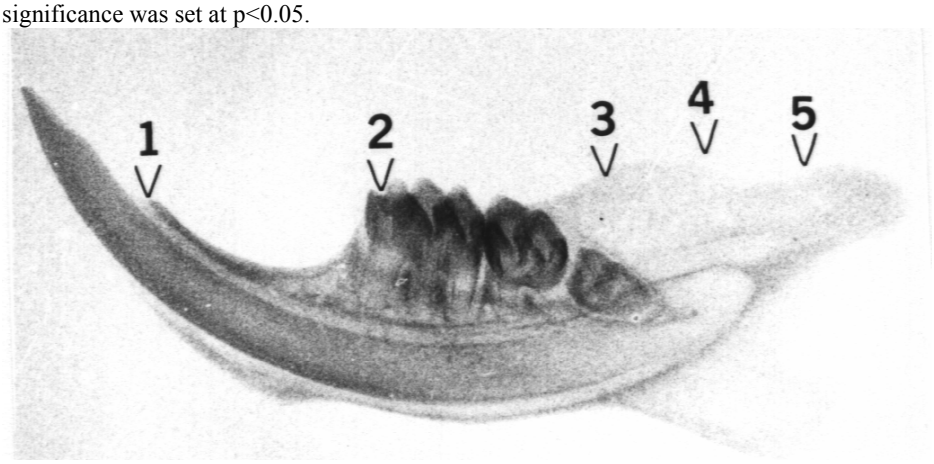


Fig. 1. Position of lanes selected for densitometric analysis of the lower rat jaw (picture of nonirradiated jaw presented).

The lanes may anatomically be defined as follows:

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 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.

RESULTS AND DISCUSSION

From Table 1. it is evident that the dose of 9.6Gy of X-rays applied to the head region of 8-days-old rats influenced the bone density in two lanes of the lower jaws after a period of 18 days after irradiation (at the age of 26 days), of the five defined lanes for densitometric analysis. The optical density in lane 3 is significantly lower (the bone tissue in this lane is denser) in the jaws of irradiated rats when compared to the intact controls ($p< 0.05$). In lane 5 however, the optical density of jaws from irradiated rats showes significantly higher values (bone tissue less dense; $p< 0.02$) when compared to intact

controls. This means that at the age of 26 days, X-rays had an effect only on certain regions of the lower jaw selected for analysis.

Table 1. Optical densities of lower rat jaws in specified densitometric lanes

Lanes for densitometry	Optical density Nonirradiated rats-controls		Optical density Rats irradiated with 9.6Gy	
Lane 1.	4.889 ± 0.41•	(8)	5.253 ± 0.89	(6)
Lane 2.	10.012 ± 0.44	(8)	9.362 ± 0.92	(5)
Lane 3.	9.917 ± 0.61	(8)	7.909 ± 0.73*	(5)
Lane 4.	5.532 ± 0.37	(8)	6.592 ± 0.78	(4)
Lane 5.	2.768 ± 0.22	(5)	4.386 ± 0.51**	(5)

•Mean ± S.E.M.; ( ) No of animals; *p< 0.05, **p< 0.02- compared to nonirradiated controls

These differences may be explained by the fact that lane 3 includes the third molar and since in irradiated rats the third molar is absent in the irradiated animals, (4) the higher density of tissue in this region may be expected due to the absence of root and crown extension of this molar, making the tissue here more compact. Lane 5 includes the region of the joint where the lower jaw articulates with the upper jaw. This region in animals aged 26 days is still considerably cartilagenous and in the process of mineralization, so X-rays may induce changes in the process of mineralization. One must also take into account the fact that in the irradiated animals the third molar in the lower jaw is absent and discontinuity in the developing incisor is visible, (4), which may influence the overall development of the jaw bone due to improper dental occlusion.

Our further studies will analyze the same densitometric lanes in the jaws of irradiated and nonirradiated rats but at an older age, which should give more information on jaw development in the rat after X-irradiation.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank the colleagues from the Laboratory for Radiation Protection and Protection of the Environment of the "Vinča" Institute, for irradiation procedures and dosimetry. This work has been supported my the Serbian Ministry of Science and Technology, project 03E24.

REFERENCES

[1] 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.

[2] Demajo M., Milovanović O.: The growth of discrete areas in rat teeth after irradiating the head region of 8-day-old rats. In: Proceed. Int. Radiat. Prot. Symp.(IRPS),(Ninković M., Pavlović R.S., Raičević J.J., Eds), October 2-6, 1989, Dubrovnik, Yugoslavia, pp. 193-197.

[3] Demajo M., Milovanović O., Karađžov O., Sedlecki S.: Comparative analysis of changes in X-ray irradiated upper and lower rat jaws and the protective effect of hypothermia. In: Proceed. Italian-Yugoslav Symp. (Barbina V. Ed.), June 22-24, 1988, Udine, Italy, ENEA, Comitato Nazionale per la ricerca e per la svillupo dell energia nucleare e delle energie alternative, Rome, 1989, pp. 115-118.

[4] Karađžov O., Sedlecki-Gvozdenović S.D., Demajo M., Milovanović 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.

SADRŽAJ

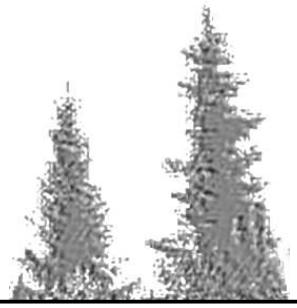
DENSITOMETRIJA DONJIH VILICA PACOVA IZLOZENIH X-ZRACIMA

M. Demajo, M. Petković[1], O. Ivanišević-Milovanović
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Jugoslavija
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju
[1] Centar za medicinsku zaštitu

Densitometrijom na zubnom filmu u pet traka je izmerena gustina kostiju i zuba donje vilice pacova ozračenih jednokratnom dozom od 9.6Gy X-zraka na osmi dan starosti a žrtvovane 26. dana starosti. Pokazalo se da je gustina kostiju donje vilice kod neozračenih kontrola manja ($p<0.05$) u odnosu na ozračene zivotinje u traci koja se proteže kroz region trećeg molara do donje ivice mandibularne kosti. Gustina kostiju donje vilice ispred same capitulum mandibulae i angulus mandibulae je bila značajno niža u ozračenim životinjama ($p<0.02$) u odnosu na neozračene kontrole. Naši rezultati pokazuju da X-zraci imaju znatan efekat na gustinu kostiju donje vilice pacova samo u specifičnim regionima.

8

PRIMENA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U NEKIM TEHNOLEOGIJAMA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA



PRORAČUN DEBLJINE ZAŠTITNIH ZIDOVA NA KANALU ZA PROIZVODNJU RADIOIZOTOPA AKCELERATORSKE INSTALACIJE TESLA

O. Čuknić, M. Orlić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

U okviru projektovanja kanala za proizvodnju radioizotopa na Akceleratorskoj instalaciji Tesla u INN „Vinča“ neophodno je proračunati debljine zaštitnih zidova. U ovom radu korišćena su tri pristupa: empirijski, semiempirijski i modelovanje Monte Karlo metodom (softverski paket MCNP). Proračuni su rađeni u realnoj geometriji. Sa stanovišta proračuna zaštite, dobijeno je zadovoljavajuće slaganje rezultata .

UVOD

Kanal za proizvodnju radioizotopa (H4) na akceleratorskoj instalaciji Tesla u INN „Vinča“ namenjen je za proizvodnju različitih radionuklida za potrebe nuklearne medicine u Jugoslaviji i šire. U kanalu je predvidjen rad sa čvrstim, tečnim i gasovitim metama. Prvi radionuklid koji će se proizvoditi biće ^{201}Tl [1]. On se koristi u nuklearnoj kardiologiji, u formi radiofarmaceutika ^{201}TlCl. Sledeći radioizotopi koji će se proizvoditi biće ^{123}I i ^{18}F.

Sa stanovišta zaštite od zračenja najznačajnija je čvrsta meta kao u slučaju proizvodnje ^{201}Tl. Kao meta koristi se ^{203}Tl. Optimalni prinos dobija se preko nuklearne reakcije

$$^{203}Tl(p,3n)^{201}Pb \xrightarrow{EC(9.33h)} {}^{201}Tl \qquad (1)$$

pri energiji upadnih protona 29→22 MeV i pri struji od 36 μA [1].

U slučaju nuklearnih reakcija sa energijama projektila do 100 MeV, osnovni problem u zaštiti od zračenja predstavljaju brzi neutroni. Njihov broj po jednom upadnom projektilu, kao i njihova energetska distribucija nisu precizno utvrđeni. Kao najbolja aproksimacija uzimaju se vrednosti date u [2]. U ovom radu računata je samo jačina efektivne neutronske doze iza zaštitnih zidova.

Egzaktan proračun debljine zaštitnih zidova nije moguć zbog više faktora, kao što su: složena geometrija, nepoznata energetska distribucija neutrona i njihov prinos, uticaj gama zračenja. Stoga se pribegava različitim aproksimacijama. U okviru ovog rada korišćene su dve aproksimacije. Prva je semiempirijska, a druga čisto empirijska. Kao treća metoda uzet je Monte Karlo metod, pre svega zbog složene geometrije.

Bunker je projektovan od betonskih zidova debljine 1.5 – 2.5 m, kao na sl.1. Pod i tavan su od betona debljine 2 m.

PRORAČUN ZAŠTITE

Jačina ekvivalentne doze $\dot{H}$ (μSv/h) oko tačkastog izvora brzih neutrona određuje se prema sledećoj semiempirijskoj formuli [3]

$$\dot{H} = J \frac{Y\,B\,h\,K}{4\pi R^2}\, e^{-\sum_i \frac{x_i}{\lambda_i}} \tag{2}$$

gde je:

J – struja gubitaka (čestica/s),
Y – prinos neutrona po jednoj upadnoj čestici,
B – faktor nagomilavanja (build up faktor),
h – konverzioni faktor neutronski fluens – ekvivalentna doza (Sv cm$^{2)}$,
$K = 3{,}6 \cdot 10^5$ – koeficijent proporcionalnosti,
R – rastojanje izvor – tačka računanja jačine doze (m),
x – debljina zaštitnog ekrana (cm),
λ – dužina slabljenja neutrona u zaštitnom ekranu (cm),
i – indeks materijala koji se nalazi na putu izvor – tačka računanja.

Na bazi rezultata merenja ustanovljena je sledeća formula za računanje jačine ekvivalentne doze oko tačkastog izvora brzih neutrona [4]:

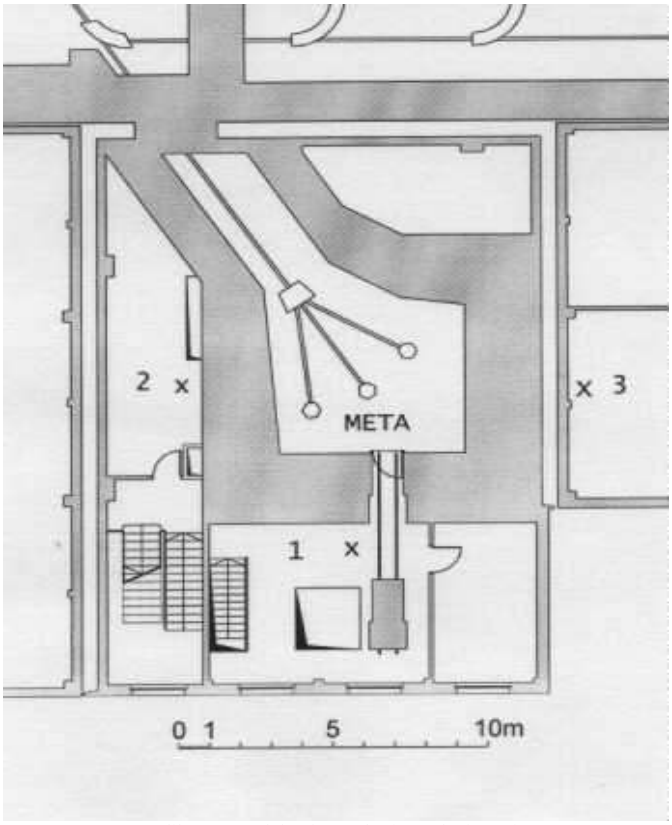
$$\dot{H} = J \frac{H_0}{R^2}\, e^{-\frac{x}{\lambda_{eff}}} \tag{3}$$

gde je:

J – struja gubitaka (čestica/h),
R – rastojanje izvor – tačka računanja jačine doze (m),
x – debljina zaštitnog ekrana (g/cm^2),
H_0 – Efektivna doza na rastojanju 1 m i za nultu debljinu štita (Sv m^2/proton),
λ_{eff} – efektivna dužina slabljenja neutrona u zaštitnom ekranu (g/cm^2).

Ova formula važi samo za ekrane od betona debljine 1–5 m [4].

Monte Karlo metod za proračun transporta jonizujućeg zračenja danas se široko koristi. Njegove prednosti su višestruke. Izutetno je pogodan kod komplikovanih geometrija kakav je ovde slučaj. Postoji veliki broj računarskih programa baziranih na Monte Karlo metodu. Neki od njih su namenski razvijeni za proračun transporta čestica na akceleratorima. U ovom radu korišćen je MCNP Monte Karlo program koji je namenski razvijen za proračun transporta neutrona, gama fotona i elektrona na reaktorskim postrojenjima. Njegovo glavno ograničenje za primenu na akceleratorima je gornja granica energije neutrona koja iznosi 20 MeV. Međutim, na akceleratorima energija do 100 MeV, zanemarljiv je udeo brzih neutrona energija preko 20 MeV. Energije upadnih protona u kanalu za proizvodnju radioizotopa su ispod 30 MeV. Zato je korišćenje ovog programa opravdano. Proračuni su obavljeni sa verzijom MCNP 4B za PC računar.



Slika 1. Presek bunkera u horizontalnoj ravni

REZULTATI

Šematski prikaz bunkera za proizvodnju radioizotopa dat je na sl.1. Jačina neutronske efektivne doze računata je u pet reprezentativnih tačaka oko betonske zaštite. Tačke 1, 2 i 3 nalaze se u horizontalnoj ravni kao na sl.1, a tačke 4 i 5 nalaze se u prostorijama iznad, odnosno ispod izvora na rastojanju 25 cm od poda, odnosno plafona.

U svim proračunima uzima se da je struja gubitaka 100%, što iznosi J = 36 μA = $8.1\cdot10^{17}$ protona/h = $2.24\cdot10^{14}$ protona/s.

Za semiempirijsku formulu (2) korišćeni su sledeći ulazni parametri[2,3]:

Y = 0.02 neutron/proton; B = 3 – 4; h = $4.1\cdot10^{-10} – 6.3\cdot10^{-10}$ Sv cm^2 / neutron;

λ = 18.8 cm.

U empirijskoj formuli (3) korišćeni su sledeći ulazni parametri [2]:

$H_0 = 10^{-16} – 10^{-15}$ (Sv m^2/proton); λ_{eff}= 30 g/cm^2.

MCNP je puštan za 35 miliona istorija. Za izračunavanje jačine efektivne neutronske doze korišćeni su tačkasti detektori. Statistička greška je sporo konvergirala. Dostizala je 0.17%, što ne zadovoljava kriterijum od 0.1%.

Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Jačina efektivne neutronske doze (μSv/h)

Tačka	R [m]	x (cm)	Semiempirijska formula	Empirijska formula	Monte Karlo
1	5	250	0.02–0.04	0.02	0.001
2	6	250	0.015–0.03	0.01	0.002
3	7	250	0.01–0.02	0.01	0.005
4	4.75	200	2.4	1	2.573
5	4.75	200	2.4	1	2.545

ZAKLJUČAK

Poređenje rezultata sva tri primenjena metoda pokazuje saglasnost prihvatljivu za ovakve vrste proračuna. Pri manjim debljinama (200 cm) semiempirijska formula i MCNP imaju dobro slaganje, dok empirijska formula pokazuje 2.5 puta manje rezultate. Pri većim debljinama zida međutim, empirijska i semiempirijska metoda pokazuju bolje slaganje, dok MCNP daje za red veličine manje vrednosti. Predpostavlja se da bi sa većim brojem istorija i ovde slaganje bilo bolje. Naime, MCNP nije optimiziran za ovakve vrste problema i za velike debljine štitova.

Sve tri metode mogu se koristiti za proračun zaštite na akceleratorskim instalacijama. To se posebno odnosi na proračune kod kojih se uzima u obzir faktor sigurnosti. Najjednostavnija je primena empirijske formule. Stoga se daje prednost njenom korišćenju ukoliko se raspolaže ulaznim podacima za dati materijal.

LITERATURA

[1] Vuksanović Lj. i ost., Konceptualni projekt proizvodnje radiofarmaceutika 201TlCl, INN Vinča, 1999.

[2] Radiological safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators, Technical Reports Series No.283, IAEA, Vienna, 1988

[3] М. М. Комочков, Б. Н. Лебедев, Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц, Москва, Энергоатомиздат, 1986

[4] N.Brassart, J.Tuyn, J.Herault, P.Chauvel, Aspect spécifiques de la radioprotection autour d'un cyclotron, Radioprotection, 30, No.3, pp 411–422 (1995)

[5] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources, IAEA, Vienna, 1996

ABSTRACT

SHIELDING CALCULATION OF THE RADIOISOTOPE PRODUCTION CHANELL AT TESLA CYCLOTON INSTALATION

O. Čuknić, M. Orlić
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

During construction of the TESLA Accelerator Installation in the Vinča Institute, one of the important problems was shielding calculation for the Radioisotope production Channel. Calculations were made in three different methods: empirical, semiempirical and Monte Carlo method. The results have been compared and show good agreement.

EMISIONA TOMOGRAFIJA NUKLEARNIH MATERIJALA

P. Marinković, V. Ljubenov[1], M. Pešić[1]
Elektrotehnički fakultet, Beograd
[1]Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Na bazi simulacije Monte Karlo metodom, u ovom radu je analizirana mogućnost primene gama kamere i jednofotonske emisione tomografije za nedestruktivnu inspekciju radioaktivnih materijala. Validnost ispitivanja materijala pomoću gama kamere je predmet brojnih istraživanja u svetu. Ovde su istaknute predosti i nedostaci metode u odnosu na druge primenjivane tehnike. Detaljnim razmatranjem je konstatovano da se ovim postupkom uspešno može obaviti inspekcija kontejnera (buradi) sa radioaktivnim materijalom.

UVOD

Jednofotonska emisiona tomografija (SPECT), namenjena za snimanje raspodele izvora gama zračenja u sloju materijala, našla je najveću primenu u medicini, a nešto manju u industriji i nauci. Jedna od mogućih aplikacija takvog postupka snimanja je analiza kontejnera sa radioaktivnim materijalom bez njihovog otvaranja.

Primena jednofotonske emisione tomografije za snimanje prostorne raspodele izvora nuklearnog zračenja u zatvorenim kontejnerima je već analizirana u literaturi [1, 2]. Izučavana je primena univerzalnih gama skenera [3] i gama kamere [4]. Ispitivana je mogućnost snimanja kontejnera bez njihovog prethodnog izlaganja neutronskom zračenju i mogućnost snimanja u slučaju njihovog ozračavanja neutronima, kada dolazi do indukcije gama zračenja [5].

Mnoge analize primene SPECT sistema za takva ispitivanja bazirane su na Monte Karlo postupku. Konstatovano je da je Monte Karlo metod simulacije procesa transporta i detekcije gama zračenja, bez obzira na zahtevnu količinu proračuna, najpogodniji postupak za analizu mogućnosti primene pomenutih uređaja za nedestruktiovnu inspekciju kontejnera sa radioaktivnim materijalom.

JEDNOFOTONSKA EMISIONA TOMOGRAFIJA

Jednofotonska emisiona tomografija daje sliku distribucije koncentracije radionuklida koji emituju gama zračenje po slojevima (2D slike), na osnovu kojih je moguće dobiti trodimenzionalnu (3D) sliku te raspodele. Slika sloja je rezultat postupka rekonstrukcije iz projekcija snimanih iz većeg broja različitih uglova gledanja. Korišćenjem gama kamere (uređaja kojim se dobija dvodimenzionalna distribucija mesta interakcije

kolimisanih upadnih gama fotona i detektora) moguće je tokom jedne rotacije jednovremeno sakupiti podatke o više desetina slojeva. Gama kamera mora biti opremljena kolimatorom, koji je izrađen od olova sa više desetina hiljada malih otvora koji formiraju tzv. tomografske zrakove, pa se podaci mogu iskoristiti za rekonstrukciju slike slojeva.

PRIMENA GAMA KAMERE ZA INSPEKCIJU NUKLEARNIH MATERIJALA

Primena gama kamere na probleme inspekcije kontejnera sa radioaktivnim materijalom je predmet višegodišnjih istraživanja. Ona je povezana sa nizom poteškoća:

(1) Konvencionalna gama kamera je velikih gabarita i mase, što onemogućava njeno lako prenošenje do mesta gde se nalazi izvor. Jednostavnije je doneti kontejner sa radioaktivnim materijalom do samog uređaja, što nije uvek moguće. Najnovije gama kamere (npr. firme *ADAC Laboratories*) su mnogo manje debljine (ali istog vidnog polja) i težine jer su fotomultiplikatori zamenjeni poluprovodničkim foto-diodama. Ipak, olovni kolimator ostaje nezamenjivi deo, što čini da gama kamera ne može da bude tipični portabilni uređaj.

(2) Evidentan je problem registrovanja gama zračenja širokog energetskog spektra, koji je posledica energetske neusklađenosti kolimatora. Visokoenergetski fotoni (za koje kolimator nije predviđen) penetriraju kroz septu između rupica na kolimatoru, što uzrokuje zamućenje rekonstruisane slike sloja.

(3) Postoji problem dekonvolucije amplitudskog spektra, kojom bi se pouzdano mogao ustanoviti broj registrovanih impulsa od pojedinih gama linija. Taj problem je vrlo teško rešiv, jer može postojati veliki broj rasejanja u objektu snimanja, kolimatoru i detektoru.

(4) Tomografska aplikacija iziskuje proces rekonstruisanja slika sloja. Klasične transformacione metode nisu najpogodnije, iako su to metode sa najmanjom količinom proračuna i slika sloja se dobija skoro trenutno i na računarima umerenih performnasi. Zato se primenjuju iterativni postupci, od kojih su najpoznatiji MLM [6] i OS-MLM [7].

(5) Atenuacija zračenja, u slučaju objekta snimanja od materijala koji ima izražene preseke za slabljenje snopa gama fotona, može negativno da utiče na sliku raspodele izvora zračenja. Na prevazilaženju ovog problema poslednjih godina se u svetu intenzivno radi.

MONTE KARLO SIMULACIJA

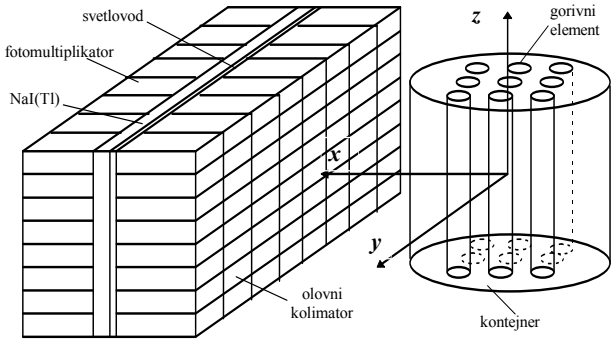
Do sada je simulacija snimanja gama kamerom vršena programskim paketima MCNP [8] ili EGS4 [9], koji su kombinovani sa posebnim programskim modulima za analizu transporta fotona kroz kolimator, kao što je SimSPECT. Rezultati analiza prikazani u ovom radu su dobijeni originalno razvijenim programskim paketom C_SPECT [10] koji obuhvata Monte Karlo simulaciju transporta gama fotona kroz objekat snimanja, kolimator i detektor gama kamere. Transport fotona kroz objekat snimanja tretira se sa MCNP, a transport fotona kroz kolimator posebnim programskim blokom koji koristi filtrirani izlaz PTRAC MCNP programa. Izbegnuta je detaljna analiza transporta kroz kolimator, već se samo konstatuje da li foton prolazi ili ne prolazi kroz otvore na njemu, zanemarujući penetraciju kroz septu. Doprinos rezultatu simulacije daje svaki foton koji umiče iz objekta

i dopire do detektora. Projekcije za sve uglove snimanja se formiraju u jednom koraku. Algoritam prostornog određivanja lokacije interakcije u kameri i energetska rezolucija gama kamere modelovani su inverznim Gausovim funkcijama unapred zadanih devijacija. Program omogućava akviziciju podataka u proizvoljnom broju energetskih kanala.

REZULTATI SIMULACIJE

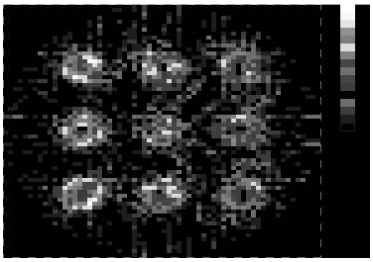
Model kontejnera sa radioaktivnim materijalom (tzv. „fantom“) i merno-akvizicionog sistema prikazan je na slici 1. Kontejner je cilindričnog oblika radijusa 16 cm, visine 40 cm, sa zidom debljine 2mm, a u njemu se nalazi 9 gorivnih elemenata od 80% obogaćenog uranijuma dispergovanog u aluminijumu. Gorivni elementi su radijusa 17.5 mm i raspoređeni su u pravilnoj kvadratnoj rešetki koraka 8 cm. Između gorivnih elemenata je vazduh.

Pretpostavljeno je da se snimanje obavlja u 40 projekcija gama kamerom koja rotira oko aksijalne ose kontejnera u punom uglu. Prihvataju se samo impulsi koji potiču od fotona energije (662±60) keV.



Slika 1. Geometrijski model sistema

Izgled rekonstruisanog transverzalnog sloja na visini z = 0.25 cm od polovine visine kontejnera dat je na slici 2. Rekonstrukcija iz projekcija je realizovana metodom projektovanja unazad (CBP) [11] sa rezolucijom od 64 x 64 piksela (piksel: 0.5 x 0.5 cm).



Slika 2. Rekonstruisana slika transverzalnog sloja ispitivanog objekta

ZAKLJUČAK

Osnovna prednost opisanog postupka je mogućnost inspekcije bez otvaranja kontejnera. Na snimku se dobija tačna lokacija radioaktivnog materijala u više desetina slojeva sa rezolucijom od nekoliko milimetara. Može se dobiti slika sloja sasvim proizvoljne orijentacije (pa i oblika zakrivljene površine), i 3D slika. Nedostatak je mala efikasnost detekcije gama fotona (zbog prisustva olovnog kolimatora koji funkcioniše na principu prostornog zasenčenja detektora), pa iziskuje relativno dugo vreme snimanja. U poslednje vreme razvija se Komptonova gama kamera, koja bi imala do dva reda veličine veću efikasnost detekcije, pa bi mogli da se vizualizuju i niskoaktivni materijali.

LITERATURA

[1] F. Levai, "Development of Computed Tomographic Methods for Verification of Nuclear Materials in Storage or in Closed Containers", Kernenergie, p. 2, Vol. 32, 1989

[2] F. Levai, S.Desi, S.Tarvainen, M.Arlt, "Detection of Missing Rods in a Spent BWR Fuel Assembly by Computed Gamma Emission Tomography", Nuclear Materials Management, Vol. 32, Proc. 32nt INMM conference, New Orleans, 1991

[3] F. Levai, "Neutron/gamma Tomographic Imaging Techniques", IAEA/SR-183/18, 1993

[4] G. W. Phillips, "Applications of Compton Imaging in Nuclear Waste Characterisation and Treaty Verification", U. S. Naval Research Laboratory, Washington, DC 20375

[5] L. E. Ussery, C. L. Hollas, "Design and Development of the Associated-particle Three-dimensional Imaging Technique", LA-12847-MS, October 1994

[6] B. M. W. Tsui, X. D. Zhao, E. C. Fray, G. T. Gullberg, "Comparison Between ML-EM and WLS-CG Algorithms for SPECT Image Reconstruction", IEEE Trans. on Nucl. Sci. Vol. 38, No. 6, December 1991

[7] H. M. Hudson, R. S. Larkin, "Accelerated Image Reconstruction Using Ordered Subsets of Projection data", IEEE Trans. on Medic. Imag. Vol. 13, No. 4, December 1994

[8] J. F. Briesmeister, "MCNP-A General Monte Carlo Code for Neutron and Photon Transport", LA-7398-M, Rev. 2, Manuel, September 1986

[9] W. R. Nelson, H. Hirayama, D. Rogers, "The EGS4 Code System", SLAC-256, 1985

[10] P. Marinković,"C_SPECT - kod za simulaciju SPECT sistema", Programoteka ETF, Beograd, 1998

[11] P. Marinković,"CBP - program za rekonstrukciju slike CBP metodom", Programoteka ETF, Beograd, 1996.

ABSTRACT

Analysis of possibility for nondestructive inspection of radwaste materials by using gamma camera and SPECT, based on Monte Carlo simulation, is analysed in this paper. Such a method of gamma camera application is topic of number of investigations. Advantages and disadvantages of this procedure, relative to other methods are analysed. After detail considerations it is concluded that successful nondestructive characterisation of containers with radwaste materials is possible by this method.

RADIONUCLIDIC PURITY OF CYCLOTRON-PRODUCED RADIOISOTOPES

J. Vučina, Lj. Vuksanović
Laboratory for Radioisotopes, Vinča Institute of Nuclear Sciences
Belgrade, Yugoslavia

ABSTRACT

Some essential remarks regarding the radionuclidic purity of cyclotron-produced radioisotopes are given. Discussed are the factors like the choice of nuclear reaction, beam energy, the composition of the target on the nature and content of radionuclidic impurities in the "organic" positron (^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F) and several most important photon emitters (^{111}In, ^{123}I and ^{201}Tl).

INTRODUCTION

Radionuclidic purity of a radioisotope is one of the most important parameters regarding its use in nuclear medicine. The presence of traces of other radioisotopes is undesirable not only because they can increase radiation exposure to an unacceptable level. By accumulation in definite organs and tissues they can also interfere with examinations with the desired radioisotope.

The nature of the radionuclidic impurities generally depends on the production route of the desired radioisotope. In the $^{99}Mo/^{99m}Tc$ generator based on $(n,\gamma)^{99}Mo$ they are mainly produced by neutron activation of impurities present in the target. When ^{99}Mo obtained by uranium fission is used the radionuclidic purity of ^{99m}Tc depends on the purity of ^{99}Mo and on the method of the separation applied in the generator. One of the advatages of the chromatographic generator is that alumina retains most of the radionuclidic impurities. In principle the end user of a radioisotope i.e.nuclear medical institutions usually do not have resources to monitor the radionuclidic purity particularly of short lived cyclotron radioisotopes. Therefore they rely on the producer who, on the other hand is aware that the user can influence the purity by not adhering to the operating instructions. Such case of divided responsibilities forces the manufacturer to maintain extremely high standards in the production and minimize the chance of errors of any kind. Factors influencing the radionuclidic purity of cyclotron-produced will be discussed in this paper.

GENERAL PRINCIPLES

The radionuclidic purity of a given radioisotope is usually defined as the "fraction of total radioactivity that is present as the specific radioisotope". By nature the

radionuclidic impurities can be isotopic or non-isotopic. Their half- lives can be longer or shorter than the desired radioisotope. So in the first case the ratio of a given radionuclidic impurity is increasing. Therefore the radionuclidic impurity "grows in". In the latter case the content of the given impurity is decreasing, i.e. it "decays out".

Cyclotron produced radioisotope are usually of short half life so that the content of radionuclidic impurities has to be referred to a definite time. It can be given at the end of bombardment (EOB) or at the end of chemical separation (EOCS).

They may arise from undesired nuclear reaction on the target isotope, on a non-target isotope or by some nuclear reaction in the target body particularly the window. The yield of the desired radioisotope and the impurities depends therefore on the proper choice of nuclear reaction, on the energy of the beam, the shape and material of the target body. Special attention must be paid to the purity and the isotopic composition of the target material. The choice of the sweep gas should also encountered.

In principle, for the routine production it is essential to adhere to the production protocol. The standardized process should be carried out and controlled in each step.

Production of short-lived positron emitters

Although a large number of positron emitters can be produced most of the PET studies to date are performed by using the short-lived "organic" $^{11}C(T_{1/2} = 20$ m), $^{13}N(T_{1/2} = 10$ m), $^{15}O(T_{1/2} = 2$ m) and $^{18}F(T_{1/2} = 110$ m).

Interesting are also $^{62}Cu(T_{1/2} = 9.7$ m), $^{68}Ga(T_{1/2} = 68$ m) and $^{82}Rb(T_{1/2} = 1.3$ m) which are obtained via generator systems.

For nuclear medical applications they are produced either as radioactive gases for the "on-line" clinical use or as primary precursors for the chemical syntheses of radiopharmaceuticals.

Targetry for the production of "organic" positron emitters should be considered very carefully taking into the account the yield, chemical form of the desired radioactive product and particularly the recovery, chemical reactivity and radionuclidic purity. Gaseous and liquid targets are used.

When the direct production of radioactive gases like ^{11}CO, $^{11}CO_2$, $^{13}N_2$ and $^{15}O_2$ is performed under controlled conditions the content of radionuclidic impurities is usually low. Produced are short-lived non-isotopic radionuclidic impurities and their content is generally below 1% [1].

Routine control of radionuclidic purity can be performed by analytical gas chromatography [2].

The production of primary precursors for chemical syntheses ($^{11}CO_2$, $^{11}CH_4$, $^{13}NO_3$, $^{18}F_2$, etc) also generates only non-isotopic impurities. They are usually eliminated during the purification of the final product.

For example ^{11}C is produced via the nuclear reaction $^{14}N(p,\alpha)^{11}C$. The non-isotopic impurity ^{13}N is formed by the competing nuclear reaction $^{14}N(p,pn)^{13}N$. The optimal energy range for the production of ^{11}C is $13 \rightarrow 3$ MeV. By comparison of the excitation functions of both reactions it can be seen that the content of ^{13}N will be small [1]. Similarly when ^{13}N is produced via the nuclear reaction $^{16}O(p,\alpha)^{13}N$ the target is water 99.99% enriched in ^{16}O to avoid ^{18}F formation by the nuclear reaction $^{18}O(p,n)^{18}F$. Interesting are also $^{62}Cu(T_{1/2} = 9.7$ m), $^{68}Ga(T_{1/2} = 68$ m) and $^{82}Rb(T_{1/2} = 1.3$ m) which are obtained via generator systems.

Photon emitters

A large number of γ-emitting radioisotopes produced by cyclotron are applied in the diagnostic nuclear medicine. The most commonly used are $^{67}Ga(T_{1/2} = 3.26\ d)$, $^{111}In(T_{1/2} = 2.8\ d)$, $^{123}I(T_{1/2} = 13.2\ h)$ and $^{201}Tl(T_{1/2} = 3.06\ d)$ [3].

Also in the production of these and a large number of other radioisotopes among already mentioned also the considerations regarding the radionuclidic purity of the produced radioisotopes and radiopharmaceuticals should be included.

Generally these radioisotopes are produced by nuclear reactions which demand the projectiles whose energies are much higher than those needed for the production of positron emitters. Thus the possibility for the production of radionuclidic impurities is much higher.

In this paper some remarks regarding the production of ^{123}I , ^{111}In and ^{201}Tl will be given.

The production of ^{123}I is interesting as it is a good example how the problem of radionuclidic purity is connected with the routine production.

Here a remark regarding the long-lived ^{131}I can be made. It was discovered by Livingood and Seaborg in 1938. The production was performed by bombarding tellurium with deuterons. However in the dependance on the energies available a mixture of iodines was obtained. Pure ^{131}I was obtained in the late 1940s by its separation from fission products.

For the production of ^{123}I about 25 nuclear reactions can be used but only several of them have a practical significance. They are shown in Table 1 together with the data regarding the content of isotopic radionuclidic impurities.

Table 1. Nuclear reactions for the production of ^{123}I and the content of radionuclidic impurities 30 hours after the end of bombardment

Nuclear reaction	Content of radionuclidic impurities (%)				
	^{124}I	^{125}I	^{126}I	^{130}I	^{131}I
a) Direct nuclear reactions					
$^{122}Te(d,n)^{123}I$	0.4	-	0.3	1.4	0.4
$^{123}Te(p,n)$	1.7				
$^{124}Te(p,2n)$	3.8				
b) Indirect nuclear reactions					
$^{124}Xe(p,2n)^{123}Cs \rightarrow ^{123}Xe$		<0.01			
$^{124}Xe(p,pn)^{123}Xe$		<0.01			
$^{127}I(p,5n)$		0.7			
$^{127}I(d,6n)$		0.2			

The first developed process was based on the direct nuclear reaction in which ^{123}I was obtained by bombarding tellurium with protons or deuterons. As it can be seen in Table 1 the problem is the high content of the contaminant ^{124}I ($T_{1/2} = 4.2$ d).

So the indirect reactions via the xenon precursor (^{123}Xe decays with electron capture to ^{123}I) were developed by using ^{127}I as the target. The advantage of these reactions is in avoiding the medically strongly disturbing ^{124}I ($T_{1/2} = 4.2$ d) since its hypothetical precursor ^{124}Xe is a stable nuclide. The disadvantage is however the presence of radiocontaminant ^{125}I ($T_{1/2} = 60$ d).

This problem was solved by the development of the production based on highly enriched ^{124}Xe which delivers ^{123}I with very high radionuclidic purity [4].
Radioisotopes ^{111}In and ^{201}Tl also contain different quantities of isotopic radionuclidic impurities in dependance on the chosen nuclear reaction.

^{111}In is usually obtained by bombarding the cadmium target and the isotopic radiocontaminant is $^{114m}In(T_{1/2} = 49.5$ d). Its content depends on nuclear reaction and target enrichment. For example by irradiation of natural cadmium via nuclear reaction Cd(p,n) the radionuclidic purity of ^{111}In is 97%. It is increased by using enriched targets. The content of ^{114m}In is only about 0.003% when the target 97% enriched in ^{112}Cd is used.

Thallium-201 can also be produced in a carrier-free form either directly through a nuclear reaction on Hg or indirectly via the decay of the precursor ^{201}Pb.

According to the direct method ^{201}Tl is contaminated by shorter-lived $^{198m}Tl(T_{1/2} = 1.9$ h), $^{198}Tl(T_{1/2} = 5.3$ h), $^{199}Tl(T_{1/2} = 7.4$ h) and $^{200}Tl(T_{1/2} = 26.1$ h) and longer-lived $^{202}Tl(T_{1/2} = 12.2$ d) and $^{204}Tl(T_{1/2} = 3.78$ y).

By the indirect nuclear reaction via ^{201}Pb ($T_{1/2} = 9.4$ h) radiocontaminants $^{200}Pb(T_{1/2} = 21.5$ h), $^{202m}Pb(T_{1/2} = 3.62$ h), $^{203}Pb(T_{1/2} = 52.1$ h) and $^{204m}Pb(T_{1/2} = 1.11$ h) are formed [5].

CONCLUSION

Radionuclidic purity of cyclotron-produced radioisotopes is an important parameters which can severely limit their use. The nature and the content of radionuclidic impurities depend on the proper selection of the nuclear reaction, the beam energy, purity and isotopc composition of the target material. In the production of “organic” positron emitters only short-lived isotopic radiocontaminants are formed. The longer-loved photon emitters could contain beside isotopic also some non-isotopic impurities.

REFERENCES

[1] Qaim, S.M., Clark, J.C., Crouzel, C., Guillaume, M., Helmeke, H.J., Nebeling, B., Pike, V.W., Stocklin, G., in Radiopharmaceuticals for positron emission tomography (Methodological aspects)(G.Stocklin and V.W.Pike eds.) Kluwer Academic Publishers (1993)

[2] Meyer, G., Some aspects of radioanalytical quality control of some cyclotron - produced short - lived radiopharmaceuticals, Radiochim.Acta, 30 (1982) 1750-188

[3] Stocklin, G., Qaim, S.M., Rosch, F., The impact of radioactivity on medicine, Radiochim.Acta, 70/71 (1995) 249-272

[4] Tarkanyi, F., Kovazs, Z., Qaim, S.M., Stocklin, G., Differential production yields of I-123 in proton and deuteron induced reactions on natural xenon, Radiochim.Acta, 47 (1989)25-27

[5] Qaim, S.M., Weinreich, R., Ollig, H., Production of ^{201}Tl and ^{203}Pb via proton induced nuclear reactions on natural thallium Int.J.Appl.Radiat.Isotopes, 30 (1979) 85-95

REZIME

Dati su podaci o radionuklidnoj čistoći nekih od najvažnijih ciklotronskih radioizotopa koji se koriste u nuklearnoj medicini. Prikazana je zavisnost radionuklidne čistoće od nuklearne reakcije, energije snopa i sastava mete kod „organskih“ pozitronskih emitera (^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F) i gama emitera ^{111}In, ^{123}I and ^{201}Tl.

RADIONUKLIDNA ČISTOĆA RADIOFARMACEUTIKA ^{201}TLCL

M. S. Jovanović, M. Orlić, S. Vranješ, T. Trtić, Lj. Vuksanović
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za radioizotope, Beograd

SADRŽAJ

U okviru fizičko-hemijskih ispitivanja radiofarmaceutika, a na osnovu farmakopejskih propisa, neophodno je ispitivanje radionuklidne čistoće. U ovom radu su prikazani propisi i metoda za ispitivanje radionuklidne čistoće radiofarmaceutika ^{201}TlCl. Radionuklidne nečistoće u ^{201}TlCl zavise od materijala mete i primenjene nuklearne reakcije. Za slučaj proizvodnje radiofarmaceutika ^{201}TlCl na akceleratorskoj instalaciji »Tesla«, najznačajnije nečistoće su: ^{202}Tl, ^{200}Tl i ^{203}Pb. Izvršeno je poređenje propisa najznačajnijih svetskih farmakopeja u pogledu sadržaja ovih nečistoća. Analizirana je primena gama spektrometrije kao najefikasnijeg metoda za merenje aktivnosti radionuklinih nečistoća.

UVOD

U nuklearnoj medicini ^{201}Tl se upotrebljava u obliku injekcionog rastvora ^{201}TlCl. Radiofarmaceutik ^{201}TlCl se u nuklearnoj kardiologiji u okviru miokardiografskih ispitivanja koristi za vizualizaciju funkcionalne miokardne mase, odnosno za ispitivanje perfuzije miokarda. Talijum-201 se transportuje u ćelije miokarda ATP-aznim natrijum kalijum transportnim sistemom slično kao i kalijum. Nakupljanje radiofarmaceutika u srčanom mišiću zavisi od protoka krvi i očuvanosti vijabilnosti miokarda[1,2], U novije vreme ^{201}TlCl se koristi i u nuklearnoj onkologiji za dijagnostiku karcinoma štitaste žlezde, dojke i pankreasa [3,4,5]. Primenu nalazi i u dijagnostici obolenja paratireoidnih žlezda.
U zakonu o proizvodnji i prometu lekova radiofarmaceutici su svrstani u grupu lekova, što znači da se zakonska regulativa koja se odnosi na proizvodnju i kontrolu lekova primenjuje i na radiofarmaceutike. Sva ispitivanja koja se po propisima farmakopeje primenjuju za ispitivanje kvaliteta lekova primenjuju se i za radiofarmaceutike. Ispitivanja kvaliteta radiofarmaceutika mogu se podeliti na fizičko-hemijska, biološka i mikrobiološka ispitivanja. U okviru fizičko-hemijskih ispitivanja radiofarmaceutika ima nekih specifičnih ispitivanja koja su prouzrokovana prisustvom radioizotopa, a koja se ne primenjuju kod konvencionalnih lekova. Jedno od takvih ispitivanja je ispitivanje radionuklidne čistoće.

U ovom radu su prikazani metod i propisi za ispitivanje radionuklidne čistoće radiofarmaceutika ^{201}TlCl.

RADIONUKLIDNA ČISTOĆA

Pojam radionuklidne čistoće vezuje se za prisustvo drugih radioizotopa pored onog željenog, koji se koristi za odgovarajuće nuklearno medicinsko ispitivanje. Po Evropskoj farmakopeji 1997 radionuklidna čistoća se definiše kao ″odnos (izražen u procentima) radioaktivnosti ispitivanog radioizotopa i ukupne radioaktivnosti izvora″[6]. Količina i vrste radionuklidnih nečistoća zavise od metoda proizvodnje radioizotopa i mogu da potiču od nečistoća materijala mete koja se koristi za nuklearne reakcije i produkata nuklearne reakcije. Prisustvo drugih radioizotopa je nepoželjno jer može nepotrebno da poveća ozračenost pacijenata. Zbog različitog biodistribucijskog puta eventualno prisutnih neželjenih radioizotopa može doći do pogrešne interpretacije scintigrafskih ispitivanja. Osim toga energije gama kvanata neželjenih radioizotopa razlikuju se od energije željenog radioizotopa što direktno utiče na kvalitet i oštrinu scintifotosa. Prilikom ispitivanja radionuklidnih nečistoća posebno su propisani strogi uslovi koji se odnose na prisustvo alfa emitera i dugoživećih radioizotopa koji imaju i dug biološki poluživot.

Talijum-201 se proizvodi na ciklotronu različitim nuklearnim reakcijama. Najčešće se koristi indirektna nuklearna reakcija kao u slučaju buduće proizvodnje na akceleratorskoj instalaciji „Tesla“ [9]:

$$^{203}Tl(p,3n)^{201}Pb \xrightarrow{EC\,(9{,}33h)} {}^{201}Tl$$

Optimalna energija upadnih protona je 20–30 MeV. Pored ove reakcije, dešavaju se i sledeće reakcije:

$$^{203}Tl(p,n)^{203}Pb \xrightarrow{51{,}9\,\mathrm{h}} {}^{203}Tl$$

$$^{203}Tl(p,2n)^{202m}Pb \xrightarrow{3{,}53\,\mathrm{h}\,(9{,}5\,\%)} {}^{202}Tl \xrightarrow{12{,}23d} {}^{202}Hg$$

$$^{203}Tl(p,2n)^{202m}Pb \xrightarrow{3{,}53\,h\,(90{,}5\%)} {}^{202}Pb \xrightarrow{5{,}25\cdot 10^{4}\,a} {}^{202}Tl$$

$$^{203}Tl(p,4n)^{200}Pb \xrightarrow{21{,}5\,\mathrm{h}} {}^{200}Tl$$

kojima se stvaraju drugi neželjeni izotopi talijuma i olova.

Talijum obogaćen izotopom ^{203}Tl uvek sadrži odredjeni procenat ^{205}Tl. Obično je sadržaj ^{203}Tl oko 98 - 99 %. Stoga na pojavu radionuklidnih nečistoća utiču i sledeće nuklearne reakcije:

$$^{205}Tl(p,3n)^{203}Pb \xrightarrow{51{,}9h} {}^{203}Tl$$

$$^{205}Tl(p,4n)^{202m}Pb \xrightarrow{3{,}53\,\mathrm{h}\,(9{,}5\%)} {}^{202}Tl$$

$$^{205}Tl(p,4n)^{202m}Pb \xrightarrow{3.53\,h\,(90{,}5\%)} {}^{202}Pb \xrightarrow{5{,}25\cdot 10^{4}\,a} {}^{202}Tl$$

$$^{205}Tl(p,5n)^{201}Pb \xrightarrow{9{,}4\,\mathrm{h}} {}^{201}Tl$$

$$^{205}Tl(p,6n)^{200}Pb \xrightarrow{21{,}5\,\mathrm{h}} {}^{200}Tl$$

Nakon ozračivanja, meta se prebacuje u vruću ćeliju gde se prvo kiselinama rastvara sloj talijuma sa tela mete. Posle toga se vrši prva radiohemijska separacija nastalog

^{201}Pb od ^{203}Tl. Nakon što aktivnost ^{201}Tl dostigne maksimalnu vrednost, vrši se radiohemijska separacija ^{201}Tl od još neraspadnutog ^{201}Pb. Potom se ^{201}Tl prevodi u formu ^{201}TlCl, koji se steriliše i distribuira korisnicima.

Na osnovu ovih reakcija vidi se da se u radiofarmaceutiku ^{201}TlCl mogu naći različiti radioizotopi talijuma i olova kao radionuklidne nečistoće.

Različite svetske farmakopeje imaju različite propise kojima se odredjuju prisustvo i dozvoljene granice za različite radioizotope talijuma i olova kao radionuklidnih nečistoća u radiofarmaceutiku^{201}TlCl. U tabeli 1 prikazane su dozvoljene aktivnosti izražene u procentima za ^{201}Tl i najvažnije radionuklidne nečistoće po Britanskoj (BP93), Evropskoj (Ph.Eur.1997) i Američkoj (USP23) farmakopeji.

Tabela 1. Radionuklidna čistoća radiofarmaceutika ^{201}TlCl po propisima najvažnijih svetski farmakopeja [6,7,8]

Radio-izotop	$T_{1/2}$	Energija gama kvanata, keV	Farmakopeja		
			BP93	Ph.Eur.1997	USP23
^{201}Tl	72.9 h	69, 83, 135, 166, 167	≥ 97 %	≥ 97 %	≥ 95 %
^{202}Tl	12.23 d	440	≤ 2 %	≤ 2 %	≤ 2.7 %
^{200}Tl	26.16 h	368,579,828,1206	-	-	≤ 2 %
^{203}Pb	51.9 h	279	-	-	≤ 0.3 %

Najčešće korišćeni metod za odredjivanje radionuklidne čistoće je gama spektrometrija. Ovo ispitivanje obavlja se na gama spektrometru sa poluprovodničkim detektorom propisno kalibrisanom po energiji i po efikasnosti. Geometrija kalibracije po efikasnosti treba da odgovara pakovanju rastvora ^{201}TlCl. U toku merenja ispitivani rastvor u standardnoj bočici stavlja se direktno na detektor. Danas se kao standardni koristi HPGe poluprovodnički detktori (germanijumski detektori visoke čistoće).

ZAKLJUČAK

Po propisima farmakopeja u okviru ispitivanja kvaliteta radiofarmaceutika ^{201}TlCl neophodno je ispitivanje radionuklidne čistoće. Propisi Britanske i Evropske farmakopeje su identični i u pogledu zahteva strožiji od Američke jer predviđaju veći sadržaj izotopa ^{201}Tl (97% prema 95%), a manji izotopa ^{202}Tl (2% prema 2.7%). Granice za izotope ^{200}Tl i ^{203}Pb nisu date, ali prema zahtevima za izotope ^{201}Tl i ^{202}Tl, njihov ukupni sadržaj ne bi smeo da bude veći od 1%. Poštujući zahteve farmakopeja u pogledu prisustva radionuklidnih nečistoća izbegava se nepotrebno ozračivanje pacijenata i medicinskog osoblja, a kvalitet dijagnostičkih ispitivanja se povećava.

LITERATURA

[1] Deutsch E., at al: Cationic Tc-99m complexes as potential myocardial imaging agents. J Nucl Med 22, 897-907, 1971.

[2] Nuklearna medicina (urednici: R.Borota, Lj.Stefanović), Medicinski fakultet, Novi Sad, 1992.

[3] Burman K.D., at al: Management of patients with tyroid carcinoma: Application of thallium-201 scintigraphy and magnetic resonance imaging. J Nucl Med 31, 1958-1964, 1990.

[4] Cimitan M., at al: The use of thallium-201 in the preoperative detection of breast cancer: an adjunct to mammography and ultrasonography. Eur J Nucl Med 22, 1110-1117, 1995.

[5] Suga K., at al: Thallium-201 SPECT and technetium-99m-phytate subtratction liver imaging in the evaluation of pancreatic cancers. J Nucl Med 36, 762-770, 1995.
[6] European pharmacopoeia, third edition, 1997.
[7] British pharmacopoeia BP93
[8] USA pharmacopoeia USP23
[9] Vuksanović Lj. i ost., Konceptualni projekt proizvodnje radiofarmaceutika ^{201}TlCl, INN Vinča, 1999.

ABSTRACT

RADIONUCLIDIC PURITY OF THE RADIOPHARMACEUTICALS ^{201}TlCl

M. S. Jovanović, M. Orlić, S. Vranješ, T. Trtić, Lj. Vuksanović
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

Physical and chemical characterisation of radiopharmaceuticals requires radionuclidic purity determination. In this paper the regulation and measuring methods for radionuclidic purity of ^{201}TlCl radiopharmaceutical have been presented. The type and content of radionuclide impurity in ^{201}TlCl depends target material and appropriate nuclear reaction. In the case of ^{201}TlCl production at Accelerator installation "Tesla", the most important impurities are ^{202}Tl, ^{200}Tl i ^{203}Pb. The most significant pharmacopoeia in the world are compared concerning this impurities. Gamma spectrometry application for measurement the content of this impurities is analized.

UTICAJ DIJAGNOSTIČKIH ELEMENATA DUŽ TRANSPORTNIH LINIJA SNOPA NA DIZAJNIRANJE ZAŠTITE OD ZRAČENJA NA AI TESLA

M. Orlić, J. Čomor, O. Čuknić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Postoji veliki broj uređaja koji se na akceleratorskim instalacijama rutinski upotrebljavaju za dijagnosticiranje i uobličavanje snopova ubrzanih naelektrisanih čestica. Neki od ovih uređaja permanentno zaustavljaju deo čestica formirajući snop određenog preseka (kolimatori, dijafragme) dok se drugi samo povremeno unose u snop da bi se dobile određene informacije o obliku ili struji snopa (Faradejev kavez, scintilatori, žičane mreže). Zbog niza nuklearnih reakcija koje se odigravaju u elementima ovih uređaja prilikom udara visokoenergetskih čestica oni su značajan izvor sekundarnog zračenja, o kojima se mora voditi računa prilikom dizajniranja zaštite od zračenja. Za predviđeni raspored ovih uređaja na Akceleratorskoj instalaciji TESLA izračunata je jačina doze na kritičnim mestima i diskutovan njihov doprinos ukupnoj dozi.

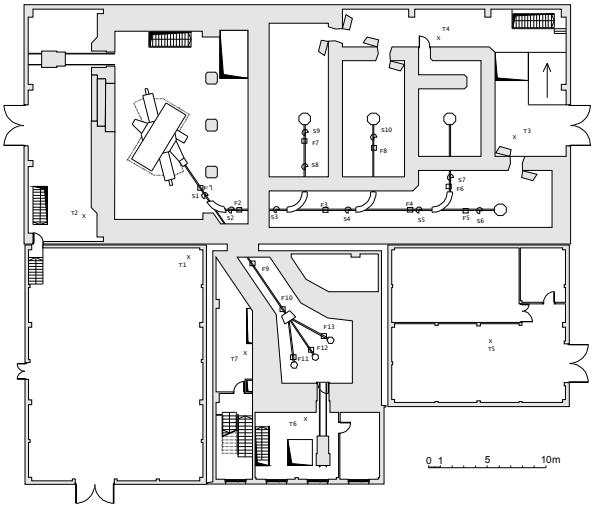
UVOD

Da bi se korisnicima akceleratora obezbedili snopovi ubrzanih čestica potrebnog kvaliteta, duž transportnih linija snopova postavljaju se različiti dijagnostički uređaji čija je namena formiranje snopa određenog oblika i struje, ili/i pružanje informacija o karakteristikama snopa. Zbog uzajamnog elektrostatičkog odbijanja čestica, snopovi neprestano divergiraju, što se kompenzuje postavljanjem magnetskih sočiva duž transportnih linija. Medjutim, često je poprečni presek snopa veći nego što korisnicima odgovara i u tim slučajevima se deo snopa odseca postavljanjem kolimatora ili dijafragmi u osu snopa. Ne retko se na kolimisanju snopa permanentno gubi 10-15 % ukupne struje snopa, te su ovi uređaji zbog nuklearnih reakcija koje se odigravaju pri sudaru visokoenergetskih čestica sa konstrukcionim elementima, ozbiljni izvori jonizujućeg zračenja.

Pouzdana informacija o obliku i ukupnoj struji snopa može se dobiti samo unošenjem određenih dijagnostičkih uređaja u sam snop, što rezultuje njegovim slabljenjem ili potpunim zaustavljanjem. Zbog toga se ovi uređaji upotrebljavaju samo povremeno u toku rada, najčešće prilikom pripreme snopa. Unošenjem žičanih mrežica dobija se informacija o obliku snopa uz gubitke od 5-10 %, dok se unošenjem različitih scintilatora potpuno zaustavlja snop. Informacija koja je od najvećeg interesa za korisnike je ukupna struja snopa, koja se dobija presecanjem snopa Faradejevim kavezom. Ovi uređaji se takođe koriste u normalnim i udesnim situacijama da bi se privremeno zaustavio snop. Dugotrajan

prekid snopa se ostvaruje na niskoenergetskim delovima instalacije (pre akceleratora) da bi se izbegla nepotrebna aktivacija materijala od kojih su izgrađeni delovi Faradejevog kaveza izloženi snopu (tantal ili grafit).

Raspored dijagnostičkih elemenata na AI TESLA je prikazan na sl. 1.



Slika 1. Raspored dijagnostičkih elemenata na AIT.
Oznake: F – Faradejev kavez, S – kolimator ili drugi dijagnostički elemenat,
T – tačka gde se računa jačina doze

Na Faradejevim kavezima i kolimatorima se generiše više vrsta sekundarnih čestica. Za akceleratorske instalacije koje ubrzavaju teške naelektrisane čestice energije do 100 MeV, dominantno sekundarno zračenje predstavljaju brzi neutroni. Uticaj gama zračenja manji je od 10 % [1], pa se proračun debljine zaštitnih zidova radi samo za slučaj brzih neutrona. U spektru brzih neutrona neznatan je uticaj onih energije preko 20 MeV.

TEORIJA

Jačina ekvivalentne doze od tačkastog izvora brzih neutrona iza zaštinih zidova izračunava se na više načina [1,3]: empirijski, semiempirijski i metodom Monte Karlo. U ovom radu korišćen je empirijski metod iz dva razloga: najednostavniji je za proračun i postoje najpouzdaniji podaci. U ovom slučaju jačine ekvivalentne doze od tačkastog izvora brzih neutrona iza ekrana $\dot{H}$ (μSv/h) data je izrazom [2]

$$\dot{H} = J \frac{H_0}{R^2} e^{-\frac{x}{\lambda_{eff}}}$$

gde je J - struja gubitaka (čestica/h); R - rastojanje (m) od izvora do tačke u kojoj se računa jačine doze; x - debljina zaštitnog ekrana (g/cm^2); H_0 – efektivna doza na 1 m i za

nultu debljinu štita (Sv·m^2/proton); λ_{eff}-efektivna dužina slabljenja neutrona u zaštitnom ekranu (g/cm^2).

Tabela 1. Parametri empirijske formule za bakar

Parametar	Ugao		
	0-30^0	30-60^0	90^0
H_0 (Sv·m^2/ proton)	$1.52 \cdot 10^{-15}$	$0.38 \cdot 10^{-15}$	$1.4 \cdot 10^{-17}$
λ_{eff} (g/cm^2 u betonu)	56	48	40

Ova formula daje najbolje rezultate samo za ekrane debljine 1-5 m[3]. U empirijskoj formuli koriš-ćeni su ulazni parametri dati u tabeli 1 [2]. Ukoliko se radi o meti od drugog materijala mora se uvesti korekcija za H_0. Za Pb-Ta mete ona iznosi 1.7 [3].

REZULTATI

Na AIT koristiće se više vrsta snopova naelektrisanih čestica. Sa stanovišta zaštite najveću opasnost predstavljaju deuteroni pri nižim energijama i protoni pri višim energijama. U tabeli 2. date su vrednosti struja i energija ovih čestica na AIT.

Tabela 2. Karakteristike nekih snopova na AIT

Čestica/jon	Enerija, MeV/nukleon	Struja snopa, μA
p	66	2
p	11-16	60
p	22-36	40
d	43-73	20

Tabela 3. Jačina ekvivalentne neutronske doze $\dot{H}$ u reprezentativnim tačkama

Tačka	Izvor	R, m	x, cm	$\dot{H}$, μSv/h	Tačka	Izvor	R, m	x, cm	$\dot{H}$, μSv/h
T1	F1	5	200	65.019	T4	F8	10	375	0.003
T1	S1	5	200	6.502	T4	S10	10	375	0.000
T1	F2	5	250	0.018	T5	F13	6	250	3.904
T1	S2	5	250	0.002	T5	F5	10	175	0.367
T1	F9	5	250	0.018	T5	S6	10	175	0.037
T2	F1	10	175	0.367	T6	F11	6	250	89.740
T2	S1	10	175	0.037	T6	F12	6.5	250	3.327
T2	F2	12.5	150	1.020	T6	F13	7	250	0.009
T2	S2	12.5	150	0.102	T7	F9	2.5	170	7.878
T3	F5	6	170	196.131	T7	F10	3.75	175	2.610
T3	F6	7	170	9.755	T7	F11	6	200	0.235
T3	S6	6	225	19.613	T7	F12	6.5	225	0.046
T3	S7	7	225	0.975	T7	F13	7	250	0.009
T4	F6	15	375	0.076					
T4	S7	15	375	0.008					

Zbog veće pouzdanosti podataka, proračuni su uradjeni za protone. Najgori slučaj su protoni najvećih energija (66 MeV). Uzima se da je struja gubitaka 100% u Faradejevim kavezima, odnosno 10 % u kolimatorima. Dobijeni rezultati su u tabeli 3.

Tačke iznad i ispod dijagnostičkih i elemenata za zaustavljanje snopa imaju zaštitu od 2 m betona i nalaze se pod uglom od 90^0 u odnosu na snop. Proračuni pokazuju da vrednost jačine doze ne prelaze nekoliko mikro siverta na čas.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati pokazuju da jačine ekvivalentne doze u pojedinim tačkama kao posledica dijagnostikovanja ili zaustavljanja snopa naelektrisanih čestica mogu biti značajne: za Faradejeve kaveze i više stotina μSv/h, a za ostale dijagnostičke elemente do 20 μSV/h. S obzirom na kratko trajanje operacija zaustavljanja i dignostikovanja snopova ukupan doprinos ekvivalentnoj dozi neće biti značajan. Međutim, ovo ukazuje na neophodnost odgovarajuće signalizacije u prostorijama gde je računata jačina doze neposredno pre dijagnostikovanja ili zaustavljanja snopa.

LITERATURA

[1] М. М. Комочков, Б .Н. Лебедев, Практическое руководство по радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц, Москва, Енергоатомиздат, 1986.

[2] N. Brassart, J. Tuyn, J. Herault, P. Chauvel, Aspect spécifiques de la radioprotection autour d'un cyclotron, Radioprotection, Vol.30, No.3, pp 411-422 (1995).

[3] Radiological safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators, Technical Reports Series No.283, IAEA, Vienna, 1988.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF THE LAY-OUT OF BEAM DIAGNOSTIC ELEMENTS ON THE SHIELDING DESIGN AT THE TESLA ACCELERATOR INSTALLATION

M. Orlić, J. Čomor, O. Čuknić
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

A number of devices are routinely used for collimation and beam diagnostics at accelerator installations. Some of them permanently cuts-off parts of the accelerated particles forming a distinct beam shape (slits and diaphragms). Others are used from time to time to give information on beam shape or current by intercepting the beam (Faraday cups, scintillators, wire grids). Due to a number of nuclear reactions resulted by the interaction of energetic particles with matter, these devices are strong sources of ionizing radiation and they must be considered in the shielding design procedure. The fast neutron equivalent dose rate is calculated for a certain lay-out of beam diagnostic elements at the TESLA Accelerator Installation and their contribution to the equivalent dose is discussed.

DOZIMETRIJSKA KONTROLA RENDGEN APARATA ZA PREGLED PRTLJAGA I PISMONOSNIH POŠILJKI BALTOBLOC SPO (BALTOBLOK) 200KV/3MA-YU

G. Kolarević
Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu, Beograd

SADRŽAJ

U radu su opisane osnovne karakteristike, princip rada i dozimetrijska kontrola polja x zračenja rendgen aparata za pregled prtljaga i pismonosnih pošiljki Baltoblok 200/3-Yu proizvedenog u Belgijskoj firmi BALTEAU.

UVOD

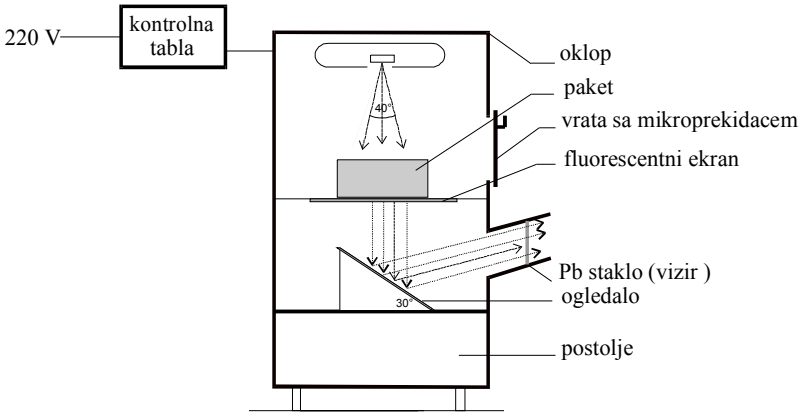
Rendgenološka kontrola predstavlja najznačajniju metodu u kontradiverzionoj zaštiti (otkrivanju eksplozivnih naprava, oružja,…). Prednost metode je u tome što se unutrašnjost sadržaja pošiljke fizički ne narušava i ne ostavlja tragove na istoj. Iz navedenih razloga službe bezbednosti koriste rendgen aparate za kontrolu pismonosnih pošiljki i paketa pre uručenja primaocu. Pregled može biti radiografski ili radioskopski.

TEHNIČKI PODACI BALTOBLOKA 200/3-Yu

napajanje: 220 V, 50 Hz, mrežni priključak- monofazni;
masa rendgen aparata sa postoljem: 300 + 20 kg;
dimenzije rendgen aparata: 0.53 x 0.92 x 1.36 m (sa postoljem: 0.53 x 0.92 x 1.86 m);
maksimalne dimenzije pregledanog predmeta: 0.46 x 0.43 x 0.36 m;
visoki napon rendgenske cevi: 30 - 200 kV;
maksimalna struja rendgenske cevi je 3 mA;
hladjenje anode: uljem i vazduhom;
berilijumski prozor;
dimenzije žiže: 2.2 x 2.2 mm;
sigurnosno kolo u slučaju pregrejavanja;
masa rendgenske cevi: 40 kg;
ugaona širina snopa je 40° sa osom na dole;
vreme ekspozicije: do 10 min;
zaštita od x zraćenja: olovne ploče 4 - 6 mm;
vizir od olovnog stakla: A DIN / 1111 / 5 mm Pb / 110 kV / S;
fluorescentni ekran: dimenzija 30 x 40 cm.

KONCEPCIJA APARATA

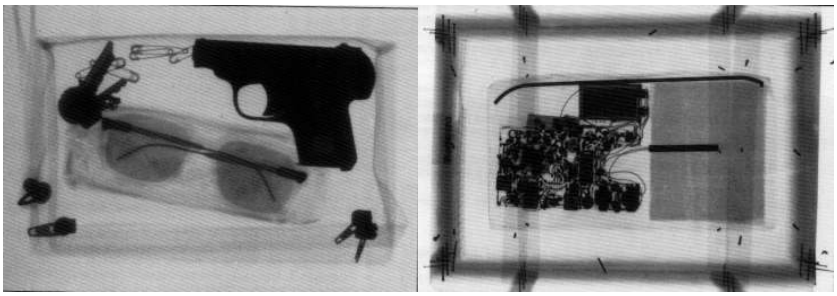
Baltoblok 200/3-Yu spada u grupu stacioniranih rendgen aparata sa kontinualnim generisanjem snopa x zračenja. Rendgenski snop prodire kroz predmet i u zavisnosti od gustine sastavnih delova istog, on se u većoj ili manjoj meri apsorbuje u njemu tako da na fluorescentni ekran pada rendgensko zračenje različitog intenziteta (slika 1.) i pretvara u snop vidljive - 'zelene' svetlosti. Ispod njega se nalazi ogledalo pod uglom koje usmerava snop ka viziru. Na viziru dobijamo sliku 2 (radioskopska metoda). Uloga vizira je i da apsorbuje deo snopa x zračenja koji je prošao kroz fluorescentni ekran. Radiografska metoda se sastoji u postavljanju kasete sa filmom (za brzo razvijanje) ispod predmeta koji se posmatra i eksponiranja.



Slika 1. Principijelni presek Baltobloka 200/3-Yu

SPOLJAŠNJI IZGLED

Fotografija Baltobloka 200/3-Yu prikazana je na slici 3. Aparat je tako konstruisan da pruža zadovoljavajuću zaštitu od x zračenja. Vrata kroz koja se unose predmeti čija se sadržina proverava, snabdevena su mikroprekidačem koji onemogućava



Slika 2. Radioskopski prikaz

uključivanje aparata ako su ista otvorena. Kontrolna tabla je obično smeštena iznad vizira i radni parametri se zadaju preko nje (on-off, podešavanje radnog napona 30-200 kV, vreme ekspozicije 0-10 min, osigurači, svetlosni indikatori i fino podešavanje struje rendgenske cevi). Funkcija postolja je da omogući rad sa aparatom iz sedećeg položaja.

Slika 3. Baltoblok 200/3-Yu

DOZIMETRIJSKA KONTROLA

Kontrola polja jonizujućeg zračenja na svim spoljašnjim površinama Baltobloka 200/3-Yu izvršena je jonizacionom komorom Victoren 440RF/C. Na svim mernim mestima izmerene su jačine ekvivalentne doze do 1 μSv/h.

Izmerene jačine doza zadovoljavaju zahteve Pravilnika o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja (član 53). Prema ovom članu rendgen aparati za kontrolu robe, pismonosnih pošiljki, prtljaga i ličnih predmeta koji su smešteni na javnim mestima moraju imati zaštitno kućište koje obezbeđuje da na rastojanju 10 cm od bilo koje tačke na spoljnjoj površini kućišta ne sme se registrovati jačina ekvivalentne doze veća od 1 μSv/h, ako se emisija rendgenskog zračenja obavlja u kontinualnom režimu.

U oblasti namenjenoj za smeštaj predmeta čija se sadržina kontroliše, postavljane su sonde broj 633 i 228, Victoreen Condenser R-metra 570A, eksponirane i na taj način merene jačine ekspozicionih doza na 53 cm od fokusa. Izmerene doze su se kretale u intervalu: $0.34 \cdot 10^{-4}$ C/kg.s do $0.90 \cdot 10^{-4}$ C/kg.s u zavisnosti od konkretnog aparata (pri radnom naponu od 190 kV). Sva lica koja rukuju sa Baltoblokom 200/3-Yu redovno se snabdevaju ličnim TL dozimetrima (CaF_2:Mn). Dosadašnja očitavanja mesečnih apsorbovanih doza kretala su se do 0.01 mGy.

ZAKLJUČAK

Iz navedenog se može zaključiti da je rad sa opisanim rendgen aparatom u potpunosti bezbedan i da do ozračivanja lica koja rade sa njim ne može doći. Kod mnogih lica koja rade sa navedenim rendgen aparatom postoji neopravdani strah pri rukovanju koji je posledica isključivo nedovoljne obučenosti. Stoga je neophodno da lica koja rukuju sa njim budu odgovarajuće obučena i upoznata sa principom i načinom rada kao i sa merama zaštite od jonizujućeg zračenja. Zbog svoje konstrukcije aparat se ne može koristiti za brze i masovne preglede objekata.

LITERATURA

[1] Pravilnik o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uredjaja koji proizvode jonizujuća zračenja (Služben list SRJ, broj 32/98);
[2] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima (Službeni list SRJ, broj 32/98);
[3] Maintance and use handbook – Baltobloc SPO 200.

ABSTRACT

DOSIMETRIC CONTROL OF RENDGEN INSTRUMENT FOR LUGGAGE AND CONSIGNMENT SURVEY BALTOBLOC SPO 200kV/3mA-Yu

G. Kolarević
Institution of preventiv medical care, Belgrade

X-rays instrument Baltospot 200/3-Yu is intended for luggage and consignment survey. It is simple constructed, easy and reliable for manipulation. By dosimetry control is concluded that instrument is safe for using with regard to x-rays.

SOFTVERSKI PAKET ZA PRAĆENJE AKTIVNOSTI INDUSTRIJSKIH KOBALTNIH IZVORA

D. Đurić, P. Rakić[1], M. Aranđelović[1]
pp. VRH,
[1]INN „Vinča“

SADRŽAJ

U radu je prikazan softverski paket COBALT. Paket predstavlja alat koji treba da pomogne rukovaocu pogona za industrijsku sterilizaciju da izračuna trenutnu aktivnost radioaktivnog izvora. Pored ove osnovne funkcije paket omogućava praćenje kartoteke sa podacima o pojedinačnim kobaltnim punjenjima izvora. COBALT predstavlja savremeno orijentisani programski alat koji radi u WINDOWS okruženju i krajnje je korisnički orijentisan.

UVOD

U postupku odredjivanja dužine trajanja ozračivanja i blagovremenog obnavljanja izvora u pogonima za industrijsku sterilazaciju je od velike važnosti poznavanje tekuće aktivnosti kobaltnog izvora. Stoga je razvijen softverski paket COBALT, koji predstavlja automatizovano sredstvo za praćenje ukupne aktivnosti izvora. Paket omogućava jednostavno ažuriranje baze podataka o pojedinačnim punjenjima (dodavanje novih ili vađenje starih punjenja). Ovi podaci uključuju evidenciju o aktivnosti punjenja, kao i njihov fizički položaj u ramu izvora. Na osnovu ovih podataka COBALT pruža i vizuelnu predstavu o izgledu polja celokupnog izvora, što predstavlja dragocenu pomoć u određivanju rasporeda pojedinih punjenja u izvoru.

U odeljku 2 je data specifikacija softverskih zahteva za izradu paketa. U odeljku 3 je detaljno prikazan opis rada paketa COBALT. U okviru zaključka su između ostalog naznačeni i neki pravci mogućeg usavršavanja paketa.

SPECIFIKACIJA PROGRAMSKIH ZAHTEVA

Osnovna namena programskog paketa COBALT je praćenje tekuće aktivnosti kobaltnog punjenja u pogonima za industrijsku sterilizaciju. Programski paket COBALT treba da ispuni sledeće zahteve:

Računanje ukupne aktivnosti izvora određenog datuma.

Dodavanje novih punjenja u bazu podataka kobaltnog izvora

Evindetiranje punjenja čija je starost veća od 20 godina Brisanje podataka o punjenjima koja su izvađena iz izvora

Provera ovlašćenja rukovaoca za operacije dodavanja i vadjenja punjenja

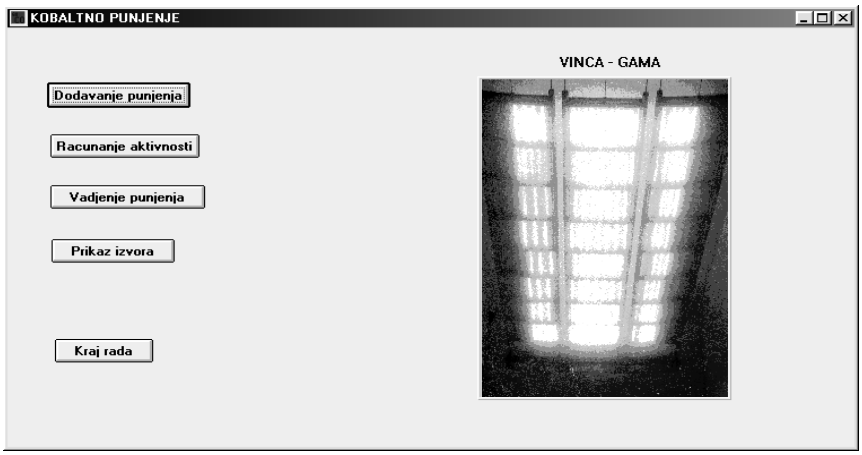
Grafički prikaz geometrije i trenutne aktivnosti izvora

Program treba da bude lak za korišćenje i da radi u grafičkom okruženju operativnog sistema WINDOWS.

U skladu sa gore navedenim zahtevima za razvoj programskog paketa COBALT odabran je programski jezik CVI, proizvođača National Instruments, [1]. Iako je osnovna namena jezika CVI razvoj aplikacija za upravljanje virtuelnom instrumentacijom, njegova podrška grafičkom interfejsu za WINDOWS radno okruženje, kao i lakoća i preciznost kojom se realizuju aplikacije su bili opredeljujući za njegov izbor.

OPIS PROGRAMSKOG PAKETA

Po aktiviranju programa COBALT korisniku se na raspolaganje stavlja glavni meni programa, čiji je izgled dat na slici 1.

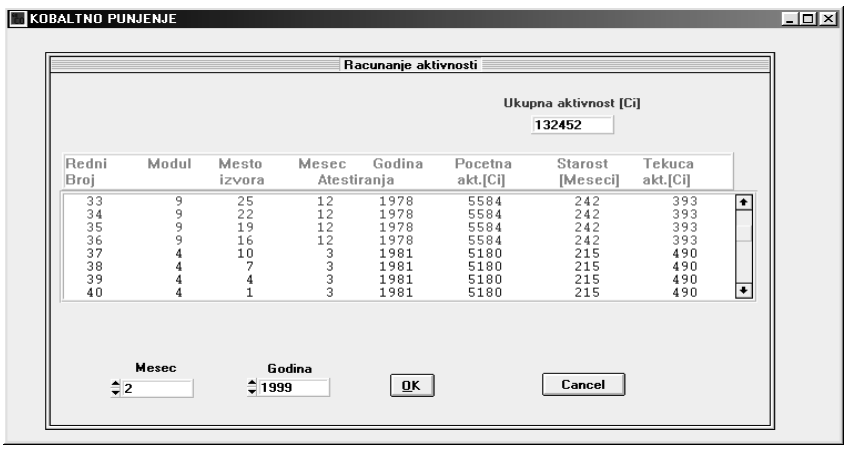


Slika 1. Glavni meni programa COBALT

Izborom opcije ¨Dodavanje punjenja¨, nakon provere unesene lozinke rukovaoca, otvara se u gornjem desnom delu ekrana prozor sa maskama za unos podataka o punjenju koje se dodaje. Ovi podaci uključuju mesec i godinu prvog atestiranja punjenja i odgovarajuću aktivnost [Ci]. Takodje je potrebno uneti i podatke o položaju punjenja u ramu izvora (redni broj modula od 1 do 12, i mesto izvora u tom modulu od 1 do 40). Nakon izbora opcije ¨OK¨ podaci o dodatom punjenju se unose u bazu podataka izvora. Izborom opcije ¨Računanje aktivnosti¨ otvara se prozor kao na slici 2.

Pre računanja aktivnosti je potrebno uneti podatke o mesecu i godini za koje se računa aktivnost izvora. Pri tome se inicijalno vrednosti meseca i godine postavljaju na tekuće vrednosti iz sistemskog časovnika računara. Izborom opcije ¨OK¨ program izračuva aktivnosti pojedinih punjenja prema, [2]

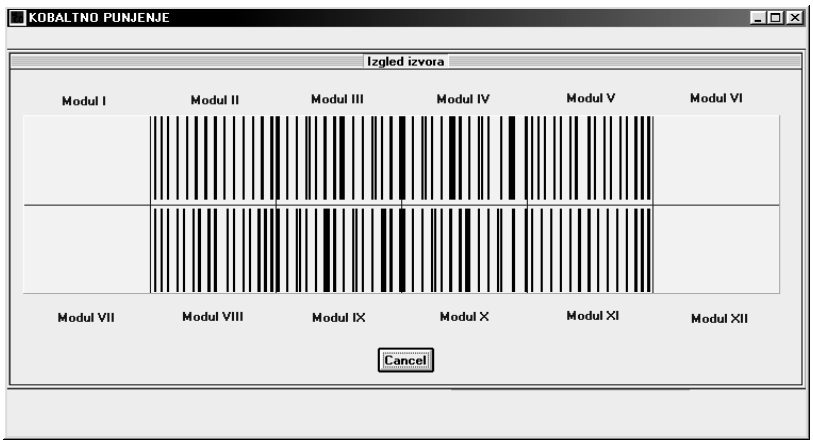
$$a_i = a_{i0} \cdot e^{-0.0109606 \cdot T}$$



Slika 2. Prozor ¨Računanje aktivnosti¨

gde su a_i tekuća aktivnost i-tog punjenja, a_{i0} njegova početna aktivnost, i T starost i-tog punjenja izražena u mesecima. Tekuće aktivnosti svih punjenja u izvoru se prikazuju u tabelarnoj formi. U posebnom polju se daje ukupna aktivnost izvora. Nakon završenog proračuna aktivnosti korisniku se nudi štampanje tabele sa rezultatima proračuna. Radi evidentiranja punjenja koja zastarevaju uvedeno je dvostruko označavanje i to: punjenja koja su napunila 19 godina starosti se u tabeli prikazuju zelenom bojom, a punjenja koja su napunila 20 godina starosti se prikazuju crvenom bojom. Sva ostala mlađa punjenja su označena plavom bojom.

Izborom opcije ¨Vađenje punjenja¨ otvara se prozor sa tabelarnim prikazom aktivnosti punjenja u izvoru, prethodno sračunatim izborom opcije ¨Računanje aktivnosti¨. Izbor punjenja koja će biti uklonjena iz izvora (odnosno baze podataka) se jednostavno vrši selekcijom pritiskom na levi taster miša na mestu odgovarajućeg punjenja. Izborom opcije ¨OK¨ se vrši definitvno uklanjanje podataka o punjenju iz baze.



Slika 3. Grafički prikaz aktivnosti izvora Radijacione jedinice ¨Gama¨

Osnovna namena funkcije ¨Prikaz izvora¨ glavnog menija je da se na pregledan način u vizuelnoj formi da raspored punjenja u ramu izvora, zajedno sa prikazom njihovih aktivnosti. Pri tome je boja pojedinih punjenja graduisana u skladu sa vrednošću aktivnosti nijansama plavog u rasponu od crnog (minimalna aktivnost) do belog (maksimalna aktivnost). Grafički prikaz stanja izvora Radijacione Jedinice „Gama“ u INN „Vinča“ sa stanjem u februaru 1999. je data na slici 3.

ZAKLJUČAK

U radu je dat opis programskog paketa COBALT za praćenje aktivnosti kobaltnih izvora u pogonima za industijsku sterilizaciju. Paket COBALT je krajnje korisnički orijentisan i omogućava jednostavno ažuriranje podataka o stanju izvora. Iako COBALT pruža vizuelnu predstavu o izgledu polja celokupnog izvora, usavršavanje paketa bi moglo da obuhvati trodimenzioni grafički prikaz polja izvora i automatsku optimizaciju rasporeda punjenja sa ciljem da polje bude što homogenije.

LITERATURA

[1] LabWindows/CVI, Programmer Reference Manual, June 1995., National Instruments Corp., Austin, USA.
[2] S. Glasstone, “Atomska energija”, Naučna Knjiga, Beograd, 1954.

ABSTRACT

In this paper software package COBALT is presented. The main purpose of the package is to help the operator of the unit for the industrial sterilization to have precise information of the cobalt source activity. Beside that, the package serves as an information system about particular loadings of the source. COBALT represents a modern oriented and user friendly software tool in the WINDOWS environment.

APARATURA ЗA KONTROLU RASTVARANJA OZRAČENE METE PRI PROIZVODNJI ^{201}TLCL

E. Karanfilov, M. Orlić, J. Vučina
INN „Vinča”, Laboratorija za radioizotope, Beograd

SADRŽAJ

Pri proizvodnji ^{201}TlCl u INN „Vinča“ jedna od faza je i rastvaranje ozračene mete. Za te potrebe realizovana je laboratorijska aparatura. Da ne bi došlo do rastvaranja substrata mete potrebna je kontrola završetka procesa rastvaranja samog talijuma.U radu je dat prikaz aparature sa kontrolom procesa baziranog na detekciji gama zračenja.

UVOD

Pri proizvodnji ^{201}TlCl u INN „Vinča“ jedna od faza je i rastvaranje ozračene mete. Za te potrebe realizovana je laboratorijska aparatura. Da ne bi došlo do rastvaranja substrata mete potrebna je kontrola završetka procesa rastvaranja samog talijuma.

Prema dostupnim literaturnim podacima postoji nekoliko načina rastvaranja materijala ozračene mete [1-6]. Postupci su rutinski te nisu detaljno definisani, a principijelno se mogu svesti na korišćenje nekoliko rastvarača kao što su HNO_3 [1-6] i H_2SO_4 [2-5]. U našem radu opredelili smo se za primenu H_2SO_4 kao rastvarača.

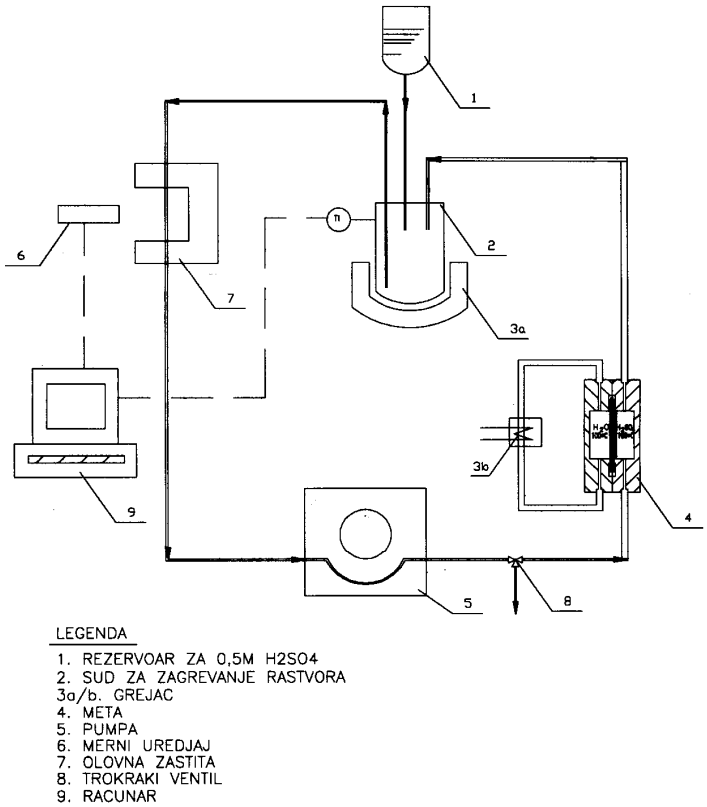
APARATURA I KONTROLA RASTVARANJA METE

Posle ozračivanja, meta sadrži relativno dugoživeće izotope olova ^{200,201,203}Pb, što uslovljava preduzimanje potrebnih mera zaštite tokom rada. Ozračena meta se rastvara u 20 ml 5M rastvora H_2SO_4. Rastvaranje traje oko 30 min. Temperatura, tokom postupka rastvaranja se održava na približno 100 ^{o}C. Na sl.1 prikazana je aparatura za rastvaranje materijala mete.

Meta se pomoću ručnog manipulatora sa odgovarajućim nastavkom unosi u vruću ćeliju, postavlja u ležište i fiksira.

Rastvor 5M H_2SO_4 se priprema i prebacuje u sud (1). Preko suda (1) se dozira u količini od oko 20 ml u sud (2). Sledi zagrevanje rastvora pomoću grejnog tela (3a). Da bi se sprečilo odavanje toplote na meti (4), potrebno je i nju održavati na istim temperaturnim uslovima. Ovo se postiže uvođenjem tople vode (3b), koja cirkuliše kroz otvore koji tokom ozračivanja služe za hlađenje mete. Prototip ovog uređaja prikazan je na sl.2. Po postizanju zahtevane temperature (100 ^{o}C), otvara se slavina na ulazu u metu, aktivira pumpa (5) i rastvor sumporne kiseline cirkuliše u smeru prikazanom na sl.1.

Tok i završetak procesa rastvaranja se prati preko mernog uređaja (6). Merenjem jačine doze na fiksnom rastojanju od rastvorene mete u zapremini tečnosti koja prolazi kroz cev obuhvaćenoj olovnom zaštitom (7), određuje se trenutak završetaka procesa. To se praktično ogleda u ulasku rezultata merenja jačine doze u zasićenje. Posredstvom računara, otvara se trokraki ventil (8) i rastvor se ispušta u prihvatni sud na modulu za sintezu ^{201}TlCl na dalji tretman. Ako dođe do spiranja srebrenog nosača mete, u rastvoru se pojavljuje radioizotop ^{107}Cd. Zbog malog prinosa gama linija i niske energije njegov uticaj na proces kontrole je zanemarljiv. Linije sa dominantnim prinosom imaju energije manje od 25 keV. Njihovo odsecanje se postiže zaštitnim zidom minimalnom debljine.

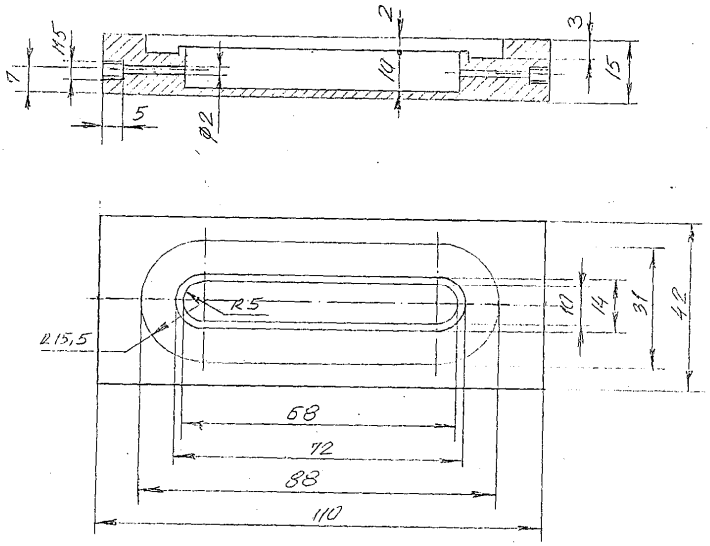


Slika 1. Aparatura za rastvaranje materijala mete

Po završenom procesu rastvaranja meta se odlaže na predviđeno mesto radi „hlađenja“.

Zbog potreba zaštite od zračenja ceo proces se odvija automatski uz kontrolu PC računarom. Koristi se standardni PC računar opremljen namenskom karticom koja ima AD ulaze i izlaze, kao i jedan ulaz za merenje frekvencije. Ulazni parametri za kontrolu procesa su: temperatura u tačkama 2 i 4 i jačina doze u tački 6 (srazmerna srednjem broju impulsa koje generiše odgovarajući detektor – GM brojač). Izlazni parametri su: signal za otvaranje

slavine (10), uključenje pumpe (5), otvaranje slavine (8) i uključenje-isključenje grejača 3a i 3b. Na ovaj način može da se kontroliše i protok pumpe.



Slika 2. Skica prototipa uređaja za rastvaranje meta - vertikalni i horizontalni presek. Dimenzije date u mm. Prototip je urađen od teflona.

ZAKLJUČAK

U aparaturi za rastvaranje ozračene mete nalazi se visoka aktivnost više radioizotopa. Stoga je potrebno proceniti radijacionu otpornost najizloženijih komponenti.

Od svih prisutnih radioizotopa najznačajniji su ^{201}Pb i ^{107}Cd. Meta se postavlja u plastično kućište što pre po završetku ozračivanja, odnosno transportu do Radiohemijske laboratorije. Tada se pristupa procesu njenog rastvaranja. Ovaj proces traje oko pola sata. U početku spiranja aktivnosti pomenutih radioizotopa su 23.3 GBq (6.3 Ci), i 18.5 GBq (5 Ci) respektivno. Na kraju spiranja ^{201}Pb praktično nestaje sa mete, dok kadmijum ostaje na meti za sve vreme izloženosti plastičnog kućišta.

U aproksimaciji površinskog izvora mete (gori slučaj) kružnog oblika, prečnika 8 mm, pri čemu je centar mete najmanje udaljen od plastike - oko 9 mm (sl.4.2), izračunata je doza u plastičnom kućištu numeričkom integracijom. Doprinosi ova tri radionuklida su: 0.1 odnosno 0.2 kGy. Ukupna doza po jednoj šarži iznosi oko 0.3 kGy. To je najveća doza u plastičnom kućištu. Na ostalim mestima ona se bitno smanjuje.

Radijaciona otpornost plastičnih masa iznosi preko 25 kGy, a teflona preko 1 kGy. To znači da se kućišta mogu koristiti višekratno.

Prema opisanom idejnom rešenju urađen je prototip aparature date na sl 1. Na osnovu dobijenih rezultata iz testiranja uređaja izvršiće se optimizacija procesa.

Eksperimentalnim putem će se utvrditi trenutak završetka procesa rastvaranja, merenjem radioaktivnosti koja treba da zadovolji istovremeno maksimalno rastvaranje mete sa jedne strane i minimalno rastvaranje srebrne podloge, sa druge.

LITERATURA

[1] M.Bonardi, Preparation of ^{201}Tl for medical use from ^{203}Tl enriched target, Radiochem.Radioanal.Letters 42-1-35-44 (1980)

[2] M.D.Kozlova, A.B.Malinin et all., New Method of ^{201}Tl Production from ^{203}Tl targets, Appl.Radiat.Isotop., Vol 38, No 12, pp 1090-1091, 1987.

[3] A.B.Malinin, M.D.Kozlova et all., Production of "No carrier-added" ^{201}Tl from ^{203}Tl targets, Appl.Radiat.Isotop., Vol 35, No 17 pp 685-687, 1984.

[4] A.Sterzov, Production Equipment for Radiochemical Separation of Tl-201 from Metalic Thallium Proton Irradiated Target

[5] Cz.Deptula, N.G.Zaitseva et al, Sorption Technique of Separation of ^{201}Tl from Proton-Irradiated Thallium, Isotopen Praxis 26, (1990) 10, pp.476-479.

[6] S.M.Qaim, R.Weinreich and H.Ollig, Production of ^{201}Tl and ^{203}Pb via Proton Induced Nuclear Reactions on Natural Thallium.

ABSTRACT

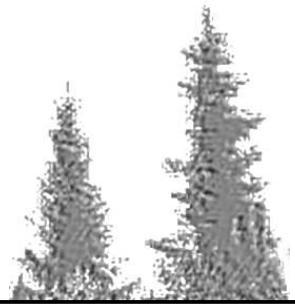
APPARATUS FOR THE DISSOLUTION OF THE IRRADIATED TARGET IN THE PRODUCTION OF ^{201}TlCl

E. Karanfilov, M. Orlić, J. Vučina
Institute of Nuclear Sciences Vinca, Belgrade

The first step in the production of ^{201}TlCl is dissolution of the irradiated target. The realised apparatus is shown. To prevent the dissolution of the target holder, the end of the thallium target should be preciselly determined. This is achieved by the detection of gamma radiation.

9

RADIOAKTIVNI OTPAD I DEKONTAMINACIJA



LASERSKO ZRAČENJE
PRIMENA KOD DEKONTAMINACIJE POVRŠINA

Š. S. Miljanić
Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu,
Insitut za nuklearne nauke „Vinča“

SADRŽAJ

Razmatraju se mogućnosti primene laserskog zračenja za dekontaminaciju površina metala. U prvom delu je objašnjen princip, koji se svodi na to da se ablacijom površine putem intenzivne i fokusirane laserske svetlosti sa nje otpari tanak sloj materijala, koji bi bio odnet strujom nekog gasa i deponovan na filteru. Dati su i neki od do sada postignutih rezultata. Odnose se na primenu impulsnog Nd:YAG lasera čija je energija sprovođena do objekta optičkim kablom. Razmotreni su takođe osnovi interakcije svetlosti sa površinama metala, što omogućuje da se predvide uslovi i način uspešne ablacije, sve to u kontekstu upotrebe ugljendioksidnog lasera. Ukazuje se da bi se razvojem ovog metoda ostvario niz prednosi: delovanje sa daljine bez kontakta sa objektom, čime se štite ljudi i oprema, sekundarni otpad se svodi na minimum, izbegava se upotreba agresivnih hemikalija u velikim količinama.

UVOD

Kontaminiranost nekog objekta radioaktivnim materijalom može predstavljati problem ne samo za njegovu dalju upotrebu ili upotrebu materijala od kojega je napravljen, već i u smislu odlaganja te radioaktivnosti, jer bi to zahtevalo velike zapremine odlagališta u odnosu na ukupnu količinu kontaminanta. Ovo je naročito važno za metalne površine koje su bile u dodiru sa radioaktivnošću, npr. sudovi, cevi, rezervoari itd. u nuklearnim postrojenjima, jer njihova dekontaminacija klasičnim metodama obično zahteva upotrebu agresivnih rastvarača u velikim količinama, što komplikuje postupak i uvećava sekundarni otpad.

Poslednjih godina se javljaju ideje da se za dekontaminaciju takvih površina koristi laserska energija, što bi moglo dovesti do razvoja sigurnih, preciznih i komercijalno prihvatljivih metoda odstranjivanja aktivnosti sa površina, bez izlaganja ljudi ili skupih uređaja kontaminaciji. Cilj ovoga rada je da ukaže na te mogućnosti, da predoči uslove koje treba zadovoljiti i predstavi potrebnu teorijsku osnovu, kao i da prikaže neke rezultate koji su do sada postignuti. Tih rezultata nema mnogo u dostupnoj literaturi, a ono što ima uglavnom potiče iz *Laboratorije Ames* u SAD, koja radi za Američko ministarstvo energije.

Prvenstveno se u navedenim ciljevima misli na dekontaminaciju metala, koji su s jedne strane najinteresantniji, jer takvih materijala najviše ima (kod npr. rekonstrukcije ili

dekomisioniranja nuklearnih postrojenja), a sa druge strane njihova dekontaminacija s laserima je delikatnija, jer oni, ponekad u dobroj meri, reflektuju njihovo zračenje.

Laseri su izvori elektromanetskog zračenja specifičnih svojstava u optičkom dijapazonu. Ta specifičnost potiče od načina na koji to zračenje nastaje. Laser je uređaj koji služi kao transformator date vrste energije u svetlost, te kao pojačavač te svetlosne energije. Radi na bazi tzv. stimulisane emisije u kvantnomehaničkom sistemu koji je inverzno naseljen.

Način nastajanja svetlosti izdvaja lasere od klasičnih izvora po sledećim svojstvima:

monohromatičnost visokog stepena, tj. emisija svetlosti na samo jednoj talasnoj dužini. Ako se ona definiše odnosom $\Delta\lambda/\lambda$, gde je λ - frekvencija centra trake izračene radijacije, $\Delta\lambda$ poluširina te trake, ona može dostići vrednosti i do 10^{-15},

velike spektarske gustine, tj. izrazito velike snage na datoj frekvenciji, koje za nekoliko redova veličine prevazilaze one kod klasičnih izvora,

usmerenost zraka. Divergencija laserskog zraka je veoma mala (nekoliko *mrad*, tj. nekiliko minuta do nekoliko desetina minuta), pa se ovo zračenje može smatrati za paralelno. To je važno za upotrebu lasera, jer omogućuje da im se zračenje efikasno koncentriše pomoću sočiva i time ostvare ogromne gustine snage po jedinici površine. Konvencionalni izvori zrače po celom prostornom uglu.

DEKONTAMINACIJA

Dekontaminacija u opštem smislu je postupak uklanjanja zagađujuće supstancije sa objekta na kojem je ova prisutna. Efikasnost dekontaminacije nekog objekta, dela površine i sl. se obično izražava putem tzv. faktora dekotaminacije, koji se definiše kao

$$FD = \frac{A_0}{A} \tag{1}$$

gde A_0 predstavlja ukupnu aktivnost objekta pre dekontaminacije, a A odgovarajuću aktivnost nakon obavljene dekontaminacije. Razume se da je metod dekontaminacije efikasniji ako su vrednosti ovoga faktora veće.

Dekontaminacija pomoću lasera - princip

Lasersko zračenje se može koristiti kao sredstvo za efikasno dekontaminiranje različitih materijala, npr. metala, zatim betonskih površina itd. Ovde ćemo obratiti pažnju samo na mogućnost dekontaminiranja površina metala, jer zagađeni metalni delovi po pravilu zauzimaju veliku zapreminu a u proseku su nisko radioaktivni. Kao primer se može navesti da komercijalna postrojenja u okviru američkog DOE (Department of Energy) imaju oko 500 000 m^3 nisko aktivnog metalnog otpada [1]. I pored male količine aktivnosti kojima su zagađene te količine metala su zarobljene za dalju upotrebu. Prema preporukama DOE aktivnost površine koja prevazilazi 50 raspada $min^{-1}cm^{-2}$ čini taj materijal neupotrebljivim, a za kontaminiranje tanke ploče (6 mm) površine 100 cm^2 potrebno je svega oko 0,2 μg ^{137}Cs.

Postoji, dakle, jak komercijalni interes da se razviju efikasne metode za oslobađanje ovakvih materijala za njihove nove upotrebe bez ograničenja. Tako npr. 90 000 tona metalnih materijala u okviru ORO vredi oko 100 miliona dolara.

Laserska dekontaminacija se nameće kao prihvatljiv metod jer donosi neke prednosti nad ostalim metodama. One se uglavnom ogledaju u tome (i) što se sekundarni otpad svodi na minimum, (ii) što se dobija mogućnost delovanja sa daljine i bez fizičkog kontakta sa obrađivanim materijalom, (iii) što je uz pomoć takvih tehnologija moguće eliminisati rastvarače itd. Ova oblast je tek u povoju, ali neka početna istraživanja ukazuju na značajne mogućnosti. Postoje različiti pristupi, zavisno od toga šta treba dekontaminirati i kakvi nam laseri stoje na raspolaganju, ali se oni, ako je reč o površinama uglavnom svode na *ablaciju*.

Ablacija je trenutno otparavanje tankog sloja materijala na površini putem intenzivnog laserskog zračenja koje je na nju upućeno. Ideja ovoga metoda je, dakle, veoma jednostavna: snop laserskog zračenja određene talasne dužine i dovoljne snage se uputi na površinu koja se dekontaminira a koja se nalazi u atmosferi nekog gasa. Da bi površina bila efikasno dekontaminirana dobro je da se sa nje ukloni ne samo sloj dekontaminanta već i sloj metala ispod njega u koji ovaj prvi može preći difuzijom.

Zračenje može biti fokusirano pomoću sočiva ili nefokusirano, ali u svakom slučaju takvo da se obezbedi odgovarajuća površinska gustina snage (W cm^{-2}), tj. iradijancija neophodna da izvrši trenutno isparavanje materijala sa površine bez njenog (nepotrebnog) zagrevanja ili topljenja. Taj efekat se može ostvariti samo ako je koncentracije snage iznad određene granice. U protivnom materijal će eventualno apsorbovati energiju bez znatnije erozije površine, ali uz intenzivno grejanje. Ispareni materijal ulazi u okružujuću atmosferu koja ga odnosi i eventualno deponuje na odgovarajućem filteru. Neka kvantitativna merila ovih mogućnosti će biti data dalje u ovom tekstu.

Postupak ablacije se može efikasno koristiti i kod hemijske dekontaminacije, kod eliminisanja premaza kao što su boje sa određenih površina, ali isto tako i u kozmetičke svrhe, kod "čišćenja" kože ili "zatezanja" lica, gde se laseri koriste skoro rutinski [2]

Uslovi koje treba zadovoljiti da bi se ostvarila efikasna ablacija su:

(i) da površina relativno dobro apsorbuje odabrano lasersko zračenje;

(ii) da je gustina snage dovoljna, tj. da na datu površinu energija pritiče dovoljno brzo, svakako brže nego što otiče u procesima koji konkurišu isparavanju (kao što je npr. odvođenje);

(iii) da površina dobije dovoljno enegije da se zagreje do tačke isparavanja i da ispari, u šta treba uračunati i tzv. latentnu toplotu isparavanja.

Metali po pravilu dobro reflektuju elektromagnetske talase u optičkom i infracrvenom dijapazonu i dobri su provodnici toplote. Obe ove činjenice defavorizuju upotrebu lasera, ali su druge prednosti dovoljno velike da ovaj metod u mnogim slučajevima čine privlačnim.

INTERAKCIJA SVETLOSTI SA POVRŠINOM METALA

Za svetlost optičkog, bliskog ultravioletnog i infrcrvenog dijapazona metal predstavlja neprozračnu sredinu. Njena interakcija sa metalnim površinama se odvija tako što upadni elektromagnetni talas interaguje sa elektronima u toj površini dovodeći do njihovog pobuđivanja. Pobuđeni elektroni mogu dovesti do reemisije te svetlsoti, što se zove odbijanje. Ako su elektroni u datom telu potpuno slobodni zračenje se potpuno odbija. Ako su delimično vezani dolazi do delimične apsorpcije koja je u srazmeri sa stepenom vezanosti. U toj meri dolazi i do zagrevanja površine. Sve se to odigrava u veoma tankom

sloju na površini. Pri zagrevanju površine iz nje mogu biti izbijene različite čestice: elektroni, joni, neutrali.

Odbijanje ili apsorpcija su jedini procesi koji se mogu desiti kod metala. Propuštanje ovde nije moguće, kao šro je to moguće sa zračenjem manjih talasnih dužina (X ili γ), ili sa zračenjem optičkog dijapazona u npr. gasovima ili tečnostima. Potrebno je dodati i da površine nikada nisu idealne i sasvim homogene. Nehomogenosti mogu biti *fizičke* (defekti kristalne rešetke), *hemijske* (prisustvo primesa) i *indukovane* (adsorpcija različitih materijala). Sve te nehomogenosti utiču na ponašanje površine u smislu apsorpcije svetlosti. Iz elementarnih kurseva je poznata definicija koeficijenta refleksije elektromagnetnog zračenja optičkog dijapazona od površine metala

$$R = \frac{Q_{refl}}{Q_{upad}} = 1 - \sqrt{\frac{2\omega}{\pi\sigma}} \tag{2}$$

gde je Q energija zračenja (odbijena odnosno upadna), $\omega = c/\lambda$ - frekvencija zračenja (c - brzina svetlosti, λ - talasna dužina), a σ - električna provodljivost metala.

Obično se vrednosti gornjeg koeficijenta definišu za uslove normalnog upada svetlosti na površinu koja je polirana. Te vrednosti su u oblasti 35% za npr. gvožđe koje je slab provodnik, do preko 95% za srebro, naravno sa varijacijama u zavisnosti od talasne dužine. U saglasnosti sa onim što je definisano energija koju data površina metala apsorbuje može se odrediti kao

$$Q_{aps} = (1 - R) \cdot Q_{upad} \tag{3}$$

Dalje, po *Bugerovom* zakonu energija zračenja prodirući u materijal duž određenog pravca (x) biva oslabljena do vrednosti $Q(x)$ prema odnosu

$$Q(x) = Q_0 \cdot e^{-\mu x} \tag{4}$$

gde je Q_0 energija "koja je na raspolaganju za apsorpciju", tj. onaj deo ukupne vrednosti Q_{upad} koji je preostao na ulazu u dati sloj nakon refleksije na tom sloju; μ - *koeficijent apsorpcije*, koji je funkcija *indeksa prelamanja* (n) i *indeksa apsorpcije* (κ) datog materijala

$$\mu = \frac{4\pi}{\lambda} n\kappa \tag{5}$$

Jasno je da se μ može dovesti u vezu i sa vrednošću R preko jednačina 3 i 4. Vrednosti proizvoda gornja dva indeksa za metale u razmatranoj oblasti spektra su reda $n\kappa \geq 1$. Ako se u kontekstu jednačine 5 to uzme u obzir onda sledi da će za dubine koje su reda veličine talasne dužine upadnog zračenja ($x \cong \lambda$) biti

$$\frac{Q(x)}{Q_0} = e^{-4\pi} \cong 10^{-6} \div 10^{-5} \tag{6}$$

Za manje dubine, npr. $x \approx 10^{-1} \bullet \lambda$, gornji odnos aktuelne enrgije na dubibi x i vrednosti Q_0 je približno 0,3. Dakle, praktično sva apsorpcija se obavi u tankom sloju na površini koji je reda dela talasne dužine upotrebljenog zračenja. Ako su te talasne dužine $0{,}2 < \lambda < 10$ μm onda su ti slojevi debeli od dela mikrona pa do oko 1 μm. Zato se interakcija svetlosti sa metalima može smatrati za površinsku pojavu. Kao dobra mera apsorpcije se obično uzima debljina sloja za koju je vrednost odnosa datog jednačinom (4) jednaka $1/e$, to je $x = \mu^{-1}$.

Da bi teorijski pristup mogućnostima ablacije laserom bio zaokružen u jednom opštem vidu neophodno je dati još dve formule koje govore o vrednosti apsorbovane energije i brzini apsorpcije

$$Q_{aps} = S \cdot x \cdot \rho \cdot c_v \cdot \Delta T \tag{7a}$$

$$\frac{Q_{aps} / S}{\tau} = \chi \cdot \mu \cdot \Delta T \tag{7b}$$

gde je S - ozračena površina, ρ - gustina, c_v - toplotni kapacitet metala (J $g^{-1}K^{-1}$), ΔT - promena temperature površine, τ - vreme odvođenja toplote iz površinskog sloja, χ - toplotna provodljivost metala (J $cm^{-1}s^{-1}K^{-1}$). Jasno je da je brzina apsorpcije veća ako materijal ima veći koeficijent apsorpcije i veću toplotna provodljivost.

Dinamika ablacije

Prema jednačini 7b vreme odvođenja toplote iz površinskog sloja je za većinu metala veoma kratko, $\tau \sim 10^{-10}$-10^{-8} s. Iz toga se može proceniti da laseri čije trajanje impulsa je tog reda veličine mogu biti efikasni. U praksi se, pak, pokazuje da su efiksaniji impulsi mikrosekundnog nego nanosekundnog dijapazona, ako su uslovi u pogledu apsorpcije i iradijancije zadovoljeni. To ukazuje na složenost mehanizama iskorišćavanja apsorbovane energije u svrhu ablacije, na uticaj promena koje nastaju za vreme trajanja samog impulsa itd. To je svakako funkcija mehanizma apsorpcije svetlosti od strane elektrona u metalu i transfera te energije na kristalnu rešetku. Ovi mehanizmi su nedovoljno razjašnjeni.

Što se dinamike ablacije metalnih površina tiče, a to je veoma važno merilo efikasnosti uklanjanja materijala sa površine, ona je funkcija ne samo iradijancije, tj. gustine snage (F, W cm^{-2}), već svakako i *latentne toplote isparavanja* metala (L). Naime, pri malim iradijancijama, tj pri sporom priticanju energije, isparavanje materijala (ako uopšte ima dovoljno energije po cm^2 da do njega dođe) značajnije zavisi od toplotne provodljivosti metala nego od toplote isparavanja. Tako npr. pri niskim iraadijancijama bakar bi otparavao manje nego recimo čelik, jer je bolji povodnik toplote. Ako je pak snaga takva da energija pritiče brže nego što odlazi provođenjem (provođenje je glavni gubitak, izračivanje i drugi efekti su zanemarjivi) onda dominantnu ulogu počinje igrati latentna toplota isparavanja. Shodno tome u takvim uslovima bakar isparava brže nego čelik. Kritična vrednost F pri kojoj se smenjuju ova dva uticaja se može proceniti kao

$$F_{kr} \geq 2L\rho\sqrt{\frac{\chi}{t}} \tag{8}$$

gde je t vreme trajanja impulsa. Za laser milisekundnog impulsa tipične vrednosti F_{kr} su reda 1-10 MW cm^{-2}, što uopšte nije teško postići sa danas dostupnim laserima.

Gornje formule dozvoljavaju da se, ako se poznaju odgovarajući parametri, izračunaju apsorbovana energija, snaga koja je neophodna za otparavanje materijala sa površine itd., što će biti delom ilustrovano kasnije. Vrednosti tih koeficijenata za date talasne dužine se mogu naći u odgovarajućim priručnicima, i to uglavnom za polirane površine i sobnu temperaturu. Tako izračunata energija bi svakako predstavljala donju granicu apsorpcije, jer je ova u realnom slučaju uvek veća zahvaljujući dodatnim doprinosima koje ovaj račun ne uzima u obzir. To su: zaprljanost površine, oksidiranost površine koja je postojala ili je nastala u početnom stadijumu apsorpcije i povišena temperatura. Svaki od ovih uzroka pojedinačno može udvostručiti vrednosti apsorpcije. Uz

sve to, ako je površina nepolirana onda neravnine na njoj, krateri itd. mogu delovati kao mala crna tela u kojima višestepena refleksija uz delimičnu apsorpciju uvećava ukupni procenat apsorbovane svetlosti. Dodatno, apsorpcija na površini se može uvećati i presvlačenjem te površine pogodnim materijalom. Pogodnim, to znači takvim materijalom koji dobro apsorbuje zračenje, a na njegovu destrukciju odlazi prihvatljiv iznos upotrebljene energije, tako da se uveća efikasnost ukupnog procesa.

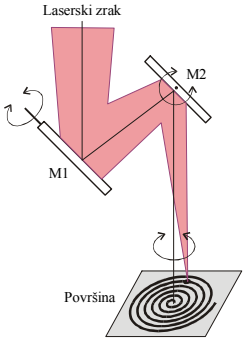
Dakle, pored toga što su metali po pravilu dobri reflektori svetlosti ipak je korišćenjem lasera moguće ostvariti značajnu apsorpciju na njihovim površinama i otparavanje materijala, ako se tome pristupi poznavajući zakonitosti procesa apsorpcije koji su ovde samo indicirani, a čiji se detalji mogu naći u odgovarajućoj literaturi [3].

Eksperimentalni pristupi

Na eksperimentalnom nivou čišćenje površina se obično izvodi tako što se ova "prebrisava" fokusiranim snopom lasera. Pri tome se ta površina može pokretati programiranom brzinom tako što će biti postavljena na *x-y* sto, a može biti i stacionarna, ali je onda neophodno da se snop svetlosti kreće.

Za fokusiranje snopa se mogu koristiti sočiva ili ogledala ili njihove kombinacije. Koriste se kako sferna tako i cilindrična sočiva. Prva omogućuju veće koncentracije snage, ali je sa njima, s obzirom da je kod njih žiža u jednoj tački, brzina ablacije mala. Sa drugima je moguće ostvariti veće brzine prebrisavanja površine, ali uz manju koncentraciju snage po jedinici površine, s obzirom da kod njih žižu predstavlja prava linija. Naravno, oni se mogu koristiti sa laserima koji imaju dovoljne snage, da bi na koncu konca svaka tačka dobila dovoljno energije po jedinici vremena da se ostvari ablacija.

Laseri mogu biti kontinualni ili impulsni. Površina koja se dekontaminira ne mora nužno biti u fokusu zraka, ali mora biti u takvom položaju da u pogledu iradijancije budu ispunjeni uslovi za ablaciju. Tako, ako se koriste impulsni laseri te uslove u prinicipu nije teško zadovoljiti, jer takvi laseri, bez obzira na relativno male energije koje emituju, imaju velike snage zahvaljujući kratkom trajanju impulsa.



Slika 1. Optički sistem za „prebrisavanje“ površine laserom

Kontinualni laseri imaju, po pravilu, veće prosečne snage, ali su njihove realne snage u datom momentu obično manje nego kod impulsnih, pa često i nedovoljne za efikasnu ablaciju. No, pod pretpostavkom da omogućuju dovoljno snage (W) sa njima se ablacija obavlja tako što se podesi da njihov zrak prebrisava površinu onom brzinom koja omogućuje da svaka tačka te površine bude "osvetljena" datom snagom onoliko dugo koliko je potrebno da se izvrši ablacija a da ne dođe do zagrevanja. Tako, dakle, svaka tačka dobija energiju u impulsima, pa je i ovde dejstvo lasera slično kao i u slučaju impulsnog lasera.

Da bi se ostvarilo efikasno pokrivanje cele površine impulsima laserske svetlosti neophodno je pokretati površinu, što se za sada češće koristi. Međutim, efiksanije bi bilo laserski zrak upravljati odgovarajućim optičkim sistemom, a površinu držati nepokretnom. Takav metod se dosta koristi kod primene lasera u kozmetičke svrhe, pa su u vezi s tim razvijeni i

računarski kontrolisani optički sistemi, slika 1, koji laserski zrak pomeraju po spirali, po Lisažuovim konturama ili sličnim slikama, u svakom slučaju tako da svaka tačka bude pokrivena jednakim impulsima i sa iradijancijom koja je neophodna za ablaciju.

Trajanje izloženosti zračenju, njegova gustina na površini i broj ponavljanja se mogu podesiti tako da se otpari sloj zadate debljine. Uslovi koje je tom prilikom neophodno zadovoljiti zavise od slučaja, a to znači od tipa površine, hemijskog oblika u kojem se kontaminant nalazi, snage lasera, okružujuće atmosfere itd. Ako je kontaminant takav da ga zračenje prosto isparava onda se energija koristi samo na isparavanje. Ako se on degradira i prelazi npr. u gasovite produkte, onda je potrošnja energije u principu veća, jer jedan njen deo ide i na takve transformacije.

NEKI REZULTATI SA LASERSKOM DEKONTAMINACIJOM

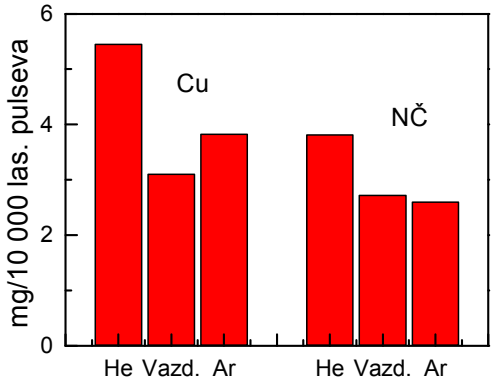
Prema saznanjima iz dostupne literature ovom vrstom dekontaminacije se uglavnom bavi *Ames Laboratory - USDOE* u saradnji sa još nekim američkim isntitutcijama. Ovde će, biti dati:

(i) neki njihovi inicjalni eksperimenti izvedeni sa nekontaminiranim uzorcima metala (Cu, Al i nerđajućeg čelika) radi utvrđivanja stepena ablacije pri različitim uslovima. Uzorci su bili pomerani pomoću kompjuterski kontrolisanog *x-y* stola. Korišćen je ekscimerni KrF laser, $\lambda = 248$ nm, $t_p = 27$ ns (trajanje impulsa), r = do 300 Hz (učestalost ponavljanja impulsa). Najveća brzina ablacije je postizana kada se površina bila u fokusu sočiva. Kao atmosfera su korišćeni He, vazduh ili Ar. Rezultate pokazuje tabela 1.

Tabela 1. Ablacija materijala sa površine u helijumskoj atmosferi.
Laserska energija - 300 mJ/puls; fokusirano sfernim sočivom

	Al (5 puls.)	Cu (50 puls.)	NČ (5 puls.)
Dubina kratera (μm)	48 μm	40 μm	40 μm

Tabela pokazuje da je brzina ablacije znatno veća (za red veličine) za aluminijum nego za druga dva metala, što je objašnjeno njegovom manjom gustinom i nižom tačkom topljenja. Istovremeno, poređenje uticaja različitih okružujućih atmosfera, što je ilustrovano na slici 2, pokazuje da je najbolja atmosfera helijuma, jer je u njoj brzina ablacije i do 50% veća nego u vazduhu ili argonu.

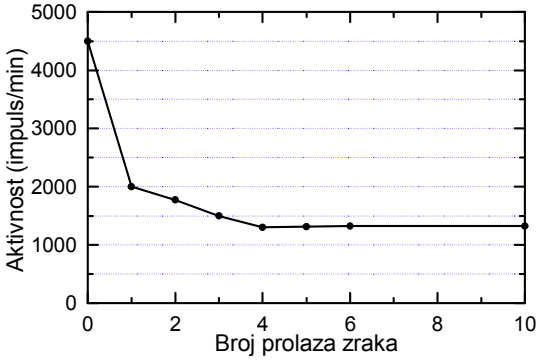


Slika 2. Brzina ablacije sa bakra i nerđajućeg čelika u atmosferama različitih gasova. Laserska energija 500 mJ/puls pri 100 Hz

Objašnjenje ovakvih ponašanja je u činjenici da He ima znatno veći potencijal jonizacije (24,6 eV) nego argon (15,8 eV) ili azot (15,6 eV). To otežava stvaranje plazme iznad površine koja bi dodatno apsorbovala značajne količine energije i tako smanjila iznos koji odlazi na otparavanje materijala. U isto vreme helijum ima i malu gustinu, a to dozvoljava otparenom materijalu da se udalji

ekspanzijom, što je takođe od značaja. Nedostatak mu je što je skup i što, za razliku od slučajeva u kojima se koristi vazduh, treba imati odgovarajuće sudove i instalacije. Ako se materijal ne bi odnosio od površine moglo bi da dođe do njegove redepozicije što bi čitav problem vratilo na početak. Zbog toga je veoma važno koji se gas koristi, kojom brzinom protiče i kakva je geometrija eksperimenta. To mora biti utvrđeno za svaki pojedini slučaj.

(ii) Neki rezultati dobijeni sa uređajima predviđenim za razvoj do eventualnog industrijsku postupka [4]. Korišćena je aparatura čiji prikaz se može naći u citiranom radu, a za koju je važno reći da koristi impulsni Nd:YAG laser, čija je učestalost ponavljanja impulsa mogla biti menjana u granicama od 100 Hz to 30 kHz. Maksimalna srednja snaga od 200 W je postizana pri 9 kHz. Laserska energija je sprovođena do uzorka koji je bio u drugoj prostoriji putem optičkog kabla dužine oko 10 m i njemu pridruženog optičkog sistema. Prečnik zraka na uzorku je bio 0,9 mm. Efikasnost isporuke energije na uzorak ovim putem je bila čak oko 92%. Ablacija je vršena u atmosferi vazduha i to se pokazalo kao veoma uspešno. Efikasnost ablacije je praćena *in situ* putem praćenja deflekcije snopa jednog posebnog laserskog sistema. Otpareni materijal je usisavan i sprovođen na filter na kojem je skupljan.



Slika 3. Opadanje radioaktivnosti ravne površine kao funkcija broja prolaza snopom lasera. Srednja snaga 150 W pri 5 kHz, zrak vođen optičkim kablom, brzina skaniranja 10 cm/s

Za ilustraciju mogućnosti ovoga metoda izdvojen je samo jedan dijagram, sl. 3, koji prikazuje efikasnost dekontaminacije navedenim sistemom uzorka napravljenog od veoma tvrde legure, koji je imao nepravilan oblik i na kojemu je samo jedna ravna površina bila podvrgnuta tretmanu. Pokušaji da se to učini ekscimernim laserom nisu doveli do uspeha. Aktivnost je merena GM brojačem.

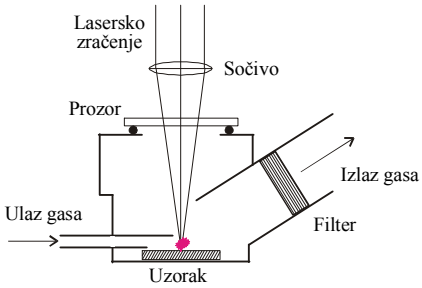
Vidi se da je već nakon 3-4 prolaza aktivnost opala na određenu vrednost koja se dalje uopšte nije smanjivala bez obzira na broj prolaza. To je objašnjeno time da je uzorak bio nepravilnog oblika te da konstatovana zaostala aktivnost potiče od okolnih površina koje nisu tretirane i od kontaminiranosti po zapremini. Značajno je reći da je u prvom prolazu odstranjeno skoro 80% aktivnosti.Uspešni rezultati su dobijeni i sa dekontaminacijom "olovne cigle" i pri malim snagama lasera, pri maksimalnim brzinama skaniranja i nakon samo jednog prolaza.U ovom stadijumu razvoja se može reći da metod laserske ablacije nudi sledeće pogodnosti: poboljšanu sigurnost osoblja, smanjenje sekundarnog otpada, manje zagađivanje opreme, izbegavanje upotrebe opasnih hemikalija itd.

Firma *Novespace* (Francuska) je razvila sistem koji bi mogao biti iskorišćen za dekontaminaciju zatvorenih sistema kao što su cevi, sudovi i slično [5]. On koristi optičko vlakno za transport laserske energije, pri čemu se pribor, koji se sastoji od uređaja za radijalno skaniranje i usisne cevi, kreće po šinama koje se unutra montiraju.

Ugljendioksidni laser emituje u IC oblasti spektra (λ = 10 μm, tj. oko 1000 cm^{-1}). Razvijen je u više varijanti, kao pulsni ili kontinualni, može se pobuđivati putem električne struje, na račun hemijske reakcije ili na druge načine, može raditi sa gasnom smešom koja kroz njega protiče, ali i u tzv. zatopljenom režimu. Ostvarene su sa njim ogromne snage i u impulsnom (desetine MW) i u kontinualnom režimu (stotine kW), a takođe i visoki koeficijenti iskorišćenja energije, koji idu i do 30%. Zbog toga je taj laser postao svakako najviše korišćeni laser od svih do sada poznatih, mada tehnički nije jednostavan.

Metali reflektuju IC zračenje efikasnije nego zračenje manjih talasnih dužina, ali se i ovaj laser u određenim slučajevima i uz odgovarajući pristup može efikasno koristiti i za dekontaminaciju. Naznaka takvih ideja ima u najnovijoj literaturi [6], gde se govori o mogućoj upotrebi jednog 100-kW kontinualnog CO_2-lasera u svrhe dekontaminacije ili dekomisioniranja. I u laboratoriji autora u Institutu „Vinča“ postoje planovi da se izuče ovakve mogućnosti na eksperimentalnom nivou.

Planovi se zasnivaju na upotrebi jednog impulsnog CO_2-lasera energije 200 mJ/puls. Ta enegija (oko 30%) se izrači u vidu kratkog (100 ns) impulsa, koji je praćen “repom” koji traje do 2 μs, što daje prosečnu snagu od oko 0,2-0,5 MW. Nefokusirani zrak ima dimenzije 10×10 mm, a može se fokusirati na površinu manju od 0,1×0,1 mm. Time je moguće postići iradijancije od čak nekoliko $GWcm^{-2}$.



Slika 4. Eksperimentalna aparatura za lasersku dekontaminaciju putem ablacije

S druge strane, u Laboratoriji za fizičku hemiju u Institutu „Vinča“ postoji značajno iskustvo sa laserskom ablacijom kod nekih nemetalnih materijala [7], i neki pokušaji primene ovog fenomena u medicini i kozmetici.

Shemu aparature koja će biti korišćena prikazuje slika 4. Materijal koji otparava sa površine odnosi struja gasa koji protiče kroz uređaj. Brzina protoka, kao i geometrija ćelije moraju biti takvi da se omogući da se kontaminant pretežno skupi na filteru, tj. da ne dođe do redepozicije na uzorku ili deponovanja na zidovima ćelije i optici. Merilo efikasnosti sakupljanja na filteru može se izraziti „faktorom sakupljanja“, definisanim kao

$$S_f = \frac{A_f}{A_0} \tag{9}$$

gde A_f predstavlja ukupnu aktivnost zadržanu na filteru.

Polazeći od vrednosti koeficijenata refleksije za određeni materijal na datoj temperaturi, moguće je na osnovu formula datih u odeljku 2 izračunati energiju koja se može deponovati u površinu, ili dalje neophodnu snagu lasera koju je potrebnno posedovati za uspešnu ablaciju. Iz mnoštva dostupnih podataka [8] ovde su izdvojene odgovarajuće vrednosti za dve vrste metalnih materijala - bakar i ugljenični čelik, i to za tri talasne dužine (tabela 2).

Tabela 2. Spektarski koeficijenti refleksije nekih metala na 293 K
(Površine metala polirane; upadna svetlost normalna na površinu.)

λ (μm)	R_{bakar} (ρ≈9 g/cm^3)	$R_{C\text{-}čelik}$ (ρ≈8 g/cm^3)
0,5	0,50	0,58
1,0	0,91	0,65
10,0	0,975	0,90

Primeri proračuna

Kolika energija treba da bude apsorbovana od strane sloja na površini (S = 1 cm^2) za bakar i čelik da bi taj sloj bio zagrejan za $\Delta T \approx 2\cdot10^3$ K (da otpari), ako se ta površina ozračuje CO_2 (λ = 10 μm), odnosno ekscimernim KrF laserom (λ = 0,248 μm)? Kolika je gustina laserske snage neophodna? Podaci: može se uzeti kao srednja vrednost za dati opseg talasnih dužina da se apsorpcija obavi u sloju debljine $x = 5\cdot10^{-5}$ cm; može se takođe uzeti za oba metala da je $c_v \approx 0{,}4$ J·g^{-1}K^{-1}.

Koristeći jednačine (7) odnosno (3) i podatke iz tablice 2 izračunavaju se Q_{aps} odnosno Q_{upad}. Rezultati su prikazani u tablici 3.

Tabela 3. Energije potrebne za isparavanje površine
i laserske energije neophodne da se to ostvari sa CO_2, odnosno KrF laserom

λ (μm)	Q_{aps} (J·cm^{-2})		Q_{upad} (J·cm^{-2})		d (mm)**
	Cu	C-čelik	Cu	C-čelik	
10	0,36	0,32	14	3	1,2
0,248			0,7*	0,8*	2,6

* Korišćene vrednosti koeficijenata refleksije za λ = 0,5 μm iz tabele 2.
** Stranica kvadratne površine na koju bi trebalo fokusirati zračenje da bi se dobile neophodne gustine energije za laser koji emituje 0,2 J/puls.

Kako se iz proračuna vidi, bakar ima visoku reflektivnost za CO_2 laser, znatno veću nego čelik, pa je za njegovo otparavanje potrebno imati i veće koncentracije energije. Kod KrF lasera (UV oblast) oba metala su slična, znatno slabije reflektuju, pa su i neophodne laserske energije znatno manje. Međutim, s obzirom na stanje laserske tehnologije danas nijednu od navedenih vrednosti nije problem postići. Tako npr. sa laserom koji mi nameravamo da koristimo samo delimičnim fokusiranjem na ne tako malu površinu (v. poslednju kolonu u tabeli 3) je vrlo lako postići gustine da bi se ostvarila donja granica početne apsorpcije. Istovremeno, taj laser, kod kojega se pretežan deo energije izrači za oko 1 μs, kako je već spomenuto, omogućuje dobijanje gustina snege od preko 1 GWcm^{-2}. Prema jednačini (8) to daleko nadmašuje ono što je neophodno za efikasnu ablaciju.

Kad se površina jednom „načne“, zbog opisanih efekata sve ide lakše, njena se apsorpcija povećava zahvaljujući uticajima koji su već navedeni: nastajanje kratera, zaprljanje, porast temperature.

Planiraju se eksperimenti sa izotopima koji se uobičajeno mogu naći u radiološkim laboraotijama, npr. ^{54}Mn, ^{137}Cs, ^{133}Ba, ^{241}Am ili slično. Probni eksperimenti će biti izvođeni sa premazima, kao što su boje, na supstratima kružnog oblika.

Inicijalna obrada površine

Neki metali, kao što su bakar, aluminijum, čelici itd., uglavnom su dobri reflektori u optičkom a posebno u IC dijapazonu. S tim u vezi mali deo laserske, inače skupe energije, se iskoristi, pa se moraju primenjivati laseri nesrazmerno velike snage u odnosu na sam cilj. Zato, ako je početna apsorpcija nedovoljna treba razmišljati o tome da se površina „aktivira“ veštački, što bi se svelo na njeno presvlačenje što tanjim slojem dobrog apsorbera. Štaviše, ovo bi mogao da bude glavni pravac razvoja ovih metoda ako su u pitanju metali.

Presvlačenje se može izvesti na dva načina: hemijskim tretmanom površine tako da se na njoj nagradi sloj nekog jedinjenja, ili premazivanjem površine tankim slojem nekog apsorbujućeg sredstva. Oba postupka treba da budu odabrana tako da sloj apsorbuje što veći procenat energije, da je transfer energije sa njega na metal dobar, da njegovo razaranje laserom ne odnosi previše energije i tako proces učini neekonomičnim, kao i da su cena sredstva i postupka prihvatljive.

Za IC zračenje CO_2 lasera uglavnom nije teško naći presvlaku koja dobro apsorbuje, i do 100%. To mogu biti različite materije. Najjednostavnije je ako se metalna površina može na neki prost način hemijski obraditi tako da apsorbuje. Tako recimo, oksidi metala su uvek bolji apsorberi od samih metala. Cink-oksid npr. skoro stoprocentno apsorbuje zračenje ugljendioksidnog laserakao. Uzgred, poznato je da se neki metali stajanjem na vazduhu lako presvalače oksidom (aluminijum, bakar). Slično, gvožđe sa sumpornom kiselinom gradi sulfat samo na površini koji ga štiti od daljeg razaranja.

ZAKLJUČCI

Istraživanja mogućnosti primene lasera za dekontaminaciju površina pokazuju da se ona može uspešno izvoditi, naročito sa impulsnim laserima veće snage i više učestanosti ponavljanja impulsa, posebno ako je talasna dužina zračenja manja. Takvi postupci iz istraživačke faze prelaze u razvoj ka industrijskoj primeni (*Ames laboratorija* SAD).

Proračuni neophodnih snaga pokazuju da bi i CO_2 laseri, koji emituju u IC oblasti, u određenim slučajevima mogli biti efikasno korišćeni za površinsku dekontaminaciju metala, pogotovu ako se uzme u obzir da oni imaju visoke koeficijente korisnog dejstva.

U slučajevima kada je apsorpcija zračenja od strane površine slaba treba razmišljati o njenom povećavanju putem odgovarajućih tretmana.

LITERATURA

[1] H.M. Rang, R.J. Lipert, Y.M. Hamrick, Suna Bayrakal, K. Gaul, B. Davis, D.P. Baldwin and M.C. Edelson, Spectrum ‘92: Nuclear and hazardous waste management international topical meeting, Boise, ID (USA), 23-27 Aug 1992, pp. 1335-1341.

[2] K. Kincade, *Laser Focus World* 51, 57(1995).

[3] Н. Б. Взаимодействте лазеного излучения с веществом, Наука, Москва, 1989.

[4] M.C. Edelson, Ho-ming Pang and R.L. Ferguson, A Laser-Based Solution to Industrial Decontamination Problems, Proceedings of the Laser Materials Processing Conference "ICALEO `95" (Eds J. Mazumder, A. Matzunawa and C. Magnusson), pp.768-777. This proceedings volume is also referred to as LIA (Laser Institute of America) Vol. 80 "Laser Materials Processing".
[5] Prezentacija firme *Novespace* na Internetu, adresa: www.novespace.fr/noves/tech?an/aut?teca.htm
[6] K. Schröder and D. Schuöker, *Laser Physics* 8, 38 (1997).
[7] B.M. Gaković, M. Trtica, T. Nenadović and T. Gredić, *Appl. Surf. Sci.* 143, 78 (1998).
[8] Л. А. Новицкий, Б. М. Степанов, Оптические свойства материалов при низких температурах, Машиностроение, Москва, 1980.

ABSTRACT

Possibilities of uses laser radiation for decontamination of metal surfaces was considered. The principle of the method is to evaporate a very thin layer of material from the surface *via* ablation using intensive and focused laser beam. The material removed should then be transferred to a filter by a carrier gas. Some of the obtained data, regarding use of pulsed Nd:YAG laser and energy transfer through an optical fiber, were presented here too. Fundamentals of light interaction with a metal surface were also considered in order to be able to predict conditions and possible ways of successful ablation. It was pointed out that the development of the method would bring several benefits: improved safety - decontamination can be performed remotely, reduced waste volume and less secondary waste, no hazardous chemicals and thus no concerns over chemical handling.

ČERNOBILSKA HAVARIJA I UBLAŽAVANJE POSLEDICA KONTAMINACIJE

Ž. Vuković
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Razmatrane su posledice Černobilske havarije sa radiohemijskog aspekta. Havarija na NE Černobil izazvala je kontaminaciju i u našoj zemlji, kao i većini Evropskih zemalja tako da je dekontaminacija kao način uklanjanja kontaminanata bila moguća u ograničenom obimu. Na specifičnim primerima je pokazano kako se uz odgovarajuće mere može smanjiti unošenje radionuklida u organizam a time smanjiti i doza ozračivanja u uslovima kontaminacije velikih razmera.

UVOD

Akcidenti na nuklearnim postrojenjima kao i na mnogim klasičnim nenuklearnim postrojenjima i objektima predstavljaju pojave i događaje koji se veoma kritički proučavaju u svim fazama projektovanja, izgradnje i rada istih, jer su posledice akcidenata po živi svet i materijalna dobra, po pravilu, znatne. Danas je u svetu u pogonu preko 400 nuklearnih elektrana kao i više postrojenja za preradu nuklearnog goriva i preradu visoke aktivnih materijala i sve to predstavlja potencijalnu opasnost zagađenja biosfere kako zbog ispuštanja radionuklida pri normalnom radu postrojenja tako i pri akcidentima, kada su ovakva ispuštanja nekontrolisana.

Dosadašnja iskustva ukazuju na dve grupe problema koja ukazuju da i pored preduzimanja niza mera i tehničkih rešenja da se smanji verovatnoća nastanka akcidenata, ovu verovatnoću ne eliminišu. To su zamor materijala, odnosno promena svojstava zbog izlaganja zračenju i ljudski faktor zbog greške personala koji opslužuju postrojenja. U poslednje dve najveće havarije na nuklearnim elektranama Three Myles Islands (1979) u SAD i Nuklearnoj elektrani Černobil (1986) u Ukrajini ljudski faktor je bio presudan za nastanak havarije. Samo do 1989.god. broj žrtava zbog havarije u Černobilu bio je 250 ali će posledice Černobilske havarije po zdravlje ozračenog personala i stanovništva biti značajne i u potonjim generacijama.

Cilj ovog prikaza je da ukaže na posledice Černobilske havarije sa radiohemijskog aspekta i na mogućnosti ublažavanja kontaminacije, pošto se radilo o radioaktivnoj kontaminaciji širokih razmera sa specifičnostima nezabeleženim u istoriji primene nuklearne energije. Analizom je obuhvaćeno područje Srbije koje je spadalo u područje Evrope sa "umerenim" stepenom kontaminacije.

NIVOI RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE

Radionuklidi pretežno iz inventara fisionih produkata dospeli su posle Havarije u atmosferu gde su se posle kondenzacije i desublimacije u obliku visokodisperznih aerosola podigli na visinu do 10 km i potom putem transportnih mehanizama zavisno od meteoroloških uslova preneli u sve zemlje Evrope a srazmerno manje i na druge kontinente severne hemisfere. U našoj zemlji identifikovan su radionuklidi joda, cezijuma, stroncijuma, rutenijuma, srebra, cirkonijuma, niobijuma i dr. Oni su nošeni vazdušnim strujama i kišnicom dospeli na površinu zemlje izazavši kontaminaciju relativno umerenog nivoa. Dominantni radionuklidi ^{131}I i $^{134+137}Cs$ deponovani su u koncentracijama 10^3-10^5 Bq/m^2 za jod, odnosno 10^3-10^4 Bq/m^2 za cezijum. Zabeležena su odstupanja naniže i naviše od ovih vrednosti. Prema zvaničnim podacima iz NE Černobil ispušteno je $2{,}6 \cdot 10^{17}$ Bq ^{131}I i $1{,}2 \cdot 10^{17}$ Bq $^{134+137}Cs$ [1]. Oko polovine sadržaja oslobođenih radionuklida istaloženo je na rastojanju do 30 km od elektrane što je zahtevalo evakuaciju stanovništva sa tog područja. U našim krajevima, kao i u drugim Evropskim zemljama nivo kontaminacije je bio u granicama koje nisu zahtevale evakuaciju niti preduzimane obimnijih dekontaminacionih radova.

MEHANIZMI KONTAMINACIJE

Pošto su se radionuklidi različitih hemijskih elemenata nalazili u ultrarazblaženom stanju, kada ne postoji mogućnost formiranja sopstvenih faza, oni se raspodeljuju među različitim fazama (čvrstim, tečnim i gasovitim) po zakonima raspodele. Radioaktivna kontaminacija uslovljena je fizičko-hemijskim procesima na graničnim površinama faza. Ovi pak determinišu nivo kontaminacije i predodređuju izbor postupka i efikasnost dekontaminacije. Obično površinska kontaminacija bazira na procesima adhezije, adsorpcije i jonske izmene. Za Černobilske kontaminante s obzirom na visoku disperznost čestica i različita agregatna stanja adhezija je veoma zastupljen proces. Adhezija je kao i adsorpcija spontani proces izazvan površinskom energijom (naponom) na površini razdvajanja faza (obično gasne i tečne na površini čvrste faze). Ako se radionuklidi nalaze u rastvoru u jonskom obliku moguća je jonska izmena katjona ili anjona sa jonima na čvrstoj površini. Ovakav mehanizam kontaminacije zastupljen je pretežno pri kontaktu radionuklida sa zemljištem. Treba pomenuti i difuziju kao spontani proces prodiranja jona, molekula ili koloidnih čestica u defektne i kapilarno porozne sisteme i materijale. Koeficijenat difuzije je mera brzine prodiranja radionuklida u dubinu materijala. U našoj zemlji jod u prvim danima a cezijum u dužem vremenskom intervalu najznačajniji su kontaminanti dospeli iz NE Černobil. Raspodela joda među različitim fazama je složena kako zbog volatilnosti tako i zbog složene hemije joda i mogućnosti egzistencije u različitim valentnim stanjima, odnosno različitim jonskim i molekularnim oblicima [2]. Posebno je sa stanovišta normi bila izražena kontaminacija mleka jodom. Mleko kao prehrambeni proizvod od značaja za ishranu stanovništva a posebno dece dostizalo je nivo kontaminacije preko 1000 Bq/l. U Institutu „Vinča“ razrađivan je postupak za dekontaminaciju mleka sa ciljem da se obezbede uslovi za dekontaminaciju mleka za potrebe dečje ishrane. Poučena iskustvom akcidenta u Windsclale (Velika Britanija, 1957.g.) kada je zbog kontaminacije mleka sa ^{131}I uništeno preko milion litara mleka, želeli smo da se takva situacija izbegne u Beogradu i Srbiji. Jedan od prvih većih akcidenata na Nuklearnoj Elektrani desio se 8.oktobra 1957.god. u Windscale kada su oštećeni gorivni elementi i deo goriva sa istopio. Tada je u atmosferu izbačeno 32 KCi aktivnih produkata od čega 20 KCi ^{131}I. Deo radioaktivnog oblaka dospeo je do Norveške i do Austrije ali se glavni efekat kontaminacije životne sredine manifestovao preko kontaminacije trave koju su pasle krave koje su ^{131}I

koncentrisale u mleku. Kontaminirano mleko je uništeno ali su kasnija ispitivanja pokazala da se mleko moglo prečistiti pomoću jonoizmenjivačkih smola jer se jod u mleku nalazi u vodenoj fazi mleka u obliku anjona zbog čega ga nije teško eliminisati. Čak da se kontaminirano mleko direktno ne prečišćava, ono se ne mora uništavati već se uz odgovarajuću radiohemijsku kontrolu može preraditi u sir pogodan za upotrebu.

Prema podacima publikovanih za različite evropske zemlje već posle mesec dana od havarije jačina doze gama zračenja opala je 25-50 puta što je najpre posledica raspada ^{131}I. Tada je pretežno ostala kontaminacija pretežno od $^{134+137}Cs$. Kontaminacija je bila pretežno površinska ali su zastupljeni bili svi mehanizmi kontaminacije.

Krajem maja 1986.god. Evropska zajednica je uvela privremene nove dozvoljene nivoe kontaminacije prehrambenih proizvoda i predmeta opšte upotrebe koje je prihvatila i naša zemlja. Tada je bio omogućen eksport-import ovih proizvoda ako koncentracija $^{134+137}Cs$ ne prelazi 600 Bq/kg. Ove norme omogućile su da se u našoj zemlji uz odgovarajuće kontrole, preporuke i tehnološka rešenja održi prihvatljiv nivo kontaminacije i stvore preduslovi da stanovništvo ne bude izloženo nepotrebnom riziku ozračivanja.

PONAŠANJE RADIONUKLIDA U EKOSISTEMU

Kontaminacija životne sredine od posledica Černobilske havarije doprinela je povećanju radijacione doze stanovništva, koje je inače izloženo prirodnom zračenju, tehnološki modifikovanom prirodnom zračenju i veštačkom zračenju od primene nuklearne energije. Ukupna doza za stanovništvo posle Černobilske kontaminacije predstavlja zbir eksterne radijacione doze zbog površinske kontaminacije i interne radijacione doze zbog unošenja kontaminirane hrane i inhalacije radionuklida [3]. Na sreću prema proračunima kolektivne doze ozračivanog stanovništva od posledica Černobilske havarije nisu značajnije premašivale doze od do tada prisutnih izvora zračenja [4].

S obzirom da nije bilo moguće vršiti dekontaminaciju ogromnih površina i materijalnih dobara, te prema tome smanjiti eksternu radijacionu dozu zbog površinske kontaminacije selektivnih korišćenju kontaminirane hrane i delimičnim merama dekontaminacije, unošenje kontaminirane hrane znatno se moglo umanjiti.

Pored već opisane kontaminacije mleka jodom ništa manji problem nije predstavljalo korišćenje salate, luka i ostalih prolećnih biljnih kultura sa razvijenim površinama zbog izrazite folijarne depozicije fisionih radionuklida [5]. U prvim danima maja registrovani su nivoi kontaminacije na ovim kulturama od 2-4 kBq/kg ^{131}I.

Kravlje, ovčije i kozije mleko kao i meso svih vrsta životinja moglo je biti kontaminirano cezijumom (134+137) iznad određene granice u zavisnosti od režima ishrane. U planinskim predelima nivo kontaminacije je bio viši nego u ravničarskim, a zbog načina ispaše kozje i ovčje meso i mleko imalo je povišene nivoe kontaminacije u odnosu na govedinu i svinjetinu odnosno kravlje mleko, što se odnosi i na prerađevine od ovih proizvoda.

Trebalo je selektivno koristiti ribu iz jezera i ribnjaka jer su zabeležene vrednosti i do 4 kBq/kg Cs-137. To se odnosilo i na različite vrste čajeva. Zbog akumulacije cezijuma znatne količine čajeva izbačene su iz upotrebe i uništene. Selektivno koncentrisanje cezijuma u gljivama i nekim vrstama košticavog voća zahtevali su posebne mere kontrole i predostrožnosti pri upotrebi. Ako se može označiti neka „pozitivna“ osobina cezijuma sa aspekta minimiziranja ingestije onda je po osobini dobrog vezivanja za zemljište putem jonoizmenjivačkih mehanizama što omogućuje da se primenom veštačkih đubriva umanjuje stepen unošenja cezijuma u biljke putem transporta preko korenovog sistema a zatim u lanac ishrane. Ovi i drugi primeri pokazuju da se i pri velikim akcidentima mogu umanjiti

štetne posledice i po ljude i materijalna dobra, ako se poznaju mehanizmi štetnog delovanja i uz angažovanje odgovarajućih ekspertskih timova organizuje rad na sanaciji akcidenata i edukuje stanovništvo da primenjuje mere samozaštite. Primer Černobila je u tom pogledu poučan jer pokazuje da se i pri najvećim havarijama kada je u pitanju mirnodopska primena nuklearne energije mogu u velikoj meri ublažiti štetni efekti.

LITERATURA

[1] IAEA Safety Series No 75. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, Vienna (1986).

[2] M. Mandić, Ž. Vuković, S. Lazić, S. Raičević, Sorption of Hypoiodons Acid on Activated Carbon, J. Radioanal. Nucl.Chem., Articles, 208 (1996) 453.

[3] W.Jeschki, The Chernobyl Experience, Radiat.Phys.Chem. 34 (1989) 279.

[4] UNSCEAR (1993). Sources and Effects on Ionizing Radiation, United Nations (1993).

[5] D.Samek, S.Marić, R.Kljajić, E.Horsić, Neki kratkoživeći radionuklidi u uzorcima trave i lisnatog povrća na širem području Sarajeva nakon havarije u Černobilu, Zbornik radova XIV Jug.simp. za zaštitu od zračenja, Novi Sad (1987) 127.

STOKIRANJE ^{226}RA TERAPIJSKIH IGALA I TUBUSA POVUČENIH IZ UPOTREBE

R. Pavlović, I. Plećaš,
R. Maksić, S. Pavlović, S. Vuković
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

Kada su najveći proizvođači radijuma i radijumskih izvora zračenja 1960-tih prestali sa njihovom proizvodnjom, ukupan svetski inventar radijuma je bio nekoliko kilograma [1,2]. Stalni napredak u saznanjima vezanim za rizike korišćenja radijuma i radijumskih izvora zračenja zahtevao je pažljivo sakupljanje i pripremu za odlaganje tih izvora zračenja. U ovom radu je prikazan način "privremenog" stokiranja isluženih medicinskih izvora ^{226}Ra, do postizanja međunarodnog konsenzusa o zahtevima koje moraju ispunjavati paketi RAO sa značajnom komponentom dugoživećih α - emitera, za odlaganje u duboke geološke formacije.

UVOD

Iskustvo sakupljeno u misijama na realizaciji Agencijskog programa IAEA Waste Management Advisory Programme (WAMAP) su pokazala da su isluženi izvori zračenja, izvori zračenja koji više nisu u upotrebi, najčešće skladišteni u neadekvatnim uslovima. Zbog nepostojanja ili neadekvatno vođene i čuvane dokumentacije - registra, za takve izvore se vrlo često ne zna poreklo, istorija, pa, ne retko, ni osnovne karakteristike, kao što su aktivnost, vrsta zračenja, stanje hermetičnosti i drugi relevantni parametri [1].

Od trenutka kada su Pierre i Marie Curie izolovali radijum iz pehblende 1898. godine i taj radioaktivni materijal postao dostupan i raspoloživ, razvijeno je mnoštvo primena u medicini, industriji i drugim oblastima. Kasnih 1940-tih godina postali su dostupni i drugi radioaktivni materijali u dovoljnim količinama za pripremanje zatvorenih izvora zračenja za najrazličitije oblasti primene. Kada su 1950-tih godina istraživčki nuklearni reaktori i akceleratori instalirani u mnogim institutima u svetu postalo je mogućno dobiti radiaoktivne izotope sa različitim karakteristikama i vrstama zračenja kojima je bilo mogućno realizovati izvore zračenja za mnogo šire oblasti primene i izvore koji su u radijacionom smislu sigurniji i jednostavniji za korišćenje, pa je proizvodnja radijumskih izvora zračenja praktično prestala.

Međunarodna agencija za atomsku energiju je 1991. godine ustanovila Program isluženih izvora zračenja (IAEA′s Spent Radiation Sources Programme, GOV/INF/595). Pored ostalih aktivnosti Program uključuje i razvoj tehničke dokumentacije i priručnika sa upustvima i preporukama za bezbedno „upravljanje“ (stokiranje, obrada, kondicioniranje, privremeno i konačno odlaganje) isluženim izvorima zračenja. Rad na ovom programu je

rezultirao u izdavanju niza publikacija koje se bave ovom problematikom [1,2,3,4]. Poseban i specifičan problem predstavlja sakupljanje i stokiranje isluženih izvora ^{226}Ra, a naročito izvora ^{226}Ra za terapiju, koji su 60-tih i 70-tih godina masovno distribuirani po celom svetu.

MEĐUNARODNA ISKUSTVA I PREPORUKE

Prirodni radioaktivni izotop ^{226}Ra je produkt koji nastaje u prirodnom lancu raspada radioaktivnog ^{238}U. Radijum je α emiter vremena poluraspada 1600 godina. U svom lancu raspada preko gasovitog ^{222}Rn i drugih kratkoživećih potomaka, do konačne transformacije u stabilno ^{206}Pb, emituje se 5 α čestica, energije do 7.7 MeV, beta zračenja energije do 2.8 MeV i fotoni gama zračenja energija do 2.4 MeV. Zbog izuzetno nepovoljnih radiohemijskih i radioloških karakteristika, visoke radiotoksičnosti, odnosno izrazito nepovoljnog metabolizma, koji prati metabolizam kalcijuma i ugrađuje se u kosti, i praktično se ne eliminiše iz organizma, rad sa radijumom zahteva izuzetne mere opreza, primenu svih raspoloživih mera za zaštitu od zračenja i mera za sprečavanje kontaminacije okoline, odnosno kontaminacije profesionalno izloženih lica i ukupne populacije. Granične vrednosti godišnjeg unošenja ^{226}Ra u organizam, računate u odnosu na godišnju granicu efektivne doze od 20 mSv za profesionalno izložena lica, su 70 kBq (oko 2 μg) za unošenje ingestijom, a 20 kBq (oko 0.5 μg) za unošenje inhalacijom. Zbog svega ovoga, ali i zbog činjenice da je velika količina ^{226}Ra distribuirana po celom svetu u najranijoj fazi primene i da je u ovom trenutku uglavnom neadekvatno stokirana, odlaganju ^{226}Ra, kao radioaktivnog otpadnog materijala u IAEA se posvećuje posebna pažnja.

U odnosu na međunarodno usvojen sistem klasifikacije RAO materijala, otpadni materijali koji sadrže ^{226}Ra, a naročito isluženi zatvoreni izvori ^{226}Ra, moraju se svrstati u kategoriju, ili nisko i srednje aktivnih RAO materijala sa značajnim sadržajem dugoživećih α emitera (LILW – LL), ili, ređe, u kategoriju visokoaktivnih RAO mterijala (HLW).

U svetskim okvirima postoji konsenzus da se ^{226}Ra mora odlagati u odlagališta u dubokim geološkim formacijama, daleko i dobro izolovanim od površine zemlje. U svetu u ovom trenutku, međutim, ne postoji konsenzus o kriterijuma prihvatljivosti paketa RAO materijala za odlaganje u dubokim geološkim formacijama za RAO sa dugoživećim α radioaktivnim materijalima, kakvi su i isluženi izvori ^{226}Ra, pa se za proces pakovanja i kondicioniranja isluženih izvora ^{226}Ra postavljaju posebni zahtevi, kao što su:

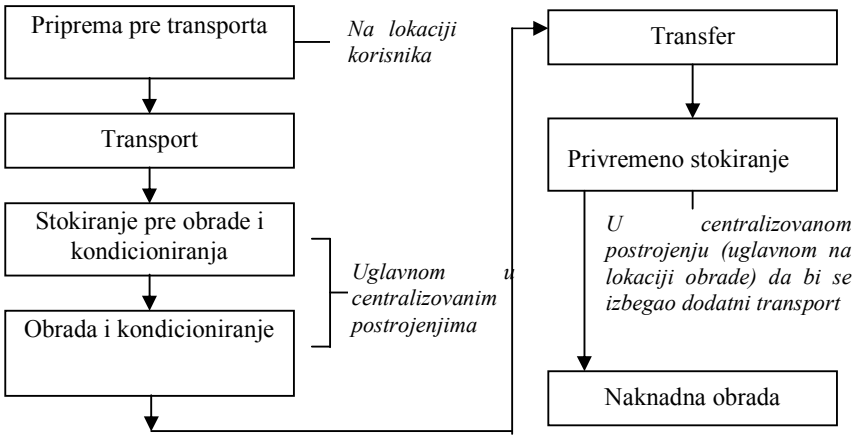
zahtev da kondicioniranje ^{226}Ra i realizacija paketa RAO materijala obezbedi potpunu, hermetičku izolovanost od okoline u periodu od narednih 40-tak godina;

zahtev da se osigura radijaciona sigurnost u pogledu jačina doza zračenja na kontaktu RAO paketa od 2 mSv/h, kao što važi i za pakete ostlih RAO materijala;

zahtev da se ostavi mogućnost da se posle isteka perioda od 40-tak godina na ralativno jednostavan način može doći do paketa RAO sa ^{226}Ra i do samih izvora ^{226}Ra u hermetičkom pakovanju, kako bi se moglo proveriti stanje njihive hermetičnosti u tom trenutku, i, u skladu sa tadašnjim zahtevima i mogućnostima, izvršilo eventualno prepakivanje i odlaganje u duboke geološke formacije, ili nastavilo sa daljim privremenim stokiranjem u adekvatnim odlagalištima;

zahtev za dobrim dokumentovanjem pakovanja RAO materijala u smislu prepoznatljivosti i održavanja dovoljnog broja potrebnih informacija i posle nekoliko desetina godina;

zahtev za osiguranje bezbednosnih aspekata skladištenja u smislu onemogućavanja neovlašćenog pristupa, pogrešnog rukovanja ili eventualne zloupotrebe.



Slika 1. Blok dijagram preporučene šeme "upravljanja" isluženim ^{226}Ra izvorima [1].

Na slici 1. prikazan je blok dijagram preporučene šeme „upravljanja" isluženim izvorima zračenja ^{226}Ra. Poslednji blok u ovom blok dijagramu u ovom trenutku nije definisan. Kada se steknu uslovi da se na svetskom nivou definišu opšte prihvaćeni kriterijumi prihvatljivosti paketa RAO za odlaganja u duboke geološke formacije, verovatno će se pojaviti i potreba za ponovnim kondicioniranjem ili prepakivanjem i hermetizacijom isluženih izvora ^{226}Ra i realizacijom paketa RAO materijala koji će ispunjavati definisane zahteve.

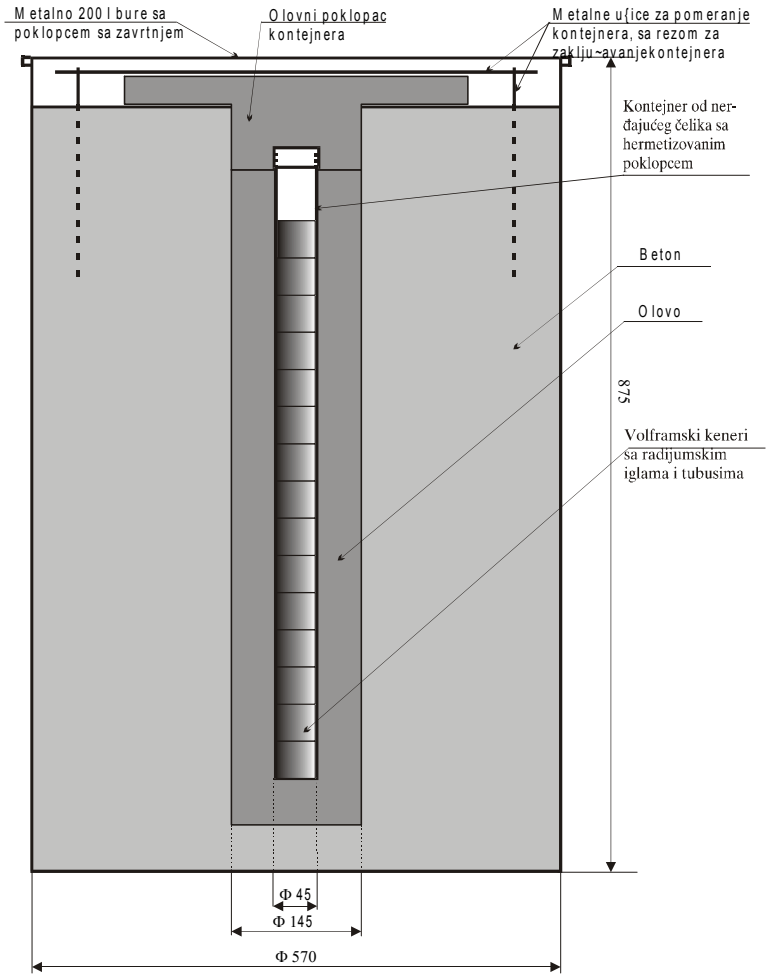
KONDICIONIRANJE IZVORA ^{226}Ra

Kondicioniranje radijumskih izvora zračenja, hermetički izolovanih od spoljašnje sredine i zaštićenih olovnim kontejnerima do nivoa dopustivih jačina doze i zapakovanih u 200 l metalnu burad u kojima je napravljn odgovarajući betonski kontejner, je, prema standardima IAEA, zahtevana tehnologija realizacije paketa RAO tipa A. Granična aktivnost radijuma u RAO paketima tipa A je 20 GBq, što odgovara masi od oko 0.5 g ^{226}Ra. Ovakav paket RAO materijala zadovoljava i domaće i međunarodne kriterijume za trasport RAO paketa i drugih radioaktivnih materijala u internom i međunarodnom saobraćaju, kao i kriterijume bezbednog rukovanja paketima RAO materijala.

Hermetzacija ^{226}Ra ostvaruje se zatvaranjem izvora radijuma u male kontejnere od volframa (Slika 3.). Zahteva se da u jednom ovakvom pakovanju ne bude više od 4 GBq (oko 100 mg) ^{226}Ra. Pet do deset ovakvih kontejnera se pakuje u hermetički zatvorenu kolonu od nerđajućeg čelika.

Prilikom hermetizacije izvora ^{226}Ra, mora se imati u vidu činjenica da se u procesu raspada ^{226}Ra emituje 5 α čestca, odnosno da se generiše 5 atoma He, što stvara nadpritisak u hermetički zatvorenom kontejneru od oko 20 kPa godišnje po gramu radijuma, u 1 cm^3 slobodne zapremine kontejnera. Nadpritisak u hermetički zatvorenom

kontejneru može biti i veći ukoliko uslovi vlage u kontejneru nisu zadovoljavajući, pa dođe do razlaganja vode pod dejstvom α zračenja na vodonik i kiseonik.

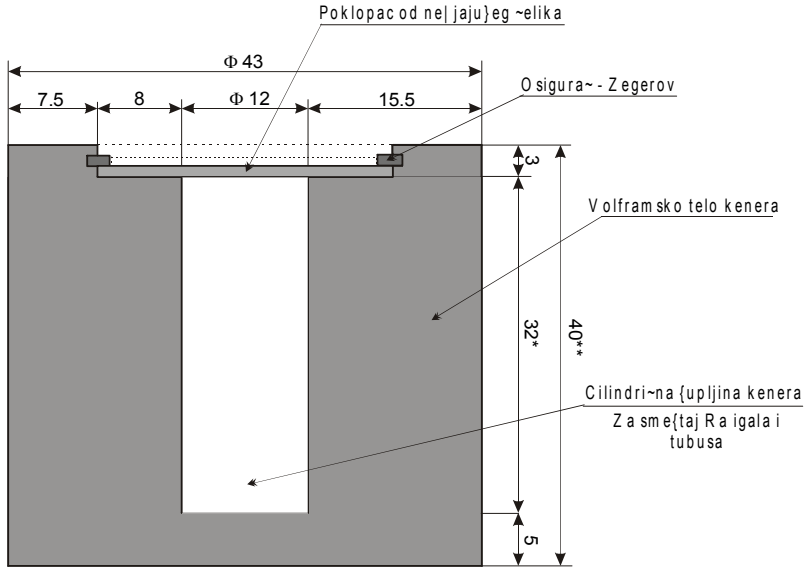


Slika 2. Paket RAO tipa A – 200 l metalno bure sa betonskom i olovnom zaštitom oko kolone pojedinačnih volframskih kontejnera sa izvorima ^{226}Ra hermetički zatvorenih u sudu od nerđajućeg čelika

Nedopustivo povećanje nadpritiska može dovesti do curenja ^{226}Ra i njegovih produkata raspada iz kontejnera i do kontaminacije okoline, a u ekstremnim slučajevima i do eksplozije kontejnera, odnosno zatvorenih izvora ^{226}Ra.

Relativno visoka gama konstanta – dozni konverzioni faktor za spoljnje izlaganje zračenju od oko 220 μSv/h na 1 m rastojanja od izvora aktivnosti 1 GBq, zahteva pažljiv rad i ekraniranje kontejnera u procesu njegovog punjenja i hermetizacije, ali i relativno masivnu zaštitu hermetizovanih kontejnera sa izvorima ^{226}Ra pri formiranju paketa RAO

materijala, kako bi se ispunili zahtevi u pogledu dopustive jačine ambijentalne ekvivalentne doze zračenja na površini paketa.



Slika 3. Volframski kontejner za ^{226}Ra igle i tubuse

ZAKLJUČAK

Prikupljanje, obrada, imobilizacija, kondicioniranje, privremeno i trajno odlaganje RAO materijala podleže vrlo strogim međunarodnim standardima. Zahtevi za obezbeđivanje minimalnog uticaja na životnu sredinu čine ovu tehnologiju često vrlo složenom i skupom. Pri kondicioniranju i privremenom stokiranju radijumskih RAO materijala, ovi zahtevi su još više potencirani zbog činjenice da se kondicioniranje radijumskih izvora u ovom trenutku radi na način da se obezbedi sigurnost paketa RAO u narednih 40 - tak godina, a da posle tog perioda bude mogućno ponovno kondicioniranje tih izvora, što u ovom trenutku isključuje mogućnost relativno jednostavnog kondicioniranja RAO materijala u cementnom matriksu u 200 l metalnim buradima. Predložena rešenja zadovoljavaju sve međunarodne norme i standarde.

LITERATURA

[1] IAEA TECDOC-886, Conditioning and Interim Storage of Spent Radium Sources (1996.).
[2] IAEA TECDOC-620, Nature and Magnitude of the of the Problem of Spent Radiation Sources (1991.),
[3] IAEA TECDOC-804, Methods to Identify and Locate Spent Radiation Sources (1995),
[4] IAEA TECDOC-806, Reference Design for Centralized Spent Sealed Sources Facility (1995.),

[5] IAEA TECDOC-548, Handling, Conditioning and Disposal of Spent Sealed Sources (1990.),
[6] IAEA Safety Series No. 111-G-1.1, Classification of Radioactive Waste, A Safety Guide, Vienna, 1994.

ABSTRACT

^{226}Ra OUT OF USE THERAPHUTIC NEEDLES AND TUBUSES INTERIM STORAGE

R. Pavlović, I. Plećaš, R. Maksić,
S. Pavlović, S. Vuković
Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

When the main producers stopped production of radium in the 1960s, the total quantity of radium produced by the main refiners was estimated to be a few kg [5,2]. Continuous progress concerning the knowledge of hazards associated with the use of a radioactive material, and the characteristics of most of the devices containing radium, calls for a well planned and carefully executed collection and ongoing management of those items under the direction of responsible authorities. Some aspects of the related to the packaging and interim storage of spent radium therapeutic sources are presented in this paper.

PRIMENA APATITA ZA TRETMAN I ODLAGANJE NUKLEARNOG OTPADA

S. Raičević, I. Plećaš
INN „Vinča“, Laboratorija za zaštitu od zračenja „Zaštita“

SADRŽAJ

Apatiti u zavisnosti od sastava, dozvoljavaju supstituciju mnogih radionuklida, od dvovalnetnog stroncijuma do aktinida zbog čega imaju značajnu primenu u tretmanu radioaktivnih otpadnih voda. U ovom radu primena apatita kao čvrste matrice razmatrana je sa aspekta različitih strukturnih i sorpcionih osobina. Posebna pažnja je posvećena izučavanju stabilnosti sistema apatit - primesa za šta je kao relevantan parametar korišćen potencijal jon-jon interakcije. Za odredjivanje ove veličine u sistemu Sr-fluorapatit korišćen je softver VINMATRIX 1.0 koji je razvijen u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“. Analiza je pokazala da potencijal fluorapatita opada sa ugradnjom Sr što ukazuje na formiranje stabilnog sistema, što dalje otvara mogućnost primene fluorapatita pri imobilizaciji i enkapsulaciji nuklearnog otpada.

UVOD

Osnovni zahtevi koji treba ispuniti pri tretmanu i trajnom odlaganje radioaktivnih i hazardnih otpadnih materijala su: (1) fiksiranje otpadnih materijala u čvrstoj matrici sa minimumom hemikalija i (2) dobijanje sistema matrica - primesa koji je stabilan i bezbedan po okolinu u dugom vremenskom periodu. Jedan od kriterijuma koji se koristi pri izboru odgovarajućeg materijala - matrice koji treba da ispuni ove zahteve je i analogija sa prirodnim sistemima za koje se zna da su stabilni milionima godina [1]. Jedan od materijala koji je selektovan po ovom kriterijumu je i apatit [2, 3].

Prirodni apatiti, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH, Cl, F)_2$ su najrasprostranjeniji fosfatni minerali [4] sudeći po stabilnosti njihove strukture. Stabilnost prirodnih apatita najbolje ilustruju apatiti iz prirodnog nuklearnog reaktora Oklo u Gabonu, koji su zadržali značajne količine urana i fisionih produkata uprkos geološkom okruženju od blizu dve milijarde godina [5, 6]. Takodje, apatitne faze, analogne prirodnim apatitima, nadjene su na površini stakleno-keramičkih matrica, nastale kao rezultat korozije, što ukazuje da apatiti imaju veću unutrašnju stabilnost (inherent stability) od staklene faze [7].

Primena apatita u procesima obrade i odlaganja radioaktivnih otpadnih materijala je višestruka zbog specifičnih osobina i različitog sastava koji ova klasa materijala ima. Pod apatitima i apatitu sličnim materijalima (apatite-like materials) podrazumevamo jedinjenja opšte formule $A_{10}(MO_4)_6X_2$, gde je A, najčešće dvovalentni katjon, na primer Ca^{2+}, M su katjoni koji grade fosfatnu ili silikatnu grupu a X je jednovalentna anjonska grupa (OH^-, F^-, Cl^-) [4]. Medjutim, apatitna struktura dodatno dozvoljava supstituciju mnogih elemenata,

od tro- i četvoro-valentnih katjona do različitih anjonskih grupa, što rezultuje širokim spektrom prirodnih minerala i sintetičkih apatitnih jedinjenja najrazličitijeg sastava. Najpoznatiji predstavnik apatita je svakako hidroksiapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (HAP), kako zbog svojih sorpcionih osobina tako i kao osnovna mineralna komponenta koštanog tkiva. U prirodi su najrasprostranjeniji fosfatni i silikatni apatiti, uglavnom u obliku fluorapatita $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ (FAP), koji je glavni sadržaj fosfatnih stena i sekundarna faza u granitu.

PRIMENA APATITA U TRETMANU RADIOAKTIVNIH OTPADNIH VODA

Dobre sorpcione osobine HAP iskorišćene su u tehnološkom postupku za prečišćavanje radioaktivnih otpadnih voda *fosfatnom precipitacijom* [8]. Naime, odavno je poznato da pri kristalizaciji HAP iz vodenih rastvora u prisustvu stroncijuma, dolazi do ugradnje jona stroncijuma u kristalnu rešetku apatita [9]. Rendgenostrukturna i IR analiza je pokazala da sa povećanjem koncentracije Sr u čvrstoj fazi dolazi do linearnog povećanja oba parametara kristalne rešetke, praćeno odgovarajućim smanjenjem koncentracije kalcijuma. Time je nedvosmisleno potvrdjeno da se, za vreme kristalizacije, formiraju čvrsti rastvori tipa $Ca_{10-x}Sr_x(PO_4)_6(OH)_2$ a ne odvojeni kalcijum- stroncijum apatiti.

Fosfatna precipitacija je dugi niz godina ispitivana u Laboratoriji „Zaštita“. Ispitivan je mehanizam formiranja kristalnog apatita i utvrdjen je uticaj strukturnih i morfoloških osobina čvrste faze na efikasnost uklanjanja radioaktivnog stroncijuma [10].

Dodatak HAP pri enkapsulaciji

Za poboljšanje mehaničkih i sorpcionih osobina i otpornosti na "ličing", klasičnog cementnog postupka za imobilizacija radionuklida [11] često se koriste različiti aditivi. Tako se, na primer, pri enkapsulaciji, granule HAP mešaju sa ordinarnim portland cementom radi poboljšanja sorpcionih osobina [12].

Primena apatita za imobilizaciju aktinida

Zbog dobre geohemijske stabilnosti, silikati retkih zemalja sa apatitnom strukturom su jedan od kandidata za imobilizaciju aktinida u višefaznim keramičkim sistemima. Ovi apatiti imaju opšti sastav: $Ca_{4-x}RE_{6+x}(SiO_4)_{6-y}(PO_4)_y(F, OH, O)_2$ (gde su RE = La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu i Gd) i izostrukturni su sa prirodnim apatitima. Aktinidi lako zamenjuju elemente retkih zemalja u heksagonlnoj kristalnoj rešetki i zato se intenzivno ispituju kao čvrsta matrica za imobillizaciju aktinida [3, 13]. Pokazano je da apatiti sa ugradjenim aktinidima zadržavaju stabilnu kristalnu strukturu, bez obzira na unutrašnje zračenje, što je posledica mogućnosti brzog termalnog oporavka [2].

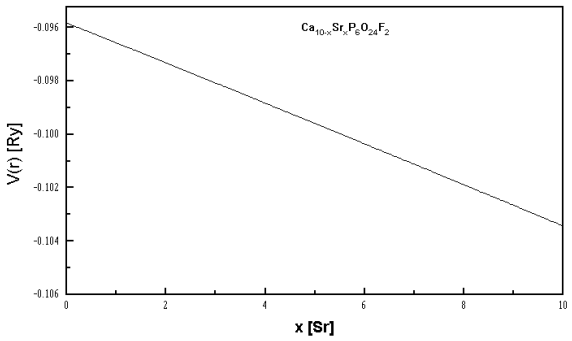
PRIMENA APATITA KAO BARIJERE U OKOLINI ODLAGALIŠTA NUKLEARNOG OTPADA

Rasprostranjenost apatita u prirodi i njegove sorpcione osobine uslovile su ispitivanje mogućnosti korišćenja modifikovanih prirodnih apatita kao dodatnog materijala u kontejnerima za odlaganje iskorišćenog nuklearnog goriva. Pored toga, različite

mineralne modifikacije se razmatraju kao komponente prirodne ili inženjerske barijere u okolini odlagališta nuklearnog otpada [14]. U našoj zemlji prirodni apatiti se nalaze u značajnim količinama u fosfatnoj rudi iz ležišta Lisina kod Bosiljgrada u jugoistočnoj Srbiji, u oblastima Bujanovca i Kukavice a kao akcesorni apatiti najznačajnija nalazišta su u granitoidnim stenama Golije. Autunit i torbenit, uranil fosfatni apatiti, nalazi se u ležištima urana na Staroj planini, na Bukulji i u Slatinskoj reci u centralnoj Srbiji.

OPTIMIZACIJA PROCESA IMOBILIZACIJE RADIONUKLIDA U ČVRSTOJ MATRICI

Na primeru apatita pokazali smo složenost problema imobilizacije radionuklida u čvrstoj matrici. Osnovne zahteve, kao što su: (i) minimum upotrebljenih aditiva, (ii) maksimalnog stepena dekontaminacije i (iii) formiranje stabilnog sistema čvrsta matrica - primesa, nemoguće je ostvariti bez multidisciplinarnog pristupa problemu i bez detaljnog razumevanja mehanizama i osnovnih fizičkih procesa koji se odvijaju u sistemu. Takodje, samo eksperimentalna istraživanja nisu dovoljna jer je broj kombinacija vrlo veliki, što zahteva često neprihvatljiv utrošak vremena i materijalnih sredstava. Jedini način da se ovaj problem prevazidje predstavlja prethodna teorijska analiza koja omogućava preselekciju optimalnog sastava matrica - primesa za konkretan sistem.



Slika 1. Promena potencijal jon - jon interakcije V(r) u sistemu Sr-fluorapatit u funkciji koncentracije ugradjenog stroncijuma

Polazeći od jon-jon interakcije kao relevantnog parametra razvili smo matematički model za procenu stabilnosti sistema u zavisnosti od sastava [15, 16]. Koristeći predloženi teorijski kriterijum moguće je odrediti: (i) kapacitet čvrste matrice za ugradjivanje primesa i (ii) stabilnost sistema matrica - primesa. Provera rezultata dobijenih primenom ovog teorijskog kriterijuma uradjena je na modelnom sistemu apatit - metalna primesa. Ovaj sistem je izabran zbog svog praktičnog značaja i obimne literature.

U Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ razvijen je namenski softver VINMATRIX 1.0 („Vinčanski Matriks“) za primenu matematičkog modela za odredjivanje stabilnosti sistema čvrsta matrica - primesa. Detaljan opis programa dat je u drugom radu ovog zbornika [17]. Rezultati primene teorijskog modela za ispitivanje stabilnosti sistema fluorapatit - stroncijum prikazani su na Slici 1.

Kao što se sa slike vidi, potencijal jon - jon interakcije V(r) linearno opada sa povećanjem koncentracije Sr u čvrstoj fazi. Analogno ponašanje je utvrdjeno i za sistem Sr-HAP [16]. Opadanje V(r) ukazuje na formiranje stabilnog sistema što je naročito značajno sa aspekta dugotrajne stabilnosti. Imajući u vidu da predstavlja najrasprostranjeniji prirodni apatit i da mu se unutrašnja stabilnost povećava sa ugradnjom radionuklida, fluorapatit predstavlja veoma pogodan materijal za praktičnu primenu u tretmanu nuklearnog otpada.

LITERATURA

[1] Lutze W., Ewing R. C., Radioactive Waste Forms for the Future, North-Holland, Amsterdam, 1988.
[2] Weber W.J., Ewing R.C., Meldrum A., J. Nucl. Mater., 250 (1997) 147.
[3] Weber W, J., Ewing R. C., Catlow C. R. A., Diaz de la Rubia T., Hobbs L. W., Kinoshita C., Matzke Hj., Motta A. T., Nastasi M., Salje E. K. H., Vance E. R., Zinkle S. J., J. Mater. Res., 13 (1998) 1434.
[4] Corbridge D. E. C., Phosphorus, An outline of its chemistry, biochemistry and technology, Elsevier, Amsterdam, 1985, p. 134.
[5] Bros R., Carpena J., Sere V., Beltritti A., Radiochim. Acta, 74 (1996) 277.
[6] Hidaka H., Takahashi K., Holliger P., Radiochim. Acta, 66 (1994) 463.
[7] Wronkiewicz D.J., Wolf S. F., DiSanto T. S., Scientific Basis for Nuclear Waste Management XIX, Pittsburg, 1996, p. 345.
[8] IAEA Technical Report Series No.236, IAEA, Vienna, 1984, p.52.
[9] Koutsoukos P. G., Nancollas G. H., J. Phys. Chem., 85 (1981) 2403.
[10] Raičević S., Vuković Ž., Lizunova T.L., Komarov V.F., J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, 204 (1996) 363.
[11] Plećaš I., Proceedings on the Int. Conf. TOP SAFE'98, Valencia, 1998, 34.
[12] Jantzen C. M., Glasser F. P., Ceram. Bull, 58 (1979) 459.
[13] Boyer L., Carpena J., Lacout J. L., Solid State Ionics, 95 (1997) 121.
[14] Roy R., Radioactive Waste Disposal, Pergamon Press, New York, 1982, p. 217.
[15] Raičević S., Lalović D.I., Veljković V., Postupak za optimizaciju procesa imobilizacije metala u čvrstoj matrici, Patentna prijava br. P-269/97, Podnosilac prijave NI Vinča, Beograd, juni 1997.
[16] Raičević S., Plećaš I., Lalović D.I., Veljković V., Proceedings of the conference Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXII, Boston, 1998, QQ9.62.
[17] Lazović J., Škrbić N., Raičević S., Zbornik radova XX simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac, 1999, u štampi.

ABSTRACT

Sorption and structural properties of apatite and apatite-like materials, which enable usage in different fields of radioactive waste management, have been discussed. Apatite structure, depending on composition, allows the substitution of numerous radionuclides (Sr, actinides). In order to evaluate the stability of these complex systems the ion-ion interaction potential has been used. By the application of VINMATRIX 1.0 software that we developed at the Institute of Nuclear Sciences "Vinca", the ion-ion interaction potential had been calculated for the Sr-fluorapatite system. Decreasing of the potential of fluorapatite with the incorporation of Sr indicates the formation of a more stable system, which will enhance its possibility of practical application in nuclear waste management.

ISPITIVANJE EFIKASNOSTI NOVIH EMULZIONIH SISTEMA PRI RADIOLOŠKOJ DEKONTAMINACIJI METALNIH POVRŠINA

N. Stjepanović, V. Mladenović, Z. Luković, S. Ivković
Vojnotehnički institut, Beograd

SADRŽAJ

Ispitana je efikasnost emulzija FN-10 i FN-6 i deterdženta DV-60 pri radiološkoj dekontaminaciji površina kontaminiranih sa Cs-137. Upoređeni su rezultati efikasnosti dekontaminacije čistih i realnih (zamašćenih) površina. Dobijeni rezultati pokazuju da je najefikasnije sredstvo za radiološku dekontaminaciju DV-60 u oba slučaja, dok je od emulzija efikasnija FN-10.

UVOD

Za potrebe hemijske i biološke dekontaminacije opreme koristi se 0.5%-tni rastvor kaporita, a za potrebe radiološke dekontaminacije 0.5%-tni rastvor deterdženta DV-60 [1]. Kako pri ovakvoj koncentraciji kaporita dolazi do izražene korozije i izdvajanja velike količine taloga na uređajima za aplikaciju rastvora i otežane manipulacije, to se nameće potreba da se koncentracija hipohlorita smanji i zameni nekom drugom komponentom bez smanjenja efikasnosti hemijske dekontaminacije. U tom smislu istraženi su emulzioni sistemi sa nejonogenim emulgatorima meriten FN-10 i meriten FN-6. Inače, u svetu se emulzioni sistemi široko koriste za potrebe RHB dekontaminacije [2,3]. U cilju unifikacije sredstava za dekontaminaciju od interesa je ispitati efikasnost ovih emulzija, u odnosu na efikasnost deterdženta DV-60 pri radiološkoj dekontaminaciji.

EKSPERIMENT

Ispitivanja su vršena na kružnim čeličnim pločicama, prečnika 3.5 cm, premazanim alkidno-karbamidnom bojom. Debljina premaza je bila 0.02 mm. Zamašćivanje pločica vršeno je potapanjem uzorka u sistem motorno ulje-etanol u odnosu 1:1. Rastvori koji su korišćeni za dekontaminaciju su : 0.5%-tni rastvor deterdženta DV-60, emulzija FN-10 (0.5% FN-10, 1% tetrahloretilen, voda) i emulzija FN-6 (0.5% FN-6, 1% dizel gorivo D-2, voda). Emulzije su pripremane neposredno pre upotrebe, mešanjem komponenata, uz intenzivno mućkanje. Kontaminacija sa Cs-137 je vršena nanošenjem rastvora špricem u obliku sitnih kapi po površini pločice. Specifična površinska aktivnost čistih pločica bila je 0.50 ± 0.05Bq /cm^2, a zamašćenih 0.80 ± 0.07 Bq / cm^2. Površinska aktivnost je posle sušenja, kao i posle svakog stupnja dekontaminacije, merena gamaspektrometrijskom metodom na višekanalnom analizatoru CANBERRA S-90, sa HP

germanijumskim detektorom (Cs-137 pik 661.6 keV). Dekontaminacija je vršena u tri stupnja: prvo sa vodom (500 μl), zatim u dva stupnja sa emulzijom (FN-10 ili FN-6) ili deterdžentom VD-60 (250 μl). Skupljanje dekontaminanta je vršeno pamučnim tamponima, bez pritiskanja, da bi se izbeglo mehaničko skidanje aktivnosti.

REZULTATI I DISKUSIJA

Dobijeni rezultati ispitivanja sredstava za dekontaminaciju na čistim uzorcima kontaminiranim sa Cs-137 dati su u tabeli 1. Rezultati dati u tabeli su srednje vrednosti merenja dva uzorka.

Tabela 1. Efikasnost različitih sredstava pri dekontaminaciji čistih površina kontaminiranih sa Cs-137

sredstvo /stupanj	aktivnost Cs-137 (Bq)	step. dekon (%)	rel.step.dekon. (%)
naneto Cs-137	4.7		
voda	1.1	77.0	
DV-60 / I	0.3	94.4	75.8
DV-60 / II	0.1	97.1	87.6
naneto Cs-137	4.6		
voda	0.8	86.6	
FN-10 / I	0.3	94.3	65.1
FN-10 / II	0.2	96.5	78.8
naneto Cs-137	5.0		
voda	1.2	76.8	
FN-6 / I	0.6	87.4	45.8
FN-6 / II	0.3	94.1	74.5

Sva sredstva upotrebljena pri radiološkoj dekontaminaciji čistih površina su se pokazala kao efikasna, sa stepenom dekontaminacije u drugom stupnju dekontaminacije većim od 94%. Najefikasnije sredstvo je DV-60 sa stepenom dekontaminacije u krajnjem stupnju 97%. Od dve emulzije efikasnija je FN-10, što se vidi i iz podataka o relativnom stepenu dekontaminacije, tj. stepenu dekontaminacije u odnosu na izvršenu dekontaminaciju sa vodom.

Rezultati ispitivanja sredstava za dekontaminaciju na zamašćenim uzorcima kontaminiranim Cs-137 dati su u tabeli 2.

Pri upotrebi svakog od pomenutih sredstava dobija se stepen dekontaminacije veći od 90%. Deterdžent je efikasniji pri dekontaminaciji zamašćenih površina, nego pri dekontaminaciji čistih, dok je emulzija FN-6 manje efikasna pri dekontaminaciji

zamašćenih površina. Nema bitne razlike u efikasnosti emulzije FN-10 pri dekontaminaciji čistih i zamašćenih površina. Ona u oba slučaja ima stepen dekontaminacije oko 96%.

Tabela 2. Efikasnost različitih sredstava pri dekontaminaciji zamašćenih površina kontaminiranih sa Cs-137

sredstvo /stupanj	aktivnost Cs-137 (Bq)	step. dekon. (%)	rel. step. dekon. (%)
naneto Cs-137	8.2		
voda	2.4	70.3	
DV-60 / I	0.3	96.7	89.0
DV-60 / II	0.1	98.4	94.6
naneto Cs-137	6.8		
voda	2.6	61.7	
FN-10 / I	0.2	96.4	90.6
FN-10 / II	0.2	96.4	90.6
naneto Cs-137	7.8		
voda	2.9	62.4	
FN-6 / I	1.3	83.4	55.8
FN-6 / II	0.8	90.1	73.6

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata iz tabela 1 i 2 uočava se da je sa stanovišta efikasnosti dekontaminacije najefikasniji dekontaminacioni sistem sa deterdžentom DV-60, iako i emulzioni sistem sa emulgatorom FN-10 pokazuje zadovoljavajuću efikasnost.

Ispitivanja emulzionih sistema navedenog sastava pri dekontaminaciji zamašćenih metalnih površina nisu pokazala očekivanu efikasnost istih. Verovatno zbog malog sadržaja organske faze (1% v / v) nisu mogla da dođu do izražaja ekstrakciona svojstva emulzionog sistema, pošto je "uljana faza" čvršće vezana za podlogu, nego kapi rastvora kontaminanta, gde su dobijeni bolji rezultati.

Na bazi gore navedenih podataka nameće se potreba daljeg ispitivanja ovih emulzionih sistema sa većim sadržajem organske faze.

LITERATURA

[1] A. Puzderiski, Hemijska dekontaminacija, TŠC, Zagreb, 1976.
[2] Y. C. Yang, J. Baker, J. Ward, Chem. Rev., 92, 1729, (1992).
[3] Y. Wei, J. Wang, G. Wei, Ch. T. Tang, W. Wang, F. Bartram, J. Dispersion Sci. Technol., 17 (3), 307 (1996).

ABSTRACT

THE RADIOLOGIC DECONTAMINATION OF METAL SURFACES WITH NEW EMULSION SYSTEM

N. Stjepanović, V. Mladenović, Z. Luković, S. Ivković
Military Technical Institute, Belgrade

The eficiencies of the emulzion FN-10 and FN-6 and detergent DV-60 in the radiological decontamination were investigated. The metal surfaces, clean and dirty, were contaminated with Cs-137, and decontaminated with water and appropriate solution. The most efficience of DV-60 in both cases, was obtained.

TAČKA NULTOG NAELEKTRISANJA I SORPCIJA STRONCIJUMA HIDROKSIAPATITOM

I. Smičiklas, S. Milonjić, P. Pfendt[1]
INN „Vinča“, Beograd
[1]Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd

SADRŽAJ

Ispitivane su površinske osobine hidroksiapatita (HAP), $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, sintetisanog metodom spore titracije, u inertnoj atmosferi, na 95°C. Sintetisani prah je okarakterisan u pogledu hemijskog sastava, kristalne strukture, oblika i veličine čestica, specifične površine i položaja tačke nultog naelektrisanja. Tačka nultog naelektrisanja za odnos čvrsto/tečnost 1:400 iznosi 4,3. Sorpcija stroncijuma ispitivana je u širokom opsegu pH vrednosti (4,5-11,5). Pronađeno je da količina sorbovanog stroncijuma raste sa porastom ravnotežnih pH vrednosti, što se objašnjava porastom elektrostatičkih, privlačnih sila između površine HAP, koja je negativno naelektrisana pri $pH>pH_{PZC}$ i katjona Sr^{2+}.

UVOD

Interakcija između različitih oblika kalcijum fosfata i radioaktivnih izotopa intenzivno je proučavana poslednjih godina [1-3]. Istraživanja su posebno usmerena na hidroksiapatit s obzirom da je to najmanje rastvorno jedinjenje u sistemu kalcijuma i fosfora, i da je zastupljeno i u životnoj sredini i u koštanom tkivu. Koprecipitacija ^{90}Sr pomoću hidroksiapatita proučavana je pod različitim eksperimentalnim uslovima [4]. Pronadjeno je da se usled smanjenja rastvorljivosti HAP sa povišenjem pH i količina ^{90}Sr u čvrstoj fazi povećava. U ovom radu su proučavane površinske osobine sintetičkog HAP i uticaj pH na sorpciju stroncijuma.

EKSPERIMENTALNI DEO

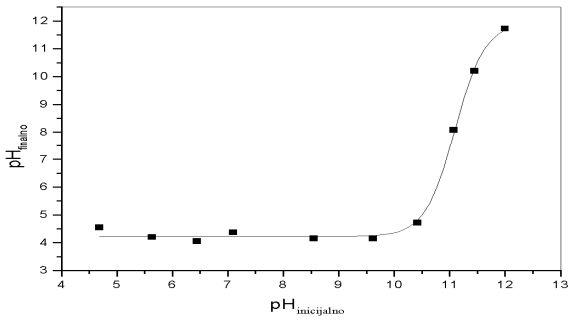
Hidroksiapatit je sintetisan metodom spore titracije [5]. Količina kalcijuma u uzorku, posle rastvaranja u razblaženoj azotnoj kiselini, određena je metodom atomske apsorpcione spektrometrije (AAS), na instrumentu Perkin Elmer 703, a količina fosfora građenjem plavo obojenog fosfomolibdatnog kompleksa i merenjem absorbance na 690 nm, pomoću UV/VIS spektrofotometra Perkin Elmer Lambda 1A. Kristalna struktura praha određena je na instrumentu Siemens-Kristalloflex, a oblik i veličina čestica skenirajućim elektronskim mikroskopom Philips XL30. Specifična površina merena je na Strohlein areametru, B.E.T. metodom. Za određivanje tačke nultog naelektrisanja (pH_{PZC}) korišćena je metoda uravnoteživanja [6]. Frakcije od po 0,0500 g HAP uravnoteživane su sa po 20,00

cm^3 0,1 mol/dm^3 rastvora KNO_3, na 25°C, uz konstantno mućkanje, 24 časa. Polazne pH vrednosti rastvora (4,5-12) podešene su dodavanjem minimalnih količina 0,1 mol/dm^3 KOH. Nakon uravnoteživanja rastvor je odvajan ceđenjem i pH je ponovo mereno.

Uticaj pH na sorpciju stroncijuma hidroksiapatitom ispitivan je ravnotežnom metodom pri istom odnosu čvrsto/tečno (1:400). Polazna koncentracija Sr^{2+} bila je $5 \cdot 10^{-4}$ mol/dm^3, a jonska jačina rastvora podešena je na 0,1 mol/dm^3 dodatkom potrebne količine 1 mol/dm^3 KNO_3. Suspenzije su uravnotežavane 24 h, na šejkeru, termostatiranom na 25°C. Nakon uspostavljanja ravnoteže u bistrim rastvorima određivane su finalne pH vrednosti, količina Sr^{2+} zaostalog u rastvoru kao i količina Ca^{2+} otpuštenog u rastvor.

REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza sintetisanog hidroksiapatita pokazala je da se radi o prahu stehiometrijskog sastava (Ca/P=1,67), visoke kristaliničnosti i specifične površine 21 m^2/g. Skenirajuća elektronska mikroskopija pokazala je da su aglomerisane čestice hidroksiapatita sfernog oblika, prosečne veličine 10 μm. Tačka nultog naelektrisanja, određena iz grafika zavisnosti $pH_{finalno}=f(pH_{inicijalno})$, i za odnos čvrsto/tečno 1:400 iznosi 4,3 (Slika 1).



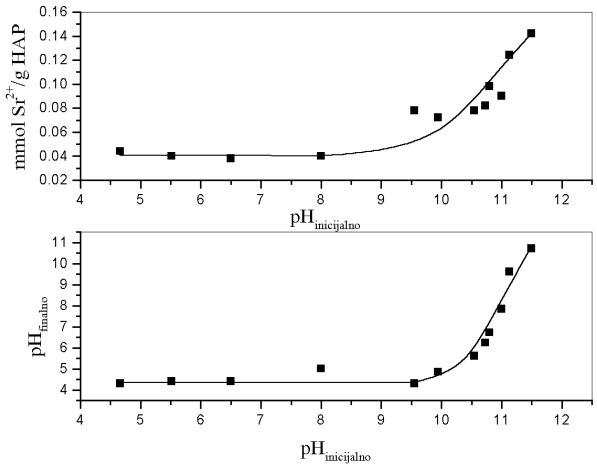
Slika 1. Određivanje tačke nultog naelektrisanja HAP, pri odnosu čvrsto/tečnost 1:400

Takođe se uočava i veliki puferski kapacitet hidroksiapatita koji je posledica njegove amfoterne prirode. Nakon uravnoteživanja sa rastvorima polaznog pH u granicama od 4,5 do 10,0 finalne pH vrednosti su iste i jednake vrednosti pH_{PZC}.

Ista zavisnost između inicijalnih i finalnih pH vrednosti dobijena je i u prisustvu stroncijuma.

Količina sorbovanog Sr^{2+} je konstantna iz rastvora inicijalnih pH u granicama 4,5-10, a zatim raste sa porastom pH, odnosno količina sorbovanog Sr^{2+} raste sa porastom finalnih pH vrednosti (Slika 2).

Odnos Ca/Sr opada sa porastom ravnotežnog pH, od ~1,6 pri pH 4,5 do ~0,05 pri pH 10,7, što je očekivano obzirom da se rastvorljivost HAP smanjuje sa porastom pH [7]. Ovi rezultati isključuju jonsku izmenu kalcijuma stroncijumom, pri višim pH.



Slika 2. Zavisnost količine sorbovanog Sr^{2+} i finalnih pH od inicijalnih pH vrednosti

Koeficijent raspodele Sr^{2+} može se izračunati prema izrazu:

$$K_d=(C_o-C_e)/C_e \cdot V/M \qquad (cm^3/g)$$

gde je C_o-polazna koncentracija Sr^{2+}, C_e-ravnotežna koncentracija, V-zapremina rastvora a M-masa adsorbenta. Jedna od mogućih reakcija između površinskih grupa čvrste supstance (S-OH) i Sr^{2+}-jona može se pretstaviti sledećom jednačinom:

$$2S\text{-}OH + Sr^{2+} \Leftrightarrow (S\text{-}O)_2Sr + 2H^+$$

Konstanta ravnoteže ove reakcije može se izračunati prema formuli:

$$K=[(S\text{-}O)_2Sr][H^+]^2 / [S\text{-}OH]^2[Sr^{2+}]$$

Pošto konstanta raspodele Sr^{2+} predstavlja odnos koncentracija Sr^{2+} u čvrstoj i tečnoj fazi $[(S\text{-}O)_2Sr] / [Sr^{2+}]$, jednačina za izračunavanje konstante ravnoteže se može pisati:

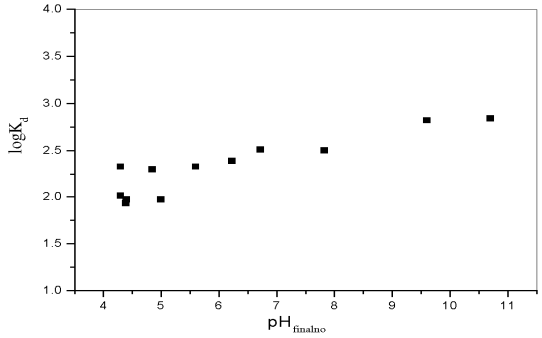
$$K= K_d\ [H^+]^2 / [S\text{-}OH]^2$$

Ovu jednačinu možemo da logaritmujemo i izrazimo preko K_d

$$\log K_d=\log K + 2\log[S\text{-}OH] + 2pH$$

Između $\log K_d$ i pH postoji linearna zavisnost, ako se pretpostavi da je izraz logK + 2log[S-OH] konstanta. Ukoliko se sorpcija stroncijuma odigrava mehanizmom jonske izmene sa vodonikom onda bi za 1mol vezanog Sr^{2+} 2mol H^+ trebalo da bude otpušteno u rastvor, odnosno nagib prave bi bio blizak 2. Rezultati našeg eksperimenta pokazuju da nagib prave logKd=f(pH) iznosi ~0,1 (Slika 3), što isključuje mogućnost da se Sr^{2+} sorbuje na hidroksiapatitu zamenom vodonikovih jona, u ispitivanom opsegu pH.

Sa povećanjem pH vrednosti rastvora iznad pH_{PZC} površina hidroksiapatita postaje negativno naelektrisana, pa je najverovatnije da se porast sorpcije Sr^{2+} sa porastom pH javlja usled porasta elektrostatičkih privlačnih sila.



Slika 3. Zavisnost logaritma koeficijenta raspodele Sr^{2+} od finalnih pH vrednosti

LITERATURA

[1] J. Samachson, J. Dennis, R. Fowler, J. Dent. Res. 47 (1968) 121.
[2] J. Jeanjean, J.C. Rouchaud, L. Tran, M. Fedoroff, J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters 201 (1995) 529.
[3] Ž. Vuković, S. Lazić, I. Tutunović, S. Raičević, J. Serb. Chem. Soc. 63 (1998) 387.
[4] S. Lazić, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu (1991).
[5] S. Lazić, J. Katanić-Popović, S. Zec, J. Crystal Growth 165 (1996) 124.
[6] S.K. Milonjić, Z. E. Ilić, M. M. Kopečni, Colloid Surfaces 6 (1983) 167.
[7] G. J. Levinskas, W.F. Neuman, J. Phys. Chem. 59 (1955) 164.

ABSTRACT

POINT OF ZERO CHARGE AND SORPTION OF STRONTIUM ON HYDROXYAPATITE

I. Smičiklas, S. Milonjić,P. Pfendt[1]
The Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade
[1]Department of Chemistry, University of Belgrade, Belgrade

Surface characteristics of synthetic hydroxyapatite, obtained by slow titration technique, in the inert atmosphere, at 95°C, were investigated. The chemical composition, crystal structure, particles shape and size, specific surface area and point of zero charge of synthesized hydroxyapatite powder were analyzed. The point of zero charge, at solid/liquid ratio=1:400, is 4.3. Sorption of strontium was investigated in a wide pH region (4.5-11.5). It was found that sorption of Sr^{2+} increases with an increase of equilibrium pH values. This phenomenon can be explained by increase in attraction electrostatic forces between hydroxyapatite surface, which becomes negative charged at $pH>pH_{PZC}$, and Sr^{2+} cations.

UKLANJANJE RADIONUKLIDA IZ VODE I VAZDUHA PRIMENOM MEMBRANSKIH SEPARACIONIH PROCESA

G. T. Vladisavljević, M. B. Rajković
Institut za prehrambenu tehnologiju i Biohemiju, Poljoprivredni fakultet, Zemun,
e-mail: gtvladis@afrodita.rcub.bg.ac.yu

SADRŽAJ

U ovom radu je dat pregled osnovnih membranskih separacionih procesa koji se mogu primeniti za separaciju radionuklida. Posebna pažnja je posvećena procesima koji se odigravaju primenom jonoizmenjivačkih membrana i tečnih membrana.

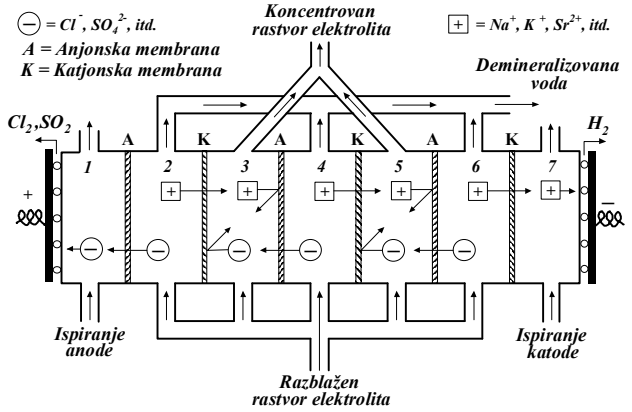
UVOD

Za uklanjanje radionuklida iz vode i vodenih rastvora može se primeniti čitav niz klasičnih separacionih procesa, kao što je jonska izmena, klasična ekstrakcija "tečno-tečno", taloženje, adsorpcija [1], itd. Međutim, često se zanemaruje mogućnost primene membranskih procesa koji se mogu efikasno primeniti za koncentrisanje i/ili separaciju radionuklida iz gasovite ili tečne faze. Za koncentrisanje radioaktivnih jona metala iz vodenih rastvora može se primeniti elektrodijaliza, Donnanova dijaliza, pertrakcija i reversna osmoza. Pri elektrodijalizi se vrši koncentrisanje svih jonova iz rastvora bez promene pH ili jonska izmena katjona ili anjona. Pri pertrakciji i Donnanovoj dijalizi se anjoni ili katjoni koncentrišu prelaskom u kiselu sredinu, a osnovna razlika između ova dva procesa je u tome što se pertrakcijom može vršiti selektivno koncentrisanje jonova. Pri reversnoj osmozi se vrši koncentrisanje svih komponenata rastvora, a zasniva se na uklanjanju vode iz rastvora kroz guste membrane pod dejstvom velike razlike pritisaka. Za koncentrisanje radioaktivnog joda mogu se koristiti gasne membrane [2]. Uklanjanje radioaktivnih inertnih gasova iz vazduha se može vršiti permeacijom kroz membrane od silikonske gume [3], koje u cilju potpunije separacije mogu biti kaskadno vezane [4]. U daljem tekstu će neki od ovih membranskih procesa biti detaljnije objašnjeni.

ELEKTRODIJALIZA

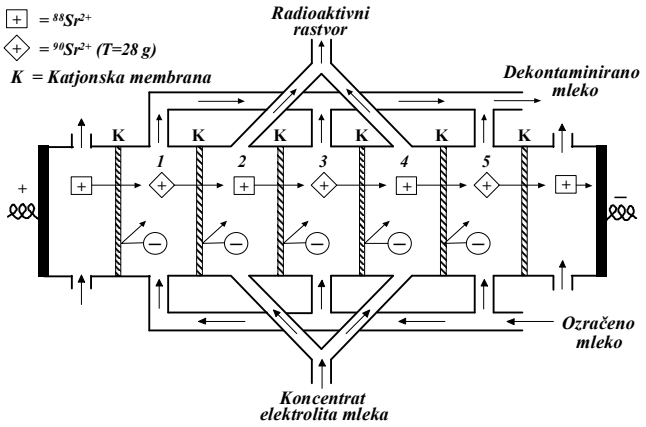
Elektrodijaliza se može primeniti za neselektivno koncentrisanje svih jonova iz vodenih rastvora ili za jonsku izmenu. U prvom slučaju se između dve elektrode (anode i katode) postavljaju naizmenično anjonske i katjonske membrane (sl. 1). Pod dejstvom EMS od 1-2 V po membranskom paru katjoni iz parnih komora prolaze kroz najbližu katjonsku membranu (K) u pravcu anode, dok anjoni difunduju kroz najbližu anjonsku membranu (A) u pravcu anode. Nakon prelaska u susedne neparne komore i katjoni i anjoni nailaze na

membranu suprotne selektivnosti koja ih zadržava na putu ka elektrodama, tako da je sumarni efekat ovog procesa uklanjanje jona iz parnih komora i njihovo koncentrisanje u neparnim komorama. Jonske membrane se obično proizvode od polistirola umreženog malom količinom divinilbenzola, a naelektrisanje im se postiže uvođenjem sulfo grupa ($-SO_3^-$) ili kvaternarnih amonijum grupa ($-NR_3^+$) u benzolov prsten.



Slika 1. Primena elektrodijalize za koncentrisanje elektrolita

Druga mogućnost primene elektrodijalize je jonska izmena. Ako se vrši zamena katjona koriste se samo katjonske membrane, dok se u slučaju zamene anjona koriste isključivo anjonske membrane. Zamena katjona se vrši pri uklanjanju radioaktivnog stroncijuma iz mleka (sl. 2). Pri ovom procesu se u neparne komore dovodi ozračeno mleko, a u parne komore relativno koncentrovana smeša elektrolita čiji sastav odgovara sastavu minerala u mleku.

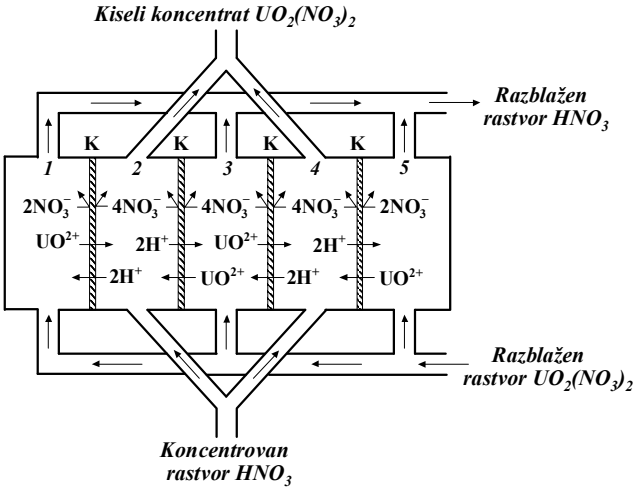


Slika 2. Primena elektrodijalize za uklanjanje radioaktivnog stroncijuma iz mleka

Pod dejstvom razlike električnog potencijala katjoni radioaktivnog stroncijuma ^{90}Sr, zajedno sa svim ostalim katjonima prisutnim u mleku, prelaze iz neparnih u parne komore. Električna neutralnost sistema se održava tako što istovremeno u mleko prelaze katjoni iz koncentrovane smeše elektrolita koja se nalazi u parnim komorama.

DONNANOVA DIJALIZA

Donnanova dijaliza se takođe vrši pomoću jonoizmenjivačkih membrana, ali u odsustvu spoljašnjeg električnog polja. Pri koncentrisanju uranil jona iz rastvora uranilnitrata (sl. 3) u neparne komore se dovodi polazni rastvor ove soli, a u parne komore koncentrovan rastvor neke kiseline. Usled postojanja gradijenta koncentracije joni kiseline teže da difunduju kroz membranu iz parnih u neparne komore. Međutim, pošto su membrane katjonske, H^+ joni prolaze kroz membranu, dok se nitratni anjoni zadržavaju, pri čemu se električna neutralnost rastvora održava prolaskom uranil jona u suprotnom pravcu, nasuprot njihovog gradijenta koncentracije. U ovom slučaju gradijent koncentracije H^+ jona indukuje uspostavljanje gradijenta električnog potencijala koji zatim uslovljava tok uranil jona kroz membranu u suprotnom smeru u odnosu na smer H^+ jona.

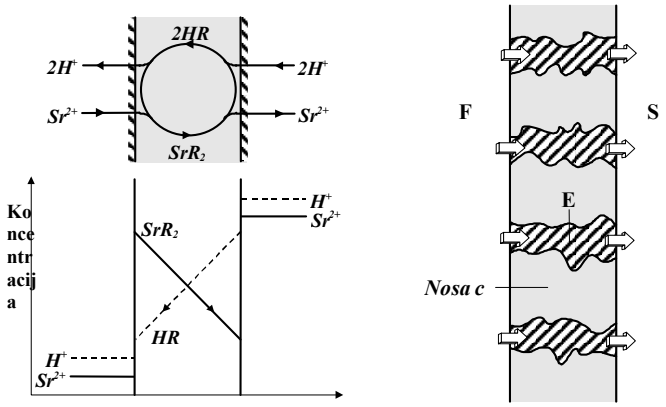


Slika 3. Koncentrisanje uranil jona Donnanovom dijalizom

PERTRAKCIJA

Pertrakcija omogućava selektivno koncentrisanje jona iz jonske smeše. Osnovna razlika u odnosu na Donnanovu dijalizu je što se ne koriste čvrste jonoizmenjivačke membrane, već tečni jonoizmenjivači koji su obično imobilisani u porama hidrofobne mikroporozne membrane ili lokalizovani između šupljih vlakana. U prvom slučaju jonski prenosnik je rastvoren u organskoj fazi i kapilarnim silama imobilisan u mikroporoznoj hidrofobnoj membrani. U slučaju pertrakcije radioaktivnog stroncijuma (sl. 4) kao jonski prenosnik (R) se može upotrebiti komercijalna smeša alkilfosfata u kerozinu, a kao mikroporozni nosač membrana od polipropilena ili polivinilidenfluorida [4]. Polazni

razblažen rastvor (F) protiče s jedne strane membrane, dok sa druge strane protiče 0,1-1 M rastvor HNO_3 (S). Prednost pertrakcije u odnosu na razdvojenu ekstrakciju i reekstrakciju je u manjoj potrebnoj količini ekstragensa i većoj srednjoj pogonskoj sili u toku izvođenja procesa.



Slika 4. Pertrakcija stroncijuma primenom imobilisane tečne membrane

MEMBRANSKA SEPARACIJA GASOVA

Za uklanjanje radioaktivnih ^{85}Kr i $^{133\text{-}135}Xe$ iz otpadnih gasova nuklearnih postrojenja može se primeniti kriogena destilacija, kriogena adsorpcija, apsorpcija i membranska separacija [5]. Sa aspekta sigurnosti postrojenja membranska separacija je najpodesniji proces, jer se vrši u modularnim aparatima i na normalnoj temperaturi, ali je nedostatak ovog procesa nedovoljna permeabilnost i selektivnost membrana. Da bi se ostvarili veći separacioni efekti membranski moduli se mogu kaskadno povezivati u složene sisteme, što može biti kombinovano sa ugradnjom dve različite membrane reversne selektivnosti u okviru jednog istog modula [6, 7]. Najbolji efekti pri dvojnoj separaciji smeše Kr/N_2 se postižu korišćenjem membranskog para sastavljenog iz jedne porozne membrane od celuloznog acetata, kroz koju prioritetno prolazi N_2 i jedne neporozne membrane od silikonske gume, kroz koju prioritetno prolazi Kr [5]. Uzrok selektivnosti membrane je različita rastvorljivost pojedinih gasova u polimernom materijalu membrane, što dovodi do uspostavljanja različitih gradijenata koncentracije gasova duž membrane.

ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih podataka može se zaključiti da se membranski procesi mogu uspešno primeniti za separaciju radionuklida iz tečne i gasovite faze. Za izvođenje procesa mogu se koristiti polimerne, tečne i gasne membrane različitih konfiguracija, pri čemu se veći separacioni efekti mogu ostvariti primenom dvojne separacije i membranskih kaskada.

LITERATURA

[1] Ž.Vuković, I.Tutunović, Sorpcija stroncijuma hidroksiapatitom, XIX Jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Golubac, 18-20. jun 1997, Zbornik radova, 325-328.
[2] Z. Q, E.L. Cussler, AIChE J., 31, 1548-1553 (1985).
[3] S.A. Stern, S.M. Leone, AIChE J., 26, 881-890 (1980).
[4] D.L. Hofman et al., I. Chem. E. Syposium Ser. No. 103, 179-190 (1987).
[5] M. Ohno et al., J. Nucl. Sci. Technol., 14, 589-602 (1977).
[6] G.T. Vladisavljević, M.B. Rajković, Hung. J. Ind. Chem., 26, 113-119 (1998).
[7] G.T. Vladisavljević, V.Lj. Pavasović, M.B. Rajković, J. Vodnik, Vinča Institute of Nuclear Sciences Bulletin, Supplement 1, July 1997, 2, 647-650 (1997).

ABSTRACT

USE OF MEMBRANE SEPARATION PROCESSES FOR THE SEPARATION OF RADIONUCLIDES FROM LIQUID AND GAS STREAMS

G. T. Vladisavljević, M. B. Rajković
Institute of Food Technology and Biochemistry, Belgrade

Use of membranes for the separation and recovery of radionuclides from contaminated liquid and gas streams has been discussed in this paper. The special attention has been paid to the use of ion-exchange membranes for electrodialysis and Donnan dialysis, as well as the use of facilitated liquid membranes for liquid pertraction.

VINMATRIX 1.0
SOFTVER ZA ODREĐIVANJE STABILNOSTI SISTEMA ČVRSTA MATRICA-PRIMESA

J. Lazović, N. Škrbić, S. Raičević[1]
INN „Vinča“, Centar za multidusciplinarna istraživanja i inženjering,
[1] INN „Vinča“, Laboratorija za zaštitu od zračenja „Zaštita“

SADRŽAJ

U radu je opisan softver VINMATRIX 1.0 za određivanje stabilnosti sistema čvrsta matrica - primesa. U osnovi softvera je izračunavanje vrednosti potencijala jon-jon interakcije, jednog od osnovnih fizičkih parametara koji definišu: (1) kapacitet čvrste matrice za inkorporaciju primesa i (2) stabilnost sistema čvrsta matrica - primesa [1]. Primena ovog softvera je ilustrovana na primeru imobilizacije olova hidroksiapatitom.

UVOD

PC računari iz godine u godinu ostvaruju izuzetan napredak u poboljšanju hardverskih performansi, naročito brzine. Javlja se potreba za softverom koji će iskoristiti njihove mogućnosti i zadovoljiti potrebe istraživača iz različitih naučnih oblasti. Na taj način uspešno rešavanje kompleksnih aplikativnih problema primenom odgovarajućeg softvera daje ideje za postavljanje i rešavanje još kompleksnijih problema [2].

Uklanjanje i bezbedno odlaganje radioaktivnih i hazardnih otpadnih materijala je kompleksan problem koji zahteva imobilizaciju metala u čvrstoj matrici [3,4]. Pri tome je naročito važna mogućnost ekstrapolacije kratkotrajnih laboratorijskih, eksperimentalnih podataka na dugotrajnu stabilnost sistema (reda veličine 10^3 do 10^5 godina). Ovi zahtevi su zakonski regulisani i neophodan su uslov za bezbedno odlaganje opasnih materijala u okolinu.

Kao rezultat višegodišnjih istraživanja u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“ [5-7], sa ciljem da se automatizuje određivanje stabilnost sistema čvrsta matrica-primesa razvili smo softver VINMATRIX 1.0 za PC računare. Ovaj softver se bazira na korišćenju potencijala jon-jon interakcije kao glavne mere stabilnosti sistema.

POTENCIJAL JON-JON INTERAKCIJE

U osnovi savremenog shvatanja prirode metala i složenih sistema leži pojam pseudopotencijala. Potencijal jon-jon interakcije reprezentuje strukturno zavisnu komponentu kohezione energije sistema. Za programsko izračunavanje vrednosti

potencijala jon-jon interakcije sistema čvrsta matrica-primesa koristi se sledeća formula izvedena u okviru teorije pseudopotencijala, primenom pseudoatomske aproksimacije:

$$V(r) = \frac{9\pi Z^{*2} w_{2K_F}^2}{E_F} \cdot \frac{\cos(2k_F r)}{(2k_F r)^3} , \qquad (1)$$

gde je Z^* srednji valentni broj datog sistema, $k_F = (3\pi^2 Z^* / \Omega^*)^{1/3}$ Fermijev impuls, Ω^* srednja atomska zapremina, $E_F = k_F^2$ Fermijeva energija, a w_{2k_F} predstavlja matrični element pseudopotencijala elektron-jon interakcije za $q = 2k_F$ dat izrazom:

$$w_{2k_F} = \alpha_1 Z^* \frac{\sin(2\pi\alpha_2 Z^*)}{2\pi} ,$$

gde koeficijenti α_1 i α_2 imaju vrednosti:

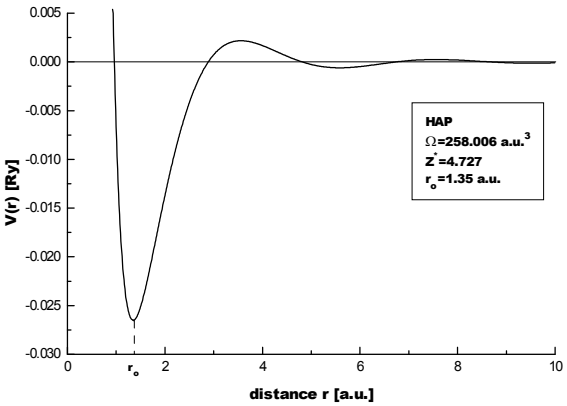
$$\alpha_1 = \begin{cases} -0.2500 \quad Ry \quad , \textit{za kratke periode i polovinu dugih perioda periodnog sistema} , \\ -0.0625 \quad Ry \quad , \textit{za drugu polovinu dugih perioda periodnog sistema} . \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} +0.5200 \quad Ry \quad , \textit{za kratke periode i polovinu dugih perioda periodnog sistema} , \\ +0.0480 \quad Ry \quad , \textit{za drugu polovinu dugih perioda periodnog sistema} . \end{cases}$$

Kada je u pitanju sistem čvrsta matrica-primesa, tada se u skladu sa pseudoatomskom aproksimacijom, uzima srednji valentni broj sistema.

Tabela 1. Vrednosti potencijala jon-jon interakcije $V(r_0)$ za sistem $Ca_{10-x}Pb_x(PO_4)_6(OH)_2$ izračunate na osnovu jednačine (1), korišćenjem softvera VINMATRIX 1.0.

x	Ω^* (a.u.)^3	Z^*	α_1 (Ry)	α_2 (Ry)	r_0 (a.u.)	$V(r_0)$ 10^{-2} (Ry)
0.00	258.006	4.727	0.2500	0.5200	1.35	-2.651
0.50	256.108	4.864	0.2479	0.5146	1.34	-0.015
1.00	254.219	5.000	0.2457	0.5093	1.32	-3.534
1.50	252.340	5.136	0.2436	0.5039	1.30	-12.369
2.00	250.470	5.273	0.2415	0.4985	1.29	-24.261
2.50	248.609	5.409	0.2393	0.4932	1.28	-36.344
3.00	246.758	5.545	0.2372	0.4878	1.26	-45.987
3.50	244.915	5.682	0.2351	0.4825	1.25	-51.387
4.00	243.082	5.818	0.2330	0.4771	1.24	-51.837
4.50	241.258	5.955	0.2208	0.4717	1.22	-47.696
5.00	239.443	6.091	0.2287	0.4664	1.21	-40.100
5.50	237.638	6.227	0.2266	0.4610	1.20	-30.598
6.00	235.841	6.364	0.2244	0.4556	1.19	-20.794
6.50	234.054	6.500	0.2223	0.4503	1.18	-12.068
7.00	232.275	6.636	0.2202	0.4449	1.17	-5.403
7.50	230.506	6.773	0.2180	0.4395	1.15	-1.339
8.00	228.745	6.909	0.2159	0.4342	1.14	-0.000
8.50	226.994	7.045	0.2138	0.4288	1.13	-1.183
9.00	225.251	7.182	0.2116	0.4235	1.12	-4.467
9.50	223.518	7.318	0.2095	0.4181	1.11	-9.322
10.00	221.793	7.455	0.2074	0.4172	1.10	-15.196



Slika 1. Potencijal jon-jon interakcije za hidroksiapatit određen na osnovu jednačine (1).

Funkcija $V(r)$ je oscilatornog karaktera, pri čemu njen najdublji minimum definiše interakciju dva najbliža susedna jona u sistemu, a položaj ovog minimuma, njihovo rastojanje (Slika 1). Detaljnija informacija o ovoj problematici može se dobiti u knjizi [8] i radu [9].

VINMATRIX 1.0

Softver VINMATRIX 1.0 je prva verzija softvera koji automatizuje određivanje stabilnost sistema čvrsta matrica-primesa i daje tabelarnu i grafičku prezentaciju dobijenih rezultata na način pogodan za dalju analizu. Softver je napisan u programskom jeziku Turbo Pascal 5.5 za DOS operativni sistem.

Osnovni podaci koji se koriste u algoritmu su dati u tekstualnoj datoteci. Ona predstavlja bazu elemenata periodnog sistema i vrednosti odgovarajućih parametara za svaki element u bazi podataka koji su neophodni za izračunavanje potencijala jon-jon interakcije (Z, dijametar, i). Izvršenje algoritma se realizuje u sledećim koracima:

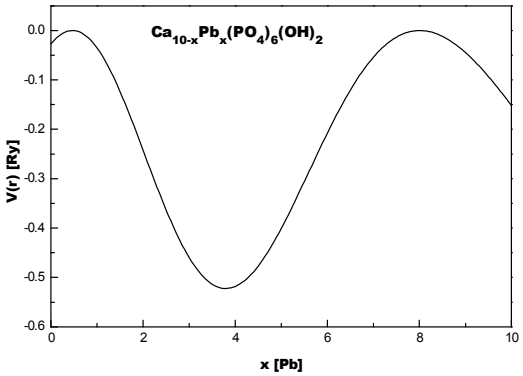
1. Upis odgovarajuće formule koja predstavlja sistem čvrsta matrica-primesa.
2. Učitavanje odgovarajućih podataka iz baze elemenata periodnog sistema.
3. Upis vrednosti diskretnih koraka (rezolucije) u zavisnosti od tipa zadate formule sistema čvrsta matrica-primesa.
4. Upis vrednosti diskretnih koraka (rezolucije) u zavisnosti od tipa zadate formule sistema čvrsta matrica-primesa.

5. Inicijalizacija promenljivih i računanje osnovnih parametara sistema ( ).

6. Izračunavanje vrednosti potencijala jon-jon interakcije za jedan skup parametara koji određuju rezoluciju izračunavanja u zavisnosti od tipa zadate formule sistema.

7. U zavisnosti od tipa zadate formule sistema čvrsta matrica-primesa, u jednom ili više ciklusa, određuju se minimalne vrednosti potencijala jon-jon interakcije, odgovarajuće vrednosti rastojanja , i vrednosti neophodne za rekonstrukciju konkretne formule.

8. Grafički zapis rezultata (Slika 2) kao i tabelarni zapis rezultata (Tabela 1).



Slika 2. Promena potencijala jon-jon interakcije u sistemu Pb-hidroksiapatitu funkciji koncentracije ugrađenog olova

Primena softvera urađena je na modelnom sistemu hidroksi apatit - metalna primesa (Tabela 1, Slika 2). Apatit je izabran zbog svog praktičnog značaja [4], a olovo je klasični metalni polutant.

Jedina ograničenja softvera vezana su za ukupan broj mogućih koraka računanja, usled memorijskih ograničenja u programskom jeziku Turbo Pascal 5.5. Iz tog razloga softverski su ograničene minimalne vrednosti koraka za jedan prolaz izračunavanja osnovnih podataka.

Uskoro se očekuje verzija 2.0 softvera sa nešto poboljšanim perfomansama napisana u objektno orjentisanom programskom jeziku Delphi 3.0 za Windows 95 ili više okruženje. Tada će minimalni hardverski zahtevi za rad ovog softvera biti limitirani zahtevima za pravilan rad sa Windows 95 operativnim sistemom.

ZAKLJUČAK

Selekcija čvrstih matrica koje moraju da zadovolje veoma stroge uslove da bi se praktično primenile u imobilizaciji i skladištenju radioaktivnog otpada predstavlja veoma skup i dugotrajan proces. Jedini pristup koji omogućava skraćivanje i pojeftinjenje ovog procesa je teorijska preselekcija sistema zasnovana na korišćenju njihovih osnovnih fizičkih i hemijskih osobina. Softver VINMATRIX 1.0, koji je opisan u ovom radu, predstavlja jednostavan i efikasan alat koji omogućava istraživačima da uz minimalan utrošak vremena i sredstava odaberu čvrstu matricu za imobilizaciju date primese ili primesa, koja će sa velikom verovatnoćom zadovoljiti potrebne zahteve stabilnosti.

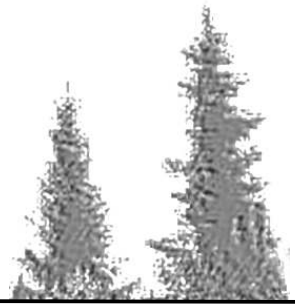
LITERATURA

[1] Raičević S., Lalović D.I., Veljković V., Postupak za optimizaciju procesa imobilizacije metala u čvrstoj matrici, Patentna prijava br. P-269/97, Podnosilac prijave NI Vinča, Beograd, juni 1997.
[2] Lazović J., Informaciona analiza proteina, Biblioteka Dissertatio, Zadužbina Andrejević, Beograd, 1998.
[3] Lutze W., Ewing R., Radioactive Waste Forms for the Future, Elsevier, Amsterdam, 1988.
[4] Raičević S., Plećaš I., Zbornik radova XX simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac, 1999, u štampi.
[5] Veljković V., Slavić I., Phys. Rev. Lett., 29 (1972) 105.
[6] Raičević S., Vuković Ž., Lizunova T.L., Komarov V.F., J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, 203 (1996) 363.
[7] Raičević S., Plećaš I., Lalović D.I., Veljković V., Proceedings of the conference Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXII, Boston, 1998.
[8] Heine V., Weaire D., Solid State Physics, Academic Press, 24 (1970) 247.
[9] Veljković V. Phys. Lett., 45A (1973) 41.
[10] Weber W. J., Ewing R.C., Meldrum A., J. Nucl. Mater., 250 (1997) 147.

ABSTRACT

The paper presents software VINMATRIX 1.0 for determination of the stability of the solid matrix - impurity system. VINMATRIX 1.0 is based on the calculation of the ion-ion interaction potential which defines: (1) the capacity of the solid matrix for the incorporation of the impurity and (2) the stability of the solid matrix - impurity system [1]. The software is demonstrated using hydroxyapatite-lead system.

10



NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA

IZLOŽENOST LJUDI NEJONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA I MOGUĆE ŠTETNE POSLEDICE PO ZDRAVLJE

B. Vulević, B. Marić, D. Živković[1]
KCS, Institut „Dr Dragomir Karajović“, Beograd
[1] VMA, IMR ZPM, Beograd

SADRŽAJ

Problem zaštite od nejonizujućih zračenja predstavlja u poslednjih dvadeset godina aktuelnu tematiku i u svetu i kod nas. U svetu se navedenoj problematici posvećuje velika pažnja i skoro da ne postoji oblast čovekove delatnosti koja zanemaruje uticaj nejonizujućih zračenja na zdravlje ljudi.

Ovaj rad ima za cilj da, na osnovu podataka iz brojne strane i domaće literature, u sažetoj formi ukaže na moguće štetne posledice po zdravlje usled nekontrolisanog izlaganja nejonizujućim zračenjima.

UVOD

Problem zaštite od nejonizujućih zračenja predstavlja u poslednjih dvadeset godina aktuelnu tematiku i u svetu i kod nas. U svetu se navedenoj problematici posvećuje velika pažnja i skoro da ne postoji oblast čovekove delatnosti koja zanemaruje uticaj nejonizujućih zračenja na zdravlje ljudi.

Ovaj rad ima za cilj da, na osnovu podataka iz brojne strane i domaće literature, u sažetoj formi ukaže na moguće štetne posledice po zdravlje usled nekontrolisanog izlaganja nejonizujućim zračenjima.

ŠTETNI EFEKTI ULTRAVIOLETNOG (UV) ZRAČENJA

Prodorna moć UV-zračenja vrlo je ograničena, pa se time objašnjava činjenica da se najizraženiji biološki efekti javljaju prvenstveno na koži i organu vida. U osnovi biološkog dejstva leži apsorpcija energije zračenja i njena transformacija u živom tkivu u fotohemijsku i toplotnu energiju. Stepen apsorpcije zračenja u tkivu zavisi od talasne dužine zračenja.

Dugotrajno izlaganje kože UV-zračenju izaziva preterano starenje kože i povećava rizik od nastajanja malignih oboljenja kože. Često se javljaju: solarna keratoza, razne forme pojačane pigmentacije, pege, stalna difuzna pigmentacija smeđe boje, teleangiektazije na licu i sl. Rezultati epidemioloških studija govore da izlaganje Sunčevom zračenju uzrokuje češću pojavu nemelanomskog raka kože (karcinoma spinoznih ćelija i

bazalnih ćelija) i malignog melanoma kože. Navedene pojave će biti učestalije s obzirom na sve veće oštećenje Zemljinog ozonskog omotača.

Što se tiče organa vida, apsorpcija intenzivnog UV-zračenja na rožnjači i konjunktivi najčešće izaziva akutni fotokeratitis (snežno slepilo, fotoelektrična oftalmija).

ŠTETNI EFEKTI INFRACRVENOG (IC) ZRAČENJA

Prodorna moć IC-zračenja vrlo je ograničena, pa se, kao i u slučaju UV-zračenja, najizraženiji biološki efekti javljaju prvenstveno na koži i organu vida. Osnovno dejstvo IC-zračenja je termičko, tako da se na ozračenim delovima može javiti osećaj toplote ako je zračenje dovoljno velikog intenziteta. Dakle, ovo zračenje prvenstveno izaziva oštećenja toplotom, pri čemu valja navesti i pojavu sunčanice, za koju se smatra da nastaje dejstvom IC-zračenja iz Sunčevog dela spektra na nezaštićeni potiljačni deo kod ljudi koji borave na otvorenom prostoru.

Pri dugotrajnom izlaganju IC-zračenju nastaju eritematozne promene na koži, pojava apigmentiranih delova u obliku mreže, kao i pojava telangiektazija, keratoza, veruka, ljuštenja kože i atrofičnih promena.

Široka je lepeza oštećenja oka usled izloženosti IC-zračenju, a njihova podela vrši se u zavisnosti od talasne dužine. Najčešće se pominje zapaljenje kapaka, konjunktivitis, keratokonjunktivitis, katarakta, termičko oštećenje mrežnjače, zagrevanje očne vodice i oštećenje rožnjače.

ŠTETNI EFEKTI LASERSKOG ZRAČENJA

Osnovna opasnost pri radu sa laserima je mogućnost oštećenja očiju i kože. Najznačajnija su oštećenja očiju, jer povrede laserskim zračenjem mogu da dovedu i do slepila. Oštećenje oka će zavisiti od mesta apsorpcije laserskog zraka u oku, kao i od talasne dužine laserskog zračenja. U opsegu talasnih dužina od 400 nm do 1400 nm najveća opasnost je za mrežnjaču, dok su rožnjača, očna vodica, sočivo i staklasto telo providni za zračenje na ovim talasnim dužinama. Na mrežnjači se javljaju opekotine, a ukoliko se radi sa jakim laserima mogu se javiti i veća mehanička oštećenja tkiva na očnom dnu. Za talasne dužine manje od 400 nm ili veće od 1400 nm najveću opasnost predstavlja mogućnost oštećenja sočiva ili rožnjače.

Laseri klase 4 mogu da dovedu i do oštećenja kože. Oštećenja kože su manje značajna od oštećenja oka, jer uglavnom, ne mogu da izazovu ozbiljne posledice po zdravlje i radnu sposobnost. Laserski zrak iz oblasti UV zračenja može da izazove pojavu crvenila i opekotina na koži, a biološki efekti ozračivanja kože laserima koji rade u vidljivom i IC delu spektra mogu da variraju od blagog eritema do opekotina. Opekotine izazvane laserima su veoma slične onima od električne struje.

Osnovne sekundarne opasnosti i štetni faktori koji mogu nastati pri radu sa laserima su: jonizujuće zračenje, ozon i jonizacija vazduha, isparavanje i raspršivanje toksičnih i bioloških materija od mete, hemijske štetne materije iz lasera, eksplozija fleš cevi u impulsnom laseru, paljenje gorivih materija, mogućnost električnog udara, opasnost od rashlađivanja i buka.

ŠTETNI EFEKTI RADIOFREKVENTNOG (RF) ZRAČENJA

Osnovni vid dejstva RF-zračenja na čoveka jeste zagrevajući efekat. Termički efekti su uglavnom dobro poznati i ispoljavaju se u nastalom termičkom opterećenju organizma, a ako termoregulacioni mehanizmi ne mogu to da kompenzuju, može doći do povećanja telesne temperature i akutne hipertermije ili lokalnog povećanja temperature i opekotina. U ovom slučaju najosetljiviji su organi sa slabijom cirkulacijom i sa slabije razvijenim lokalnim termoregulacionim mehanizmima (očno sočivo, testisi, ovarijumi itd.).

Pored termičkih efekata, evidentno je da postoje i tzv. netermički efekti kao posledica delovanja RF- zračenja niskih intenziteta. Proučavanje ovih efekata danas je veoma aktuelno i ujedno kontroverzno, u zavisnosti od autora. U prilog postojanju netermičkih efekata svakako govore mnogobrojni radovi objavljeni u svetu, koji izme|u ostalog ističu direktno dejstvo na CNS, promene na EEG-u, dejstvo na ćelijski membranski potencijal i promene u sintezi i transdukciji DNA, limfoblastoidnu traansformaciju limfocita, neke biohemijske promene i izmenjeni protok Ca-jona iz ćelija mozga. Značaj navedenih promena za čoveka još nije dovoljno jasan, što navodi na potrebu za daljim istraživanjima.

ŠTETNI EFEKTI ELEKTRIČNIH I MAGNETSKIH POLJA EKSTREMNO NISKIH FREKVENCIJA (ELF)

Podaci o eventualnim biološkim efektima kao posledicama ekspozicije električnim i magnetskim poljima ELF zasada su veoma kontradiktorni i zavise od autora i zemlje gde su objavljeni. Generalno, pažnja je usmerena na tri moguće grupe efekata:

a) uticaj na kancerogenezu,

b) uticaj na reproduktivnu sposobnost s posebnim osvrtom na poremećaje u trudnoći i

c) uticaj na pojavu neurobihevioralnih smetnji (električna hipersenzitivnost).

Bez obzira što za sada ni za jedan od navedenih mogućih efekata ne postoje čvrsti dokazi, neophodna je doza opreza pri izlaganju, naročito rizičnih kategorija.

ŠTETNI EFEKTI ULTRAZVUKA

Ultrazvuk manjeg intenziteta može u ljudskom organizmu dovesti do slabijeg zagrevanja tkiva. Veći intenziteti ultrazvuka, u slučaju direktnog kontakta površine tela sa sredinom kroz koju se prostire ultrazvuk, mogu dovesti do prekomernog zagrevanja organizma i do jakog mehaničkog dejstva, a može doći i do velike destrukcije u tkivu (pojava šupljina – kavitacija).

U industrijskim i drugim uslovima može doći, u toku rada, do direktnog kontakta prstiju ruku sa ultrazvukom preko čvrstih površina ili tečnosti u koje se aplikuje ultrazvučna energija. Kod kratkotrajne izloženosti manjim intenzitetima ultrazvuka javljaju se svrab po koži prstiju, a po prestanku kontakta javlja se osećaj hladnoće i utrnulosti prstiju. Kod direktne dugotrajne i ponavljane izloženosti ultrazvuku niskih frekvencija većeg intenziteta uočeno je da se pojavljuju oštećenja perifernih nerava i vaskularnih struktura prstiju šaka i podlaktica. Do neželjenih efekata u tkivu može doći i pri aplikaciji ultrazvuka u medicinskoj terapiji, ukoliko su to nekontrolisano visoki intenziteti ultrazvuka i ukoliko je period aplikacije duži.

Kod ljudi izloženih istovremenom dejstvu ultrazvuka iz vazduha (nižih frekvencija i nivoa preko 100 dB) i buci većeg intenziteta, u dužem vremenskom periodu, uočeni su sledeći fenomeni: osećaj neprijatnosti, zujanje i bol u ušima, vrtoglavica, nestabilnost pri hodu i moguća prolazna oštećenja sluha. Ultrazvuk nivoa ispod 110 dB ne izaziva neželjene zdravstvene efekte. Važniji fiziološki poremećaji ne javljaju se ni pri kratkotrajnom izlaganju ultrazvuku iz vazduha čiji je nivo do 120 dB, dok se kod vrednosti od 140 dB javlja osećaj zagrevanja tela. Dalje povećanje intenziteta ultrazvuka izaziva značajno zagrevanje i vrtoglavicu.

UMESTO ZAKLJUČKA

Ovaj rad je samo „dotakao“ probleme vezane za izloženost ljudi nejonizujućim zračenjima. Nesumljivo, reč je o izuzetno kompleksnoj problematici koja će svakako biti jedna od glavnih u narednom veku. Glavni zadatak, u cilju kontrole izlaganja izvorima nejonizujućih zračenja, je rad na stvaranju zakonske regulative, pri čemu treba koristiti iskustva razvijenih zemalja (Švedska, SAD, Nemačka, Velika Britanija, Francuska, Italija, Australija, Kanada) koje ulažu značajna finansijska sredstva u medicinska istraživanja vezana za delovanje nejonizujućih zračenja na žive organizme.

LITERATURA

[1] Vulević B, Marić B. Osnovne smernice razvoja zaštite od nejonizujućih zračenja. Revija rada , (Specijalan broj), Beograd, 1998: 83-88.

[2] Sliney DH. How to achieve safety when handling lasers. IRPA9 Refresher Course R-04: 4/1996.

[3] Monaco WA, Barker FM 2nd. Laser hazards and safety. Optom Clin 1995; 4:115.

[4] Hrnjak M. Bolesti izazvane ultrazvukom, infrazvukom i vibracijama. U: Medicina rada II. Beograd: Institut za medicinu rada Dr Dragomir Karajović ,Udruženje za medicinu rada Jugoslavije, 1997: 603-4.

ABSTRACT

HUMAN EXPOSURE TO NON-IONIZING RADIATION AND POTENTIAL ADVERSE HEALTH EFFECTS

B. Vulević , B. Marić , D. Živković[1]

KCS- Institute of Occupational and Radiological Health ″Dr Dragomir Karajovic″

[1] VMA-IMR ZPM, Beograd

The problem of protection from the non-ionizing radiation has presented an actual subject in the last twenty years both worldwide and in our country. Great attention has been paid to this problem throughout the world and there is not almost a field of human activities that disregards the effect of non-ionizing radiation to the human health.The object of this work is to point concisely, on the basis of numerous domestic and foreign referential data, to the potential adverse health effects caused by uncontrolled exposure to non-ionizing radiation.

IZLOŽENOST LJUDI STATIČKIM MAGNETSKIM POLJIMA I OSNOVNE MERE ZAŠTITE

B. Vulević
KCS, Institut „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

SADRŽAJ

Razvojem novih tehnologija koje koriste statička magnetska polja i njihove primene u poslednjih nekoliko godina, povećana je mogućnost povećanog izlaganja ljudi tim poljima čime se otvara pitanje mogućih štetnih zdravstvenih efekata. U nekim razvijenim zemljama, vladine ili druge ovlašćene organizacije su propisale granice izloženosti statičkim magnetskim poljima kod specifičnih primena kao što su dijagnostčka snimanja u medicini pomoću magnetske rezonanse (MRI) i kod pojedinih akceleratora u visokoenergetskoj fizici. U budućnosti se očekuje dalji porast broja primena statičkih magnetskih polja što daje posebnu važnost pitanju kako profesionalne izloženosti tako i izloženosti opšte populacije. Posebnu pažnju treba posvetiti izloženosti ljudi sa ugrađenim feromagnetskim implantatima i osetljivim elektronskim medicinskim uređajima koji mogu da poremete svoje funkcije usled povećanih nivoa magnetskih polja.

Cilj ovoga rada je da, na osnovu dosadašnjih saznanja, ukaže na značaj navedene problematike i da tako pruži doprinos njenom popularisanju.

IZVORI I NIVOI IZLOŽENOSTI

Statička magnetska polja obrazuju se oko stalnih magneta ili nastaju kao posledica protoka vremenski konstantnih električnih struja.

Prirodno magnetsko polje predstavlja zbir unutrašnjeg Zemljinog polja i spoljašnjeg polja koje nastaje usled raznih faktora kao što su solarne aktivnosti, atmosferske promene i td. Unutrašnje prirodno magnetsko polje čini sama planeta Zemlja koja deluje kao džinovski magnet sa dva suprotna pola. Njegova vrednost zavisi od geografskog položaja na Zemlji. Na Ekvatoru se srednja vrednost jačine ovoga polja kreće oko 28 A/m (što odgovara gustini magnetskog fluksa od oko 35μT), na polovima 56 A/m (oko 70μT). Na našim geografskim prostorima jačina ovog polja kreće se oko 40 A/m (približno 50μT).

Veštačka magnetska polja su za više redova veličine veća od polja prirodnog porekla. Veštačke (tehnološke) izvore statičkih magnetskih polja predstavljaju svi uređaji koji koriste vremenski konstantne električne struje, uključujući mnoga sredstva i opremu u industriji.

Kod vodova jednosmerne struje, statičko magnetsko polje nastaje kao posledica pokretnih naelektrisanja (električna struja) u dvožičnom vodu. Za nadzemni vod ± 500kV gustina magnetskog fluksa na nivou zemlje može dostići vrednost od 20μT. Kod

podzemnog voda ukopanog na 1,4m i sa maksimalnom jednosmernom strujom 1kA, maksimalna vrednost gustine magnetskog fluksa je na nivou zemlje ispod 10μT.

U tabeli 1. nabrojane su glavne tehnologije koje obuhvataju primenu jakih statičkih magnetskih polja i odgovarajući nivoi izloženosti [1].

Tabela 1. Primene koje prouzrokuju stvaranje magnetskih polja i nivoi izloženosti

PRIMENE	NIVOI IZLOŽENOSTI
TEHNOLOGIJE U ENERGETICI Termonuklearni fuzioni reaktori	Granična polja do 50mT u oblastima dostupnim osoblju. Izvan područja reaktora ispod 0,1mT
Magnetohidrodinamički sistemi	Približno 10mT na udaljenosti od 50m 100 μT na rastojanjima većim od 250m
Superprovodni sistemi za akumulaciju magnetske energije	Granična polja do 50mT na operaterskim lokacijama
Superprovodnički generatori i prenosne linije	Granična polja manja od 100μT
ISTRAŽIVAČKA POSTROJENJA Mehurićaste komore	Tokom promena film kaseta polje je: 0,4 – 0,5 T na visini nogu i oko 50 mT na visini glave
Superprovodni spektrometri	Oko 1T na operaterskim pozicijama
Akceleratori čestica	Osoblje nije izloženo zbog velike radijacione zone. Izuzeci su mogući samo u toku održavanja
Uređaji za izdvajanje izotopa	Kratkotrajna izloženost poljima do 50mT. Obično su nivoi polja manji od 1mT.
INDUSTRIJA Proizvodnja aluminijuma	Nivoi do 100mT na operator. lokacijama
Elektrolitički procesi	Srednji i maksimalni nivoi 10mT i 50mT respektivno
Proizvodnja magneta	2-5mT na delovima šake; 300-500μT na nivou grudi i glave
MEDICINA Magnetska rezonansa (imaging i spektroskopija)	Nešildovan magnet od 1T na 10m oko sebe stvara 0,5mT, istu vrednost stvara nešildovani magnet od 2T na 13m.

GRANICE IZLOŽENOSTI

U cilju usklađivanja nacionalnih standarda, Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja (IRPA/ICNIRP) je 1994. godine objavila preporuke za granice izloženosti statičkim magnetskim poljima [3]. One se prvenstaveno baziraju na rezultatima opsežnih bioloških i epidemioloških studija i predstavljaju nadgradnju saradnje sa Svetskom Zdravstvenom Organizacijom (WHO) u okviru Programa zaštite životne sredine (UNEP/WHO/IRPA). Preporučene granice za profesionalnu izloženost i izloženost opšte populacije statičkim magnetskim poljima prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 2. Preporučene granice izlaganja statičkim magnetskim poljima (IRPA/ICNIRP, 1994.)

KARAKTERISTIKA IZLOŽENOSTI	GUSTINA MAGNETSKOG FLUKSA
PROFESIONALNA	
Tokom radnog dana (TWA)	200 mT
Maksimalna vrednost	2 T
Opasna granica	5 T
ZA OPŠTU POPULACIJU	
Kontinualno	40 mT

Posebnu pažnju treba obratiti na ljude sa pejsmejkerima i osetljivim električnim napravama ili feromagnetskim implantatima koji gornjim preporučenim granicama nisu adekvatno zaštićeni. Za pejsmejkere se preporučuje izloženost do 0,5 mT. Za ostale električne naprave, polja od nekoliko mT mogu biti štetna po njihovo funkcionisanje.

Kada gustina magnetskog fluksa pređe 3mT mora se preventivno delovati u cilju zaštite od neželjenih mehaničkih kretanja metalnih predmeta.

U slučaju izloženosti do 1 mT, neželjeni efekti mogu nastati kod ručnih satova, kreditnih kartica, magnetskih traka, kompjuterskih diskova itd.

Navedene granice izloženosti statičkim magnetskim poljima od strane ICNIRP odnose se na homogeno polje (na površinama do 100cm^2). Za nehomogena polja (na površinama iznad 100cm^2) uzima se u obzir srednja vrednost izmerenih gustina magnetskog fluksa.

OSNOVNE MERE ZAŠTITE

Mere zaštiite od magnetskih polja, uopšte, mogu se podeliti na tehnička merenja i administrativnu kontrolu. Treba istaći činjenicu da za zaštitu od magnetskih polja ne postoje lična zaštitna sredstva.

Posebnu pažnju sa aspekta zaštite zaslužuje uticaj magnetskih polja na ispravno funkcionisanje osetljivih elektronskih (posebno medicinskih) uređaja kao i delovanje na hiruške i dentalne implantate. Značajno je ukazati i na povećan rizik od povreda usled jakih mehaničkih sila koje deluju na feromagnetske predmete u prostoru sa velikim gradijentom statičkog magnetskog polja.

Metode koje se primenjuju u cilju smanjenja izloženosti jakim magnetskim poljima, naročito u slučaju naučnih istraživanja i kod velikih industrijskih postrojenja, mogu se podeliti na četiri tipa:

udaljenost i vreme – cilj je ograničiti pristup ili vreme boravka na mestima sa visokim jačinama polja. Obzirom da gustina magnetskog fluksa opada sa udaljavanjem od izvora, udaljavanje od izvora predstavlja osnovnu meru zaštite.

magnetsko oklopljavanje – pri čemu se koriste spoljašnji omotači odferomagnetskih materijala. Treba napomenuti da je ova metoda skupa i neekonomična za velike instalacije, u poređenju sa udaljavanjem od izvora.

elektromagnetska kompatibilnost (EMC) – po definiciji Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC), pored međusobnog delovanja uređaja, obuhvata i međusobno elektromagnetsko delovanje uređaja i živih organizama. To znači da se EMC realizuje kroz istovremeno upravljanje kvalitetom proizvoda i zaštitom životne sredine[4].

administrativne metode – između ostalog podrazumevaju ″pravila igre″koja treba da budu regulisana određenom zakonskom regulativom. Pošto postojeći standardi sa funkcijom bezbednosti još nisu celoviti ni na međunarodnom nivou, postoji mišljenje da je, posebno sa aspekta EMC, potrebno primenjivati princip ekološkog upravljanja čiji cilj nije modeliranje već smanjenje uticaja na prirodne karakteristike životne sredine [4].

LITERATURA

[1] Grandolfo M, Vecchia P. Static Electric and Magnetic Fields: Sources, Physical Interactions and Bioeffects. In: R. Matthes eds. Non-Ionizing Radiation. ICNIRP-1/96: 271-285.

[2] Grandolfo M, Vecchia P. Static and Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields: Guidelines, Standards and Protective Measures. In: R. Matthes eds. Non-Ionizing Radiation. ICNIRP-1/96: 316-333.

[3] International Commission on Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics 1994; 66: 100-106.

[4] Fotev A. Ekološki aspekti EMC. U: Zbornik radova Savetovanje Elektromagnetska kompatibilnost (EMC). Beograd, 1997. (6.3), 1-4.

ABSTRACT

HUMAN EXSPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS AND BASIC PRECAUTIONS

B. Vulević

KCS, Institute of Occupational and Radiological Health ″Dr Dragomir Karajovic″

The development of new technologies using the static magnetic fields and their application in the last several years has increased the possibility of higher human exposure to such fields what has raised an issue of potential adverse health effects. The object of this work is to point, on the basis of the past knowledge, to the significance of the problem and therefore to contribute to its popularization.

UTICAJ NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA SISTEMA MOBILNE TELEFONIJE NA ZDRAVLJE LJUDI

M. Ranisavljević
INN „Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita"

SADRŽAJ

U ovom radu je ukazano na mogući štetan uticaj nejonizujućeg zračenja, koje potiče od sistema mobilne telefonije, na zdravlje ljudi. Radi boljeg razumevanja, ukratko je izložen osnovni princip rada sistema mobilne telefonije i definisane su fizičke veličine koje se koriste u ovoj oblasti. Opisani su biološki efekti. Takođe, ukazano je na neophodnost donošenja zakonske regulative, kod nas, u ovoj oblasti.

UVOD

Sistem mobilne telefonije (SMT) je u poslednjoj dekadi ovog veka doživeo intenzivan razvoj. Jedan od glavnih razloga njegove popularnosti je, pre svega, što omogućava neprekidnu komunikaciju uz punu slobodu kretanja, kako u toku rada, tako i u slobodno vreme. Kao što se podrazumeva da svaki čovek ima pribor za ličnu higijenu, uskoro se može očekivati da uobičajena stvar postane i lični pribor za komunikaciju. On bi se u početku sastojao od mobilnog telefona i lap–top računara. Sa razvojem tehnologije on bi bio dopunjavan novim tehničkim dostignućima.

Procenjuje se da broj mobilnih telefona, koji se danas nalaze u upotrebi širom sveta, iznosi oko 190 miliona. Takodje, procena je da će do kraja 2002. godine biti oko 700 miliona korisnika usluga mobilne telefonije[1]. Skandinavske zemlje prednjače po broju mobilnih telefona u odnosu na ukupan broj stanovnika.Tako npr. u Finskoj taj odnos je 36%–42%, u Norveškoj 33%–38%,u Švedskoj 30%–36%,u Danskoj oko 30%. Posle ovih zemalja slede Japan, gde je taj odnos takođe oko 30%, SAD oko 21%, Velika Britanija oko 13% i Nemačka oko 9%. Kod nas, taj odnos je 2%–3%.

Uporedo sa razvojem SMT raste i zainteresovanost za mogući štetni uticaj, na zdravlje ljudi, nejonizujućeg zračenja koje od njega potiče.

PRINCIP RADA

Radi boljeg razumevanja, mogućeg štetnog dejstva na zdravlje ljudi, neophodno je ukratko opisati princip rada sistema mobilne telefonije, kao i značenje pojmova i veličina koji se najčešće koriste u ovoj oblasti.

SMT se sastoji od mreže baznih stanica (BS)[2]. Svaka od njih pokriva odredjenu teritoriju koja se naziva ćelija (cell), pa otuda potiče i drugi naziv za SMT–

celularni sistem. BS neprekidno šalju i primaju signale putem odgovarajućih antena. Širina snopa tih antena u vertikalnoj ravni je oko nekoliko stepeni, a u horizontalnoj ravni od 60° do 120°. Sve BS su kablovskim ili radio vezama povezane sa fiksnom telefonskom mrežom preko centrala za mobilnu telefoniju. Te centrale imaju ulogu da usmeravaju telefonski saobraćaj i vode računa o tome gde se u mreži nalazi svaki od aktiviranih telefona. Po uključivanju mobilnog telefona, isti počinje da emituje signale kako bi uspostavio komunikaciju sa najbližom baznom stanicom. Nakon uspostavljanja veze, telefon prelazi u režim praznog hoda (stand by). U tom režimu telefon se u pravilnim vremenskim intervalima javlja BS. Kada pretplatnik želi da obavi poziv, uspostavlja se dvosmerna radio veza izmedju antene BS i antene mobilnog telefona . Pri tome se korisniku dodeljuje jedan od slobodnih radio kanala određene frekvencije. Ukoliko ih u tom trenutku nema pretplatnik će čuti signal zauzetosti. Da bi se takvi slučajevi sveli na najmanju moguću meru, i opslužio veći broj korisnika, pribegava se zgušnjavanju sistema, smanjiivanjem veličine ćelije. Na taj način se povećava broj BS koje su međusobno sve bliže, a sve bliže su i korisnicima. Tipičan raspored BS u gradskoj sredini prikazan je na slici 1.

Slika1. Tipičan položaj BS u gradskoj sredini

U svetu je danas u upotrebi nekoliko SMT (NMT, GSM, GSM1800, GSM1900, PDC, DECT, itd.). Rani SMT, kao NMT i AMPS, koristili su analognu tehnologiju. U takvim sistemima, nekoliko korisnika koji su blizu jedan drugog mogu istovremeno koristiti mobilne telefone jer svaki od njih emituje radio talase različite frekvencije. Radio signal koji se emituje iz analognog telefona tj. njegove antene je neprekidan. Kod digitalnih sistema, kao što su GSM, PDC, DECT itd., nekoliko korisnika koristi istu frekvenciju, s tim što svaki od njih u uzanom vremenskom intervalu koristi radio kanal za prenos svoje informacije. Npr. u GSM sistemu jedan radio kanal koristi 8 pretplatnika. Digitalni signal svakog korisnika se emituje u različitim vremenskim intervalima u formi impulsa (niz sastavljen od jedinica i nula). Prednosti digitalnog sistema nad analognim su veća korisnička kapacitivnost, bolja imunost na interferenciju, rad sa manjim snagama. Kod nas su u upotrebi sistemi GSM i GSM1800. GSM sistem radi na frekvenciji od 900MHz, a GSM1800 na 1800MHz.

Elektromagnetski talasi se u vazduhu prostiru brzinom svetlosti c. Između talasne dužine λ i frekvencije ν talasa postoji jednoznačna veza $\lambda=c/\nu$. Na osnovu nje se lako izračunava da su talasne dužine navedenih GSM sistema 30cm odnosno 15cm. U elektromagnetskom spektru, frekvencije, na kojima rade SMT, pripadaju oblasti nejonizujućeg zračenja –NIR (non–ionizing radiation), opseg RF talasa, i to UHF opseg.

U SMT razlikujemo dva izvora nejonizujućeg zračenja. To su bazne stanice i mobilni telefoni (odnosno njihove antene). Iz teorije o prostiranju elektromagnetskih talasa je poznato da gustina snage *S* elektromagnetskih talasa opada sa kvadratom rastojanja. Npr. ako se rastojanje od izvora zračenja poveća 10 puta, gustina snage se smanji 100 puta. Takođe, gustina snage je direktno srazmerna izlaznoj snazi predajnika. Zahvaljujući ovoj osobini, na određenom rastojanju od ćelije ista frekvencija može da se koristi u nekoj drugoj ćeliji, a da pri tome ne dođe do ometanja sobraćaja u prvoj ćeliji. Izlazna snaga predajnika BS se kreće u širokom opsegu. Antene BS koje su postavljene u unutrašnjem prostoru ili na fasadama zgrada, emituju snagu manju od 1W, dok BS, čije su antene postavljene na visokim stubovima ili na krovu visokih zgrada, koriste snagu od stotinak W [2]. Takođe, odgovarajućom konstrukcijom antena može se postići da se elektromagnetska energija emituje u određeni deo prostora. Time se povećava domet, za istu predajnu snagu. Što se tiče mobilnih telefona, oni emituju snagu do 2W. U digitalnim sistemima emitovana snaga je manja od 1W. Npr. u GSM sistemu maksimalna izlazna snaga mobilnog telefona je 0,25W, a kod GSM1800 ona iznosi 0,125W[2]. Treba naglasiti da mobilni telefon retko emituje maksimalnu izlaznu snagu (kad je maksimalno udaljen od BS s kojom komunicira). Zahvaljući automatskoj regulaciji pojačanja, mobilni telefon uvek angažuje minimalnu potrebnu snagu koja obezbeđuje kvalitetnu vezu, odnosno kvalitetan prenos signala.

BIOLOŠKI EFEKTI

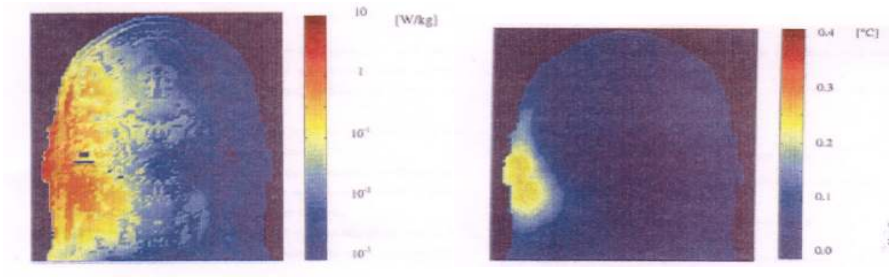
Sa stanovišta apsorpcionih karakteristika ljudskog tela, RF opseg se može podeliti na 4 podopsega [4]:

1. subrezonantni opseg, za frekvencije do 30MHz; u ovom opsegu sa porastom frekvencije raste i apsorpcija elektromagnetske energije.
2. rezonantni opseg, od 30MHz do 300MHz za čitavo telo, i do 400MHz za pojedine delove tela (glava npr.); u ovom opsegu apsorbovana elektromagnetska energija dostiže maksimalne vrednosti.
3. opseg „vrućih tačaka”(hot spots), od 400MHz do 2GHz; u ovom opsegu ukupna apsorbovana elektromagnetska energija je manja nego u rezonantnom opsegu, ali je moguće veće lokalno zagrevanje pojedinih oblasti u tkivima zapremine nekoliko cm^3.
4. opseg površinske apsorpcije, iznad 2GHz; u ovom opsegu elektromagnetska energija se apsorbuje u tankom površinskom sloju (praktično u koži).

Biološki efekti koji nastaju ulsed izlaganja nejonizujućem zračenju dele se na termičke i netermičke. Termičke intereakcije su definisane kao interakcije u kojima se apsorbovana elektromagnetska energija pretvara u toplotu. Termički biološki efekati se ogledaju u porastu temperature izloženog dela tela. Do povećanja telesne temperature dolazi kada je brzina apsorbovanja energije veća od brzine disipacije. Rezultujući porast temperature zavisi od karakteristika polja i raspodele polja unutar tela, kao i od aktivnih i pasivnih termoregulatornih mehanizama koje čovek poseduje. Aktivni termoregulatorni mehanizmi su krvotok i znojenje, a pasivni su zračenje toplote, provođenje i isparavanje. Toplota se krvotokom prenosi iz unutrašnjosti organizma do površine tela i putem znojenja i pasivnih termoregulatornih mehanizama emituje u spoljašnju sredinu.

Netermički biološki efekti se pojavljuju posle dugog ili stalnog izlaganja nejonizujućem zračenju iz RF opsega a gustina snage je mala da izazove termički efekat.
SMT koji su kod nas u upotrebi, GSM na 900MHz, i GSM1800 na 1800MHz, rade na frekvencijama koje pripadaju opsegu „vrućih tačaka”. Mobilni telefoni, iako rade sa

manjim snagama nego bazne stanice, predstavljaju potencijalno veću opasnost po zdravlje ljudi. Razlog za to je što se oni prilikom upotrebe drže uz uvo u neposrednoj blizini glave. Pri tome se najveći deo emitovane elektromagnetske energije iz antene mobilnog telefona apsorbuje u moždanom tkivu. S obzirom da je moždano tkivo slabo vaskularizovano, krvotokom se samo manji deo toplote prenese do ostalih delova tela. Zbog toga se u moždanom tkivu javljaju „vruće tačke", zapremine nekoliko cm^3, u kojima dolazi do porasta temperature. Pri porastu temperature većem od 4,5°C dolazi do termičkog oštećenja neurona, a porast temperature manji od 1°C ne izaziva oštećenja tkiva.[5] Zato se preporučuje da razgovori budu kraći i da se u toku razgovora podjednako koriste oba uva. Simulacijom na računaru dobijena je raspodela elektromagnetskog polja u glavi čoveka prilikom razgovora preko mobilnog telefona. Na sl. 2 prikazani su rezultati koji su na taj način dobijeni na frekvenciji od 900MHz.[5] Sa slike se lako uočavaju mesta u kojima se najviše apsorbuje elektromagnetska energija i promene temperature koje zbog toga nastaju.



Slika2. Apsorbovana elektromagnetska energija i porast temperature u glavi čoveka na 900MHz dobijeni simulacijom na računaru

Što se tiče antena baznih stanica, zbog položaja i visine na kojoj se nalaze, u velikoj meri im je ograničen pristup. Osim toga, dijagram zračenja antena je takav da vertikalno ispod antene kao i u horizontalnoj ravni oko podnožja antene u prečniku od oko 10m, elektromagnetsko polje se praktično ne može detektovati. Zbog svega ovoga BS predstavljaju manju potencijalnu opasnost po zdravlje ljudi, iako rade sa većim snagama, nego mobilni telefoni.

Osnovna dozimetrijska veličina u RF oblasti nejonizujućeg zračenja jeste specifična brzina apsorpcije–SAR (specific absorption rate)[4]. To je količina energije koja se u jedinici vremena apsorbuje u jedinici mase biološkog tkiva. Izražava se u W/kg. Većina međunarodnih i nacionalnih organizacija su odredile granice za izlaganje nejonizujućem zračenju na osnovu vrednosti za SAR od 0,4W/kg za celo telo, dok je za ekstremitete dozvoljen SAR od 20W/kg.

ZAKLJUČAK

Međunarodni komitet za zaštitu od nejonizujućeg zračenja (ICNIRP) je na IX kongresu Međunarodne organizacije za zaštitu od zračenja (IRPA), održanog u Beču aprila 19996. godine zauzeo sledeće stavove po pitanju uticaja SMT na zdravlje ljudi[3]:

–rezultati dosadašnjih epidemioloških studija nisu dovoljna osnova za procenu štetnog uticaja na zdravlje ljudi;

–izazivanje kancera nije potvrđeno;

–ICNIRP preporučuje da, za profesionalno izlaganje, lokalni SAR u glavi ne pređe 10W/kg, usrednjen za bilo kojih 10g mase moždanog tkiva (0,1W apsorbovan u 10g mase moždanog tkiva);

–za stanovništvo, ICNIRP preporučuje lokalni SAR do 2W/kg usrednjen na 10g mase moždanog tkiva (0,02W apsorbovano u 10g mase moždanog tkiva);

–treba izbegavati upotrebu mobilnih telefona u oblastima gde efekti interferencije mogu izazvati probleme (npr. bolničke prostorije za intenzivnu negu).

Takođe, 1998 god započeo je petogodišnji projekat Svetske zdravstvene organizacije čiji je cilj da ispita uticaj SMT na zdravlje ljudi. Rezultati tih istraživanja poslužiće, međunarodnim i nacionalnim organizacijama koje se bave zaštitom od zračenja, kao osnova za određivanje granica izlaganja elektromagnetskom polju koje potiče od SMT. Do tada, treba strogo poštovati postojeće međunarodne i nacionalne standarde u oblasti zaštite od nejonizujućeg zračenja.

Kod nas, za sada, ne postoji zakonska regulativa u ovoj oblasti. Formirana je republička komisija pri Ministarstvu za zaštitu životne sredinu Republike Srbije čiji je zadatak da uradi predlog Zakona o zaštiti od nejonizujućeg zračenja. Svakim danom se povećava broj izvora nejonizujućeg zračenja, koji se nalaze u našoj životnoj i radnoj sredini, te je donošenje pomenutog zakona više nego opravdano.

LITERATURA

[1] Elektromagnetic Fields and Public Health, Fact Sheet N°193 May 1998

[2] Health and Safety in Mobile Telephony, Ericsson Radio Systems AB

[3] IRPA9, Ninth International Congress of the IRPA, Viena Austria,april 1996.

[4] M. Ranisavljević: Nejonizujuće zračenje–izvori, biološki efekti, i zaštita, Diplomski rad, ETF, Beograd, 1996.

[5] A. M. Aloe, L. Caroli: "Review on possible effects of exposure of biological systems to electromagnetic fields emmitted by cellular phones" , TIM

ABSTRACT

INFLUENCE OF THE NON–IONIZING RADIATION FROM MOBILE TELEPHONY SYSTEM ON HUMAN′S HEALTH

M. Ranisavljević

Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade

This paper is intended to indicate possible adverse influence of the mobile telephony system on human’s health. Biological effects are specified. Due to better understanding, operation principle of the mobile telephony system are resumptived.

MOJ PRIJATELJ - MOBILNI

D. Vuković, D. Marković
KCS, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu, Beograd
e.mail:DEJANA@lotos.ffh.bg.ac.yu
Fakultet za fizičku hemiju, Beograd,

SADRŽAJ

Današnji laki mobilni telefoni imaju maksimalnu izlaznu snagu od oko jednog do dva vata, što je približno jednako snazi male baterijske sijalice. Pored toga, telefon koristi onoliko snage koliko je potrebno za uspostavnjalje dobrog kontakta s baznom stanicom. Kako je nivo snage mobilnog telefona tako mali, praktično nije bilo moguće registrovati bilo kakav porast temperature u telu. Dugotrajni razgovori preko mobilnog telefona ne mogu da dovedu do porasta temperature u glavi korisnika za više od 0.1 Celzijusa.

Francuzu Kristijanu Rejmonu je veoma drago što kao pastir poseduje mobilni telefon. On je danas živ, zato što je uz pomoć mobilnog telefona uspeo da pozove spasioce i tako izbegne sigurnu smrt [1]. Autor članka se pita da li će i ostali pastiri poželeti ovu korisnu spravu. Možda će sve više mladih vlasnika mobilnih telefona poželeti da budu pastiri i tako neodsečeni od sveta, prijatelja, devojaka, žena raditi svoj posao.

Radio telekomunikacije osvojile su svet. Činjenica.

Sistem mobilne telefonije sastoji se od mreže baznih radio stanica od kojih svaka pokriva odeđenu geografsku oblast (ta oblast se naziva ćelija) a sa više ćelija zajedno, omogućeno je povezivanje većih prostora.

Bazne stanice koje kontinuirano emituju i primaju signale povezane su kablovskim ili radio-vezama sa fiksnom telefonskom mrežom preko centrala za mobilnu telefoniju koje usmeravaju telefonski saobraćaj i vode računa o tome gde se u mreži nalazi svaki od aktiviranih mobilnih telefona.

Govor ili bilo koja druga vrsta poruke koju treba poslati prenosi se modulisanim predajnim radiotalasom u skladu sa određenim metodom prenosa. Da bi se obezbedio dobar kvalitet zvuka, mobilni telefon i bazne radio stanice moraju da koriste odgovarajuću izlaznu snagu.

Radio talasi koji se koriste u mobilnoj telefoniji su kao i vidljivi spektar svetlosti ili X-zraci, elektromagnetni talasi koji se prostiru brzinom od 300.000km/sek. I oni kao i svi talasi sastoje se od električne i magnetne komponente koje se periodično menjaju u zavisnosti od vremena.

Različite vrste elektromagnetnih talasa imaju različite frekvencije. Oni takođe imaju i različite osobine i primenu. Radio talasi za telekomunikacije nalaze se u nižem delu spektra. U mobilnoj telefoniji koriste se radio talasi mikrotalasnih dužina i frekvencija iz opsega 450-2200 MHz.

Intenzitet radio signala emitovanih od strane mobilnog telefona ili bazne stanice opada sa povećanjem rastojananja od antene. Osim toga, intenzitet radio signala je direktno propoprcionalan izlaznoj snazi predajnika.

Današnji laki mobilni telefoni imaju maksimalnu izlaznu snagu od oko jednog do dva vata, što je približno jednako snazi male baterijske sijalice. Pored toga, telefon koristi onoliko snage koliko je potrebno za uspostavnjalje dobrog kontakta s baznom stanicom.

Izlazna snaga bazne stanice je različita, zavisno od tipa i lokacije i kreće se manje od jednog vata kod malih jedinica u unutrašnjem prostoru i na zidovima zgrada pa do stotinak vati kod stanica sa antenama na visokim stubovima. Intenzitet radio signala takođe zavisi od tipa antene. Da bi se povećao domet, većina antena je usmerena, što znači da su radio signali jači u jednom smeru.

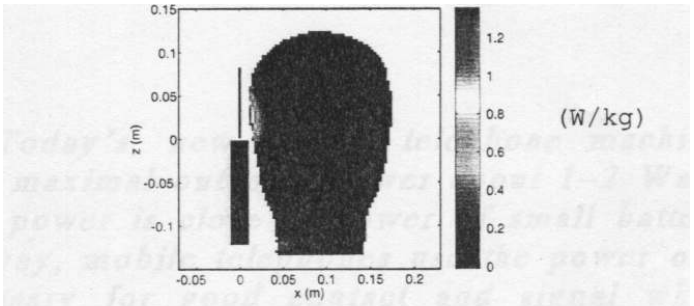
ZDRAVLJE I BEZBEDNOST

Ne retko se može pročitati kako se elektromagnetna polja u nauci sve više koriste da bi se objasnili mehanizmi u molekularnoj bioligiji, imunologiji, hematoligiji i onkologiji, kao što je nekontrolisan rast kancerogenih ćelija [3], zatim da se potvrde razne teorije o prenosu signala kroz ćeliju ili samu membranu. Rezultati ukazuju da mozak i neke nervne ćelije (delovi nervnog sistema) mogu biti znatno osetljiviji od ostalih tkiva, naravno u kontekstu short-term reverzibilnih interakcija. Jer dobro je poznato da radio talasi mogu da budu apsorbovani od strane bioloških i drugih materija koje sadrže vodu, a zatim da se transformišu u toplotu.

STANDARDI I GRANIČNE VREDNOSTI

Da bi se ljudi zaštitili od zagrevanja putem radio talasa utvrđene su dozvoljene vrednosti za izlaganje radio talasima. Postoji veliki broj nacionalnih i međunarodnih propisa, standarda i preporuka koji se odnose na izlaganje elektromagnetnim talasima u opsegu radiofrekvencija. Granične vrednosti su veoma slične i obično su zasnovane na preporukama Međunarodne zdrastvene organizacije (WHO) i Međunarodnog udruženja za zaštitu od zračenja (IPRA). Za definisanje bezbednih graničnih vrednosti se obično koriste jačina polja (V/m i A/m) ili gustina snage (W/m^2). Merenjem ili proračunom jačine polja ili intenziteta za određeno mesto, moguće je utvrditi da li su granične vrednosti prekoračene ili ne. Na slici 2 je prikazan kopjuterski proračun emitovanja specifičnog stepena apsorpcije radio talasa koji emituje mobilni telefon.

Kako je nivo snage mobilnog telefona tako mali, praktično nije bilo moguće registrovati bilo kakav porast temperature u telu. Šta više, analize su pokazale da dugotrajni razgovori preko mobilnog telefona ne mogu da dovedu do porasta temperature u glavi korisnika za više od 0.1 Celzijusa. Ovo delovanje može da se smatra apsolutno zanemarnjivim u poređenju sa normalnim varijacijama temperature u ljudskom organizmu. Inače merenja se vrše pri maksimalnoj predajnoj snazi mobilnog telefona, koji inače automatski reguliše izlaznu snagu u skladu sa potrebama zavisnim od okolnosti i pri tome koristi maksimalnu snagu samo kada su loši uslovi za prenos signala.



SAR ograničenja za mobilne telefone

Preporuka	SAR (W/kg)	Prosečna masa (g)	Prosečno vreme (min)
ICNIRP 1966	2,0	10	6
CENELEC 1995	2,0	10	6
IEEE/ANSI 1992	1,6	1	30

Slika 1.

LITERATURA

[1] Glas javnosti, februar 1999.
[2] Mobile Telecommunications ISSUE 5
[3] Kuster N. Q. Balzano, I.C. Lin , Progress in Safety Assesments of Mobile Communications

ABSTRACT

Today's, new mobile telephone machines have maximal outcome power about 1-2 watts. That power is close to power of small battery. Anyway, mobile telephones use the power only necessary for good contact and signal which coming from basic stations. Practically it is not possible to measure increasing of temperature, because of low level of power of mobile telephone. Long conversations over mobile telephone cause increasing temperature for 0.1 Celsius.

IZVORI UV ZRAČENJA ZA VEŠTAČKO TAMNJENJE KOŽE I ZAŠTITA

D. Živković, M. Hrnjak
Institut za medicinu rada ZPM, VMA, Beograd

SADRŽAJ

U poslednje vreme sve se više koriste izvori veštačkog UV zračenja radi dobijanja tamnog tena. Pošto UV zračenje nije bezopasno to ne postoje ni bezbedni uređaji za veštačko tamnjenje, pa bi trebalo izbegavti izlaganje njihovom zračenju. Ako to nije slučaj onda se moraju preduzeti zaštitne mere: strogo doziranje zračenja u zavisnosti od tipa kože, korišćenje odgovarajućih zaštitnih naočara, zabrana istovremene upotrebe kozmetičkih preparata kao i nekih lekova i dr.

DEJSTVO ULTRAVIOLETNOG (UV) ZRAČENJA NA ČOVEKA

Ljudski organizam nije u stanju da detektuje UV zračenje. U zavisnosti od bioloških svojstava UV zračenje se deli na: UVA zračenje ili tzv. ″crnu svetlost″ (talasnih dužina - λ od 315 nm do 400 nm), UVB zračenje (ima veću energiju tj. ima jače biološko dejstvo i λ je u opsegu od 280 nm do 315 nm) i UVC zračenje, koje se odlikuje najjačim germicidnim dejstvom (λ manje od 280 nm). Osnovni prirodni izvor UV zračenja je Sunce. Na površinu zemlje sunčevim zracima dospevaju samo UVA i UVB komponente UV zračenja, dok treća komponenta tj. UVC zračenje biva apsorbovana u atmosferi. Prirodnom UV zračenju su izloženi ljudi koji, zbog prirode svoje profesije, svakodnevno provode puno vremena na otvorenom prostoru, a to su: poljoprivrednici, građevinari, monteri, mornari i dr. Veštačkom UV zračenju izloženi su: zavarivači, laboratorijsko i medicinsko osoblje, fizioterapeuti, osoblje u farmaceutskoj industriji i dr. Ovde treba spomenuti i radnike u kozmetičkim salonima kao i stanovništvo, jer se u svetu, a i kod nas, u poslednje vreme sve više koriste izvori veštačkog UV zračenja radi dobijanja tamnog tena., što neki smatraju znakom zdravlja i lepote. UV zračenju se ovde izlažu lice i celo telo.

Izlaganje UV zračenju može da dovede do pojave crvenila i opekotina po koži, a tamnjenje kože se javlja posle izvesnog vremena. Crvenilo nastaje obično posle 12 sati od ekspozicije, praćeno je bolom i traje nekoliko dana, a pri većem izlaganju se javljaju oštećenja kože-opekotine, zapaljenje kože i plikovi. Ako je opekotina većeg stepena onda se mogu javiti i ožiljci na koži. Posle prvobitnog tamnjenja, koje nije dugotrajne prirode i izbledi posle nekoliko dana, sledi odloženo tamnjenje koje je postojanije i može da traje ponekad i do nekoliko meseci. Ovo odloženo tamnjenje prati obično i zadebljanje površinskog sloja kože što obezbeđuje zaštitu od pojave crvenila po koži usled ponovljenog izlaganja. Kod dugotrajnog izlaganja na koži nastaju pege, povećana nejednaka pigmentacija, a i degenerativne promene nazvane solarna (sunčana) elastoza i keratoza.

Promene na koži se javljaju na otkrivenim delovima kože, na licu, na vratu, gornjim delovima šaka i ruku, na delovima glave na kojima nema kose, a kod žena na dekolteu (delovi tela koji nisu zaštićeni odećom). Prema stepenu osetljivosti kože na pojavu crvenila i opekotina dolazi se do podele na 4 tipa kože: I tip – osetljiva koža koja nikada ne tamni i na kojoj se uvek javljaju crvenilo i opekotine, II tip – umereno osetljiva koža, umereno tamni i visoko osetljiva na opekotine, III tip – koža koja dobro tamni i umereno je osetljiva na pojavu opekotina i IV tip – koža koja dobro tamni i malo je osetljiva na opekotine [1, 2].

Rak nepigmentnih i pigmentnih ćelija kože svakako predstavlja najznačajniju promenu koja se javlja usled dugotrajnog izlaganja UV zračenju. Mada prvenstveno nastaju kao posledica povećanog izlaganja UV zračenju prirodnog porekla, rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da se povećan rizik od pojave ovih malignih oboljenja javlja i kod izlaganja veštačkom UV zračenju - verovatno zato što se dobijeno UV zračenje veštačkog porekla dodaje ukupnoj godišnjoj primljenoj dozi od prirodnih izvora. Prema nekim tvrdnjama izlaganje veštačkom UV zračenju u kozmetičkim salonima u toku 12 seansi godišnje, povećava dva puta rizik od pojave raka nepigmentnih ćelija kože. Rak pigmentnih ćelija je ređi, ali je i zloćudniji. I ovaj oblik oboljenja je u porastu, a razlog za to je svakako povećano izlaganje ljudi prirodnom UV zračenju usled pojave istanjenja ozonskog omotača Zemlje [1, 3].

UV zračenje može dovesti i do pojave fotoalergijskih reakcija, naročito ako se koriste neki kozmetički preparati (kao što su na pr. kreme, parfemi) ili se upotrebljavaju pojedine vrste lekova sa fotosenzibilirajućim supstancama.

Izlaganje jakom UV zračenju može dovesti do oštećenja očiju poznatog pod nazivima ″snežno slepilo″ ili ″oči zavarivača″, tj. do pojave izraženog zapaljenja vežnjače očiju, koje prate jaki bolovi u očima, suzenje i nemogućnost gledanja u svetlost. Javljaju se posle 24-48 časova i traju nekoliko dana, ali bez posledica. Izlaganje UV zračenju u dužem vremenskom intervalu može dovesti do pojave mrene (katarakte), kao i do oštećenja na mrežnjači oka.

Jedino korisno dejstvo UV zračenja, koje je i naučno dokazano, je njegova uloga u sintezi provitamina D u koži, koji se kasnije u bubrezima pretvara u aktivni vitamin D. On je veoma važan za ugradnju kalcijuma u kosti i u sprečavanju pojave rahitisa [1].

IZVORI UV ZRAČENJA ZA VEŠTAČKO TAMNJENJE

Danac Nils Finzen je 1898 napravio prvu lampu sa ″veštačkim sunčevim zracima″, a posle toga takva lampa je korišćena u terapiji. Pedesetih godina ovog veka u modu ulaze kvarcne lampe za kućnu upotrebu, a 1975 godine je proizvedena i prva klupa za sunčanje. Godine 1980 proizvedena je prva tzv. ″sendvič ležaljka″, a nešto kasnije je napravljena i lampa (pod visokim pritiskom) za lice.

Danas se kao osnovni izvori za veštačko tamnjenje koriste fluorescentne cevi i tzv. ″živine lampe″. Fluorescentne cevi su ispunjene parama plemenitih gasova dok im je unutrašnjost prevučena tankim slojem fosfora. Pri električnom pražnjenu dolazi do pojave zračenja (čija je λ=254 nm) koje zatim pada na fosfor i pretvara se u UV zračenje (čije je λ veće) i vidljivo zračenje i kao takvo prolazi kroz cev. Kod živinih lampi UV zračenje (uglavnom sa određenim istaknutim talasnim dužinama) nastaje usled električnog pražnjenja u sredini sa parom žive (koja može biti pod malim, srednjim ili visokim pritiskom). Fluorescentne cevi mogu biti:

UVA fluorescentne cevi sa malim pritiskom,
UVA filterovane fluorescentne cevi sa pražnjenjem visokog intenziteta,
UVB fluorescentne cevi sa malim pritiskom i
UVB fluorescentne lampe sa pražnjenjem visokog intenziteta.

Zbog izuzetno jakog biološkog dejstva UVB zračenja koje može izazvati veća oštećenja treba kombinovati UVA i UVB izvore ili koristiti samo UVA izvore.

U kozmetičkim salonima i solarijumima vrši se ozračavanje lica ili celog tela UV zračenjem koje potiče iz fluorescentnih cevi koje su postavljene u samom ležaju ili iz cevi na poklopcu ili panelu iznad ležaja. Iako mnoge stručne institucije ukazuju na moguće štetne efekte izlaganja veštačkim izvorima UV zračenja u kozmetičke svrhe, korisnici ga i dalje upražnjavaju zaboravljajući da se izlažu ne baš bezopasnim zracima [1-4].

NORMATIVI, PREPORUKE I ZAŠTITA

Široka upotreba opreme za veštačko tamnjenje dovela je do potrebe njene kategorizacije u zavisnosti od karakteristika zračenja. Zato je Evropska organizacija za standarde iz oblasti elektrotehnike CENELEC donela normativ EN 60 335-2-27, a zatim su to uradili nacionalni savezi nekih zemalja, kao na pr. Švedska (SSI FS 1991:4), a sve kako bi se ova oprema stavila pod nadzor. Ovi dokumenti su dali normative koje oprema za veštačko tamnjenje mora da zadovolji [3].

Dok su dosadašnji aparati uglavnom emitovali UVA zračenje, spektar koji emituju najnoviji ″kreveti za sunčanje″ približno odgovara prirodnom UV zračenju koje potiče od Sunca. Pomoću ″kreveta za sunčanje″ koža tamni uz visoku dozu UVA zračenja i veoma malo UVB zračenja. Treba istaći da ovi izvori nikako ne smeju emitovati UVC zračenje – tj. u spektru zračenja nije dozvoljen merljiv pik na 254 nm. Pored ovoga ″kreveti za sunčanje″ treba da budu propisno označeni, da na njima postoje tajmeri koji obezbeđuju automatsko isključenje posle programiranja željenog vremena izlaganja, moraju se koristiti zaštitne naočari (nije dovoljno koristiti vatu ili držati oči zatvorenim), mora postojati uputstvo za rukovanje opremom, moraju postojati upozoravajuće oznake kao i knjižica sa navedenim štetnim efektima. Pored ovoga u solarijumima mora da radi stručno osoblje, a to je ujedno i garancija da se vodi računa o higijeni i ispravnosti aparata [3].

Uz pomoć navedenih normativa i standarda IEC 1228 (koji propisuje metodologiju merenja UV zračenja iz korišćenih lampi) izvršena je kategorizacija aparata i određeni su dozvoljeni intenziteti UVA i UVB zračenja koji mogu da potiču od ovih uređaja. Kod opreme za veštačko tamnjenje tipa 3 eritemna (koja izaziva crvenilo) gornja granica efektivne doze zračenja (ozračenost u skladu sa akcionim spektrom koji je propisala Međunarodna organizacija za osvetljenost - CIE) je 0,15 W/m^2 za UVB zračenje ispod 320 nm ili UVA zračenje iznad 320 nm. Ukupni dozvoljeni eritemno efektivni nivo je 0,3 W/m^2 i može se uporediti sa sunčevim zračenjem iz tropskih predela. Nivo UVA i/ili UVB zračenja kod tipova 1, 2 i 4 može imati veću vrednost nego kod uređaja tipa 3 [3].

U praksi se često dešava da proizvođači ove opreme proglase da njihovi proizvodi zadovoljavaju propisane normative, ali ih ne obeležavaju na standardima propisani način. Tehnički standardi su ustanovili pravilo da se lampe moraju zameniti lampama istovetnog tipa, a nikako jačim lampama jer ove mogu izazvati opekotine. Nacionalni instituti za zaštitu od zračenja u mnogim zemljama Evropske unije distribuiraju liste lampi koje su, sa stanovišta zaštite od zračenja, prihvatljive za zamenu kod opreme za veštačko tamnjenje tipa 3. Lista treba da bude pristupačna solarijumima. Međunarodna

komisija za nejonizujuće zračenje (INIRC),a i druge stručne organizacije su 1991. godine zauzela stav da se izlaganje veštačkim izvorima UV zračenja za kozmetičko tamnjenje ne preporučuje. Ukoliko se ovo ne prihvata, onda se treba pridržavati preporučenih mera zaštite. Ovo posebno važi za osobe sa osetljivom kožom, kao i za osobe koje imaju veći broj tamnih mladeža po koži ili u njihovoj porodici ima slučajeva pojave raka kože. Isto važi i za osobe koje već imaju promene na koži nastale od sunčevog zračenja. Za ostala lica savetuju se prethodne konsultacije sa lekarom. Definisan je i stav da lica mlađa od 16 godina ni u kom slučaju ne bi trebalo da se izlažu UV zračenju veštačkih izvora. Potrebno je strogo se pridržavati doziranja zračenja u skladu sa tipom kože. Prvo izlaganje treba da bude upola kraće od vremena predviđenog za jednu seansu, jer to pruža mogućnost da se ispita dejstvo na kožu i da se, ukoliko se javi jaka reakcija, odmah prekine izlaganje zračenju. U toku izlaganja UV zračenju obavezno je koristiti zaštitne naočari sa staklima koja sprečavaju prodor UV zračenja. Ne treba koristiti kozmetička sredstva, parfeme ili sredstva za sunčanje, kao i pojedine medikamente sa fotosenzibilirajućim supstancama, jer može doći do fotoalergijskih reakcija [1].

ZAKLJUČAK

UV zračenje nije bezopasno tako da ne postoje bezbedni uređaji za veštačko tamnjenje. Savet INIRC je da se ne upražnjava kozmetičko tamnjenje, a ako se već ide u solarijume preporučuje se da godišnje izlaganje ne pređe ukupno 30 seansi zračenja od po pola sata. Iz svega navedenog sledi da dalje delovanje u zaštiti treba usmeriti u pravcu ukidanja navike da se ljudi podvrgavaju veštačkom tamnjenju.

LITERATURA

[1] IRPA/INIRC Guidelines, Health Issues of Ultraviolet "A" Sunbeds used for cosmetic purposes – A statement by the International Radiation Protection Association. Health Physics 1991; 61 (2): 285-8.

[2] C. Boldeman, H. Beitner, B. Jansson, B. Nilsson and H. Ullen. Sunbed use in relation to phenotype, erithema, sunscreen and skin diseases.A questionnaire survey among Swdish adoloscents. Br. J Derm. 1996; 135:712-6.

[3] U. Wester. How Bad are Sunbeds. SSI News 1997; 1: 12-3.

[4] J. Westerdahl, H. Olsson, A. Masbäck, C. Ingvar, N. Jönsson, L. Brandt, P Jönsson and T. Möller. Use of Sunbeds or Sunlamps And Malignant Melanoma in Southern Sweden. Am. J Epid. 1994; 140 (8): 691-9.

ABSTRACT

UV RADIATION SOURCES FOR ARTIFICIAL SKIN TANNING AND PROTECTION

D. Živković, M. Hrnjak

UV radiation sources for artificial tanning are more utilized at the last time. UV radiation is not harmless, so there are not safety devices for tanning. If people do not want to avoid exposure to their radiation, than it is necessary to take the prevention measure: strictly dose of UV radiation according to skin type, use of appropriate protective eyewears and respect for inhibit of some medicaments and some cosmetic preparatures use.

ZNAČAJ MERENJA OPTIČKOG ZRAČENJA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE

P. Vukadin,
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu istaknut je značaj i neke primene merenja optičkog zračenja u zaštiti životne sredine. Ukratko su opisana dejstva optičkog zračenja na čoveka i njegovu životnu sredinu. Prikazano je stanje u oblasti merila veličina optičkog zračenja.

UVOD

Doskora se, kao bezuslovna i vodeća tendencija razvoja savremenog naučnog znanja javljala njegova fizička orijentacija. Naime, kompleks fizičko-matematičkih nauka imao je najveći uticaj na celokupnu strukturu prirodnih i opšte-društvenih naučnih discplina. Dominirala je fizičko-matematička interpretacija objektivne slike sveta i ta slika je odgovarala „najvećim zahtevima u pogledu strogosti i tačnosti izražavanja uzajamne zavisnosti“ [1].

Sigurno je da fizička slika sveta i nadalje odgovara stvarnosti i da fizičko-matematičke nauke i dalje ostvaruju svoje funkcije. Međutim, ispoljavanje dominacije određene nauke, ili grupe nauka, sve više gubi značaj pred činjenicom da je znatno korisnije istraživanje koje akumulira savremeno naučno saznanje, usmeravajući ga na rešavanje konkretnih problema koji se javljaju pred društvom na određenoj etapi njegovog razvoja.

Početkom sedamdesetih godina, u okviru takvih problema, ističe se problem biosfere, tj. kompleks učenja o očuvanju, oživljavanju i poboljšavanju životne sredine čoveka, odnosno sprečavanju daljih degradacionih procesa biosfere, izazvanih savremenim oblicima i metodama naučno-tehničkog i socijalno-ekonomskog razvoja. To što sve veće zanimanje naučnika izaziva ekološka problematika, nimalo ne umanjuje značaj istraživanja u oblasti fizike, ili nekoj drugoj, već ističe dominirajući položaj problema biosfere i ispoljava se u određenoj „biosferizaciji“ prirodnih, tehničkih i društvenih nauka.

METROLOGIJA I ŽIVOTNA SREDINA

Fizičko-matematičke nauke, na neki način, postavljaju problem biosfere „na kolosek“ savremenog naučnog znanja, odnosno predlažu metode analize fizičkih, hemijskih i bioloških uzajamnih odnosa organizama sa životnom sredinom. Srazmerno broju ekofizičkih problema, vrši se istraživanje osnovnih fizičko-hemijskih parametara biosfere i

ocena stepena zagađenosti životne sredine čoveka. Monitoring postaje sve značajniji faktor za uspešno sprovođenje celokupnog kompleksa mera usmerenih ka zaštiti životne sredine. U okviru monitoringa, merenje i metrologija uopšte, stiču sve veću primenu, ali se i sami razvijaju i obogaćuju novim saznanjima, Vrlo široko polje primene, koje se pred metrologijom otvara u monitoringu životne sredine, još uvek je nedovoljno istraženo i pruža velike mogućnosti u pogledu razvoja novih metoda i sredstava merenja.

Metrologija, međutim, ne stiče primenu samo u monitoringu životne, sredine. Metod matematičkog modelovanja koji, uz izvesna zanemarivanja i uprošćavanja, daje realne situacije odnosa čovek-biosfera i omogućava dovoljno efikasno rešavanje problema kvantitativne ocene prirodnih pojava i njihovog uzajamnog odnosa sa fenomenima tehnogenog porekla, mora se oslanjati na eksperimentalne podatake koji će opravdati uspostavljanje modela. U toj fazi u prvi plan dospeva pitanje pouzdanosti podataka kojima su opisani određeni odnosi, odnosno pitanje metrološkog obezbeđenja. Jedan od koraka koji vode do stvaranja modela, odnosno do određenih kvantitativnih tvrđenja je i merenje [2].

Metrologija, kao nauka o merenjima i metodama i sredstvima obezbeđivanja njihovog jedinstva i načinima postizanja potrebne tačnosti [3], predstavlja interdisciplinarnu naučnu oblast koja duboko zadire u, praktično, sve pore ljudskih aktivnosti. Sva pitanja kojima se metrologija bavi sadrže u sebi jedan opšti deo (opšta teorija merenja) i drugi, posebni, koji se odnosi na pojedine veličine, odnosno, oblasti.

Jedna od podela fizičkih veličina je i podela prema pripadnosti određenoj grupi fizičkih procesa (pojava) [4], i ona je od najvećeg interesa za razmatranja u ovom radu. Prema ovoj podeli, fizičke veličine su svrstane u sledeće prostorno-vremenske, mehaničke, električne i magnetne, toplotne, akustičke, svetlosne i veličine jonizujućeg zračenja.

Svetlosne, ili, bolje, veličine optičkog zračenja su one fizičke veličine pomoću kojih se izražavaju svojstva (jednog) dela spektra elektromagnetnog zračenja za koji važe zakoni i principi optike. Ove veličine su od posebnog značaja za životnu sredinu, jer prirodni fon optičkog zračenja predstavlja jedan od njenih fizičko-hemijskih osnova, jedan nezaobilazan element koji deluje na čoveka i njegovu okolinu.

DEJSTVO OPTIČKOG ZRAČENJA NA ČOVEKA I NJEGOVU ŽIVOTNU SREDINU

Prirodni fon optičkog zračenja često je potiskivan na periferiju zbivanja i prihvatan kao jedan od elemenata životne sredine koji nije često i u nekoj većoj meri narušavan. Međutim, efekti optičkog zračenja na biosferu su veoma raznovrsni, i promene nivoa mogu dovesti do mnogih štetnih, ali, ponekad, i korisnih posledica (što zavisi od intenziteta zračenja i vremena izloženosti zračenju). Najveći deo prirodnog fona optičkog zračenja potiče od Sunca, dok je. globalno posmatrano, uticaj ostalih prirodnih i veštačkih izvora zanemarljiv. Snaga sunčevog zračenja primljena na spoljašnjoj površini atmosfere, na srednjoj sunčevoj udaljenosti iznosi 1353 W/m^2, dok na zemljinoj površini ona varira od (0 - 1000) W/m^2. Prihvata se, [5], da Zemlja prima od Sunca energiju u vrednosti 1,52 x 10^{18} kWh godišnje, od čega do zemljine površine dospeva oko 6,2 x 10^{17} kWh (oko 1/4 ukupne energije). Od toga na kopno dospeva 2,16 x 10^{17} kWh godišnje, a na plodne površine (20 % kopna) 4,3 x 10^{16} kWh godišnje.

Upadna energija sunčevog zračenja koristi se u procesu fotosinteze kod biljaka za sintetizovanje organskih ugljeničnih jedinjenja koja su najveći izvor hrane i energije. Biljke apsorbuju oko 0,3 delova zračenja i od toga konvertuju 0,01 deo apsorbovane

svetlosti, u proseku. Na ovaj način izračunato je [6], da bi se moglo godišnje proizvesti oko 3×10^{10} tona sintetizovanih organskih jedinjenja.

Čovek dobija najmanje 2,4 kWh energije koja mu je prosečno potrebna u toku dana od biljaka i životinja iz biosfere. Veliki deo njegove hrane potiče od ekosistema koji su podređeni da služe njegovim potrebama. Kako ovi poljoprivredni sistemi nisu inherentno stabilni kao što su prirodni, oni se održavaju dodatnim unošenjem energije u obliku đubriva, kultivacije, primenom pesticida i herbicida i sličnim merama. Ovim se, nažalost, narušava i prirodni ekosistem takvih područja.

Sva fosilna goriva izvorno su proizvedena u procesu fotosinteze. Sam proces fotosinteze može se efikasnije iskoristiti za rešavanje problema energije i ishrane, što podrazumeva stvaranje „farmi drveća“, kultivaciju trava, stvaranje kultura algi, iskorišćavanje organskih otpadaka itd.

Dejstvo optičkog zračenja na čoveka

Često se kaže da je čovek biće sunca. Stotine hiljada godina njegove ćelije i organi prilagođavali su svoje aktivnosti zračenju raznih talasnih dužina koje potiču od Sunca. Vremenom je on evoluirao u organizam koji je u potpunosti sposoban da „odgovori“ na zračenje ove udaljene zvezde. Uostalom, i čitav život na Zemlji se razvijao pod uticajem sunčevog zračenja.

U početku na kopnu i nije bilo života, jer je jako, energijsko ultraljubičasto zračenje zagrevalo površinu i izazivalo stalne fotohemijske procese između elemenata i primitivne atmosfere. Kako je ovo zračenje bilo smrtonosno, život se razvijao ispod zaštitnog omotača mora. Neophodan uslov za prvi korak na kopnu bio je formiranje atmosferskog kiseonika, zajedno sa ozonom, koji efikasno blokira zračenje ispod 280 nm. Vremenom su se živi organizmi prilagodili preostalom zračenju, tako da se sada mogu uočiti i neki veoma nepovoljni efekti koji se javljaju usled nedostatka dnevne svetlosti. O tome najbolje svedoče, jedno vreme veoma česte, pojave rahitisa kod ljudi koji su bili nedovoljno izloženi dejstvu sunčevog zračenja, a koje je neophodno za sintezu kalciferola (kalcifikacionog hormona koji se oslobađa u krvi preko kože). Kosti ne dobijaju dovoljno kalcijuma i dolazi do njihove deformacije[2]. Ova bolest je sada znatno ređa, ali pojedine strukture ljudi još uvek pate od kalcijalnih defekata. Akumulirani statistički podaci [7, 8], potvrđuju da se radi o onim strukturama koje najveći deo vremena provode u zatvorenim prostorima bez dnevne svetlosti (magacini, arhivi i sl.). Pokazalo se da korišćenje dodatnog UV-osvetljenja (specijalnim UV-sijalicama) u prostorijama bez dnevne svetlosti ne samo da sprečava pojavu rahitisa, već i pozitivno deluje na opšte zdravstveno stanje (manje kataralnih infekcija), ostale telesne funkcije i radnu sposobnost [9, 10].

Tkiva koja su u najvećoj meri izložena optičkom zračenju su oko i koža. Akutni efekti izlaganja optičkom zračenju istraženi su u priličnoj meri, dok se za hronične efekte to još uvek ne može tvrditi. Najveći problemi javljaju se prilikom pokušaja određivanja dozvoljenih nivoa optičkog zračenja kojima čovek može biti izložen u jednom dužem intervalu vremena. Poznato je da UV-zračenje može dovesti do većih oštećenja kože i očiju, pa i do raka kože. Sve šire primene UV-zračenja u industriji, fotohemiji,

[2] Ovakve deformacije su prvi put opisane u Engleskoj, oko 1650. i, sada je to poznato, prouzrukovane su neočekivano velikom apsorpcijom sunčevog UV-zračenja od strane industrijskog smoga i ugljenog dima (čađi). U Evropi u 19. veku su čitavi gradovi bili zahvaćeni ovom boleću. Uzrok tome su bili stalni uslovi „senke“ koji su se stekli kombinacijom „niskog Sunca“ na većim geografskim širinama severne hemisfere, uskih gradskih ulica i povećane koncentracije smoga.

grafičkoj umetnosti, stomatologiji (UV-pištolji) i kozmetici (solarijumi i sl.) ukazali su na potrebu donošenja odgovarajućih propisa u cilju zaštite od prevelikih doza UV-zračenja. Da bi se doneli ovakvi propisi, neophodna su, pre svega, tačnija merenja u ovoj oblasti, odnosno ubrzan razvoj metrologije optičkih veličina.

Vidljivo zračenje

Vidljivo zračenje, kao jedan deo spektra optičkog zračenja, možda je najviše zanemareno. Čovek je već toliko naviknut na jednu prirodnu „svetlosnu okolinu“, da mu je uvođenje veštačkog osvetljenja, ustvari, predstavljalo samo jedan viši stepen konfora, sredstvo za produženje radnog i slobodnog vremena i, uopšte, boljeg življenja, a nikako ugrožavanja životne sredine. Ostvareni vizuelni konfor omogućio je i veću produktivnost rada, povećanu bezbednost u saobraćaju i mnoge druge pogodnosti, naročito u pogledu smanjivanja vizuelnog zamora kod velikog broja čovekovih aktivnosti. Međutim, vremenom su se uočile i nepovoljne strane ove, relativno nagle, promene prirodne okoline.

Sve veći broj novih izvora svetlosti sa izlaznim parametrima koji se znatno razlikuju od do sada poznatih, iziskuje primene odgovarajućih zaštitnih mera. Reč je, pre svega, o laserima, ali i o izvorima složenog zračenja, kao što su kompaktne lučne lampe, uređaji za električno zavarivanje, bljeskalice, eksplozivne žice i sl.

MERILA OPTIČKOG ZRAČENJA

U poslednjih nekoliko godina znatno je povećan broj komercijalno dostupnih radiometara i fotometara. Ovo je motivisano sve većom potrebom za fotometrijskim i radiometrijskim merenjima, gde je zaštita životne sredine jedna od značajnijih oblasti primene. Sve je veći broj i proizvođača ovih instrumenata u svetu, a to je omogućeno zahvaljujući novom tehnološkom razvoju elektronike i novim, stabilnijim i pogodnijim za upotrebu poluprovodničkim prijemnicima.

Iako ova merila imaju najčešće deklarisanu ponovljivost od oko 1% i nesigurnost kalibracije od 1% do 2 %, njihova tačnost u upotrebi je obično manja. Razlog tome je što su to u većini slučajeva širokopojasni prijemnici zračenja, pa je za tačno merenje neophodno poznavati relativnu spektralnu osetljivost radiometra i relativnu spektralnu raspodelu zračenja izvora koje se meri. Proizvođači uređaja najčešće nisu u mogućnosti, ili bar ne po nekoj umerenoj ceni, da daju podatke o spektralnoj osetljivosti prijemnika, a spektralna raspodela zračenja izvora retko kada je poznata. Rezultat ovoga je da se ne može utvrditi ni nesigurnost merenja. Ona može da se menja od nekoliko procenata, kada se merenja vrše na izvoru koji ima sličnu spektralnu raspodelu zračenja kao i etalonski izvor sa kojim je izvršena kalibracija radiometra, pa do 100 % i više, kad se spektralne raspodele znatno razlikuju. Kod fotometara je situacija nešto bolja, obzirom da se velika pažnja poklanja prilagođenju spektralne osetljivosti prijemnika krivoj osteljivosti oka. Tako su razvijeni postupci za proizvodnju fotometarskih glava čiji se odziv razlikuje za manje od 1,5 % od odziva ljudskog oka. Iako su takvi fotometri još uvek dosta skupi, za očekivati je da će sve veća konkurencija na ovom polju dovesti i do umerenijih cena komercijalnih fotometara.

Kada se govori o merilima fotometrijskih veličina u zaštiti, sigurno je da najveću primenu imaju luksmetri, pre svega kod određivanja osvetljenosti radnih mesta, i luminansmetri, kod odrećivanja luminancije kolovoza javnih saobraćajnica. Kod merila radiometrijskih veličina upravo sa strane zaštite životne sredine potiču sve veći zahtevi u pogledu tačnosti ovih merila, naročito u UV-oblasti, kao i za razvojem specifičnih uređaja

koji se mogu koristiti u do sada neuobičajenim situacijama (na satelitima, brodovima, helikopterima, avionima, svemirskim letilicima i sl.). Kako se ova merila moraju proizvoditi s veoma dobrom stabilnošću u vrlo širokom opsegu temperature, otpornošću na mehanička i druga oštećenja, otpornošću na povišenu vlagu i sl., proizvođačima merila veličina optičkog zračenja nameću se sve teži zahtevi u pogledu njihovih performansi. Upravo se u ovako nametanim zahtevima ogleda uticaj zaštite na razvoj metrologije optičkih veličina. Kao očigledan primer može se navesti da je 1990. godine CIE (Međunarodna komisija za osvetljenje) predložila redovno praćenje sunčeve osvetljenosti (a ne samo ozračenosti) preko mreža meteoroloških stanica, što je brzo rezultiralo pojavom novog tipa luksmetra sa specijalnom zaštićenom fotometarskom glavom i poboljšanom temperaturnom stabilnošću.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Vrlo raznovrsne primene sredstava merenja veličina optičkog zračenja, naročito u oblastima koje podležu nadzoru od strane organa zakonske metrologije (bezbednost, zaštita, zdravstvo,obračun), nametnule su potrebu za klasifikacijom i unifikacijom ovih uređaja, metoda njihovog ispitivanja i prenošenja vrednosti jedinica. Oblast zaštite životne sredine je tu odigrala, sigurno, značajnu ulogu. Možda je najbolji primer za ilustraciju jednog takvog procesa, opis stanja u ovoj oblasti u SAD prikazan u [16]:

„Zbog toga što nije postojalo jasno određenje u pogledu potrebe za interakcijom nacionalnog mernog sistema, bilo je veoma malo komunikacija između akademske komune, proizvođača uređaja, grupa korisnika i nacionalnih laboratorija. Dešavalo se da izgleda kao da se svaka primena odigrava u „tehnološkom vakuumu“. Ova situacija se može ilustrovati sledećim nizom događaja:

Ako se posmatra poslednjih trideset godina, jasno je da UV-sijalice postoje i da su se koristile. Ipak, bez odgovarajućih standarda, izveštaji korisnika ponekad su bili nekompletni, pogrešni ili, u najmanju ruku, nejasni. Bez dobre dijagnostike, zasnovane na pouzdanim etalonima, primena tehnologije na druge problematične oblasti bila je ozbiljno ugrožena; rezultati su mogli biti publikovani, ali je izostala nauka koja bi mogla na odgovarajući način da objasni rezultate i omogući generalizacije, ekstrapolacije i poboljšanja. Bez ekonomske stimulacije od strane novih, različitih kupaca, industrija uređaja nije se širila niti poboljšavala svoje proizvode. Bez ovakvih aktivnosti, metrološke laboratorije i laboratorije za standardizaciju zaključile su da njihova pomoć i vođenje nije potrebna. Bez etalona iz takvih laboratorija uniformnost merenja je bila vrlo slaba, a regulatorni organi su zaključili da je nemoguće dati realistične specifikacije. Bez dokumentacionih specifikacija i etalona, korisnik je bio prepušten eksperimentima ili primenama koje su mogle biti samo kvalitativno opisane. Na taj način se ovaj začarani krug nastavlja“.

Za stanje u našoj zemlji teško da bi se mogla prihvatiti ocena koja bi bila i približna ovoj iz studije NBS-a.

Što se tiče fotometrije, stanje je još uvek koliko-toliko zadovoljavajuće. U Laboratoriji za fotometriju i radiometriju Saveznog zavoda za mere i dragocene metale mogu se vršiti kalibracije etalona svetlosne jačine, osvetljenosti i luminancije, kao i ispitivanje luksmetara i luminansmetara sa zadovoljavajućom tačnošću. Ostvaren je i jugoslovenski (primarni) etalon jedinice svetlosnog fluksa i postavljena je metoda za prenošenje vrednosti jedinice. Tako su bar najvažnije fotometrijske veličine „pokrivene“ a oblast skoro zaokružena.

U oblasti radiometrije situacija je, nažalost, mnogo lošija. Trenutno još nisu stvoreni uslovi za kalibraciju bilo kojih merila radiometrijskih veličina, niti su ostvareni primarni etaloni. Postavljena je metoda utvrđivanja spektralne osetljivosti prijemnika zračenja, na nivou radnih etalona koja se ne oslanja na međunarodne etalone, već na sertifikate NIST-a . Za razvoj ove oblasti potrebna su ulaganja, kako u materijalnom tako i u kadrovskom pogledu. Zaštita životne sredine, kao jedna od oblasti koje podležu nadzoru sa strane zakonske metrologije može biti značajan faktor podsticanja razvoja radiometrije.

LITERATURA

[1] Ajnštajn, A. Moja slika svijeta. Pr. S. Milićevića. Sarajevo, Narodna prosvjeta, 1955.
[2] Marković, M. Filozofski osnovi nauke. Beograd, SANU,1981..
[3] Osnovi metrologii i elektritcheskie izmerenija. Pod red. E.M.Dushina, 6. izd., Leningrad, Energoatomizdat, 1987.
[4] Ornatskij, P. P. Teoretitcheskie osnovy informaciono-izmeritel′noj tehniki. Kiev, Vischa shkola, 1983.
[5] Lock, NJ. L. Electromagnetics and Environment Remote Sensing and Telecommunications. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs,New Jersey, 1979.
[6] Rabinowitch E. I. ,Govindjee. Photosynthesis. New York, Wiley, 1969.
[7] The National Measurement System for Spectroradiometry, Washington DC, National Bureau of Standards, 1977.
[8] The National Measurement System for Radiometry and Photometry, Washington DC, National Breau of Standards, 1977.
[9] Neer,R.M., i dr. , Use of Environmental Lighting to Stimulate Calcium Absorbtion in a Healthy Man, Clinical Research, No 18, 1970.
[10] Thorington, L. i dr. , Visual and Biologic Aspects of an Artificial Sunlight Illuminant. Journal of the Illuminating Engineering Society, No 1,1971.
[11] Kanački, L. ,Fotohemijsko i biološko dejstvo zračenja, Zbornik savetovanja Osvetljenje ′78, Novi Sad, 1978.
[12] Light as a True Visual Quantity. Principles of Measurement. CIE Publ. No 41, 1978.
[13] Luisov, V. A., Glaz i svet, Leningrad, Energoatomizdat, 1983.
[14] Meshkov, V.V., Epaneshnikov, M. M., Osvetitelnije ustanovki, Moskva, Energia, 1972.
[15] Vukadin, P., Normiranje svetlotehničkih uređaja prema vizuelnoj radnoj sposobnosti, Zbornik seminara Unutrašnje i spoljašnje osvetljenje, Beograd, 1984.
[16] The National Measurement System for Far Ultraviolet Radiometry, Washington DC, National Bureau of Standards, 1977.

ABSTRACT

THE SIGNIFICANCE OF OPTICAL RADIATION MEASUREMENTS IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

P. Vukadin,
Federal Bureau of Measures and Precious Metals, Belgrade

In this paper, the significance and some applications of optical radiation measurements in environmental protection are emphasized. The effects of the optical radiation on human beings and their living environment are described. Measuring instruments of optical quantities are shown.

BEZBEDAN RAD SA UREĐAJIMA ZA MAGNETSKU REZONANCU U MEDICINI

D. Živković, M. Hrnjak
Institut za medicinu rada ZPM, VMA, Beograd

SADRŽAJ

U radu se daju osnovi biološkog dejstva fizičkih faktora kojima mogu biti izloženi zaposleni na primeni magnetske rezonance u medicini i lica koja se podvrgavaju pregledu, kao i osnovne mere zaštite. Zaposleni i pacijenti mogu biti eksponirani statičkom, vremenski promenljivom magnetskom polju i radio-frekvencijskom zračenju, kao i opasnostima od električne struje i hemijskih materija u uređaju, a tu je i povećan rizik od povređivanja zbog mogućeg kretanja metalnih predmeta. Zaštita zaposlenih od statičkog magnetskog polja se obezbeđuje postavljanjem radnih mesta na odgovarajuću udaljenost od magneta, a zaštita od RF zračenja se sprovodi postavljanjem uređaja za MRI u Faradejev kavez.

UVOD

Nuklearna magnetna rezonanca (NMR) je metoda koja se zasniva na magnetskim karakteristikama jezgara u statičkom magnetskom polju i prelazima između nuklearnih energetskih nivoa. U medicini se sve više koristi termin magnetska rezonanca a posebno prikazivanje magnetskom rezonancom - Magnetic Resonance Imaging (MRI). Ova metoda je zasnovana na korišćenju prostorne zavisnosti magnetskog polja, a osnovna je Larmorova jednakost po kojoj je rezonantna frekvencija srazmerna snazi polja [1, 2].

MRI je neinvanzivna metoda koja ne koristi jonizujuće zračenje i ne zahteva veću pripremu pacijenta. Osnovni tehnološki napredak je da pravi razliku između tkiva koristeći njihova fizička i biohemijska svojstva. U medicini MRI se koristi u dijagnostici - za vizuelno predstavljanje gustine protona vodonika u tkivu, čime se može dobiti slika promena i u mekom tkivu. MRI omogućava i praćenje protoka krvi, protoka cerebrospinalne tečnosti, kontrakcije i relaksacije organa. MRI podjenako daje prikaz bilo kog preseka tela sa ekvivalentnom rezolucijom i to bez pomeranja pacijenta. Kod MRI se pored pouzdanih anatomskih informacija mogu dobiti i informacije o fiziološkom stanju pojedinih organa. Posebno treba istaći da je, u odnosu na druge radiografske tehnike, MRI superiorna u dijagnostici degenerativnih, ishemičnih i neoplastičnih oboljenja mozga [2].

Zaposleni koji rade i održavaju uređaj za MRI u toku rada mogu biti izloženi sledećim štetnim fizičkim faktorima: statičkom magnetsko (M) polju, vremenski promenljivom magnetskom (M) polju i radio-frekvencijskom (RF) zračenju. Pored ovoga moguće opasnosti potiču i od električne struje i kriogenih tečnosti u uređaju. Postoji i potencijalni rizik od povređivanja zbog mogućeg kretanja metalnih predmeta, koji se u blizini jakog magneta mogu ponašati kao projektili [1-3].

STATIČKO MAGNETSKO POLJE

U medicini se uobičajeno koriste uređaji MRI od 0,25-2 T. Posledice delovanja statičkog M polja uređaja za MRI na organizam čoveka određuje se uglavnom veličinom indukcije tog polja. Biološki efekti statičkog M polja ogledaju se u konformacionim promenama makromolekula, promenama u enzimatskoj kinetici, orijentacionim efektima, promenama brzine provodljivosti nerava, indukciji električnih potencijala na srčano-sudovnom sistemu, magnetohidrodinamičkim efektima (usporavanje protoka krvi odnosno povećanje pritiska u aorti), privlačenju feromagnetskih materijala, dejstvu na pacemaker, auditivnim efektima i td. Do danas nisu opisane značajnije tegobe i promene kod zaposlenih na MRI, kao ni maligna oboljenja i dejstvo na plod kod izloženih polju do 2 T. Kod dobrovoljaca izloženih polju od 4 T opisuje se pojava muke, gađenja, vrtoglavice, vizuelnih senzacija (magnetska fosfena), metalni ukus u ustima – verovatno zbog indukcije električne struje kod pomeranja glave i očiju. Mogući je uticaj na psihičke funkcije, srce i aortni pritisak. Kod izlaganja magnetskom fluksu od 6 T dolazi do povećanja pritiska u aorti za 10 %. Na ugrađenom kardiostimulatoru može doći do smetnje u funkciji u polju od 0,5 mT, što se smatra gornjom bezbednom granicom. Opasnost od statičkog M polja se ne odnosi samo na pacijente nego i na pratioce, bolničko osoblje i na druga lica u blizini MRI. Statičko M polje uređaja za MRI može da izazove jako privlačenje ili okretanje feromagnetnih elemenata kako u telu pacijenta tako i slobodnih predmeta u blizini magneta. Sile privlačenja koje se javljaju i/ili obrtni momenti zavise od veličine i gradijenta promene M polja u prostoru, specifičnih magnetskih karakteristika materijala predmeta, a takođe i od njegovog oblika i mase. Realno pojavljivanje sila privlačenja počinje u prostorima gde gustina magnetskog fluksa prelazi 3 mT. Kao rezultat uzajamnog dejstva feromagnetnih materijala i polja mogu se javiti sledeće situacije: feromagnetski parčići i implantati u telu pacijenta mogu da se pokrenu i oštete okolno tkivo, nepričvršćeni feromagnetni predmet može da prouzrokuje spoljnu traumu pacijenta i osoblja, a neki teži feromagnetski predmet može da pritisne pacijenta ka magnetu [2-4]. Osnovna mera zaštite od statičkog M polja postiže se udaljavanjem radnih mesta od magneta (jer jačina polja opada sa povećanjem rastojanja od izvora) ili oblaganjem magneta (što ima ograničeni efekat).

Statičko M polje uređaja za MRI može da utiče i na elektronsku opremu koja se nalazi neposredno u kabinetu za magnetsku rezonancu ili u sasvim bliskim prostorijama (na rendgenske cevi, na pojačavače rendgenskog snimka, TV sisteme, videoterminale, opremu za čuvanje informacija na magnetskim nosačima). Za odgovarajuću elektronsku opremu uticaj M polja je primetan pri gustini magnetskog fluksa u opsegu od 0,1 mT do 5 mT. Elektronski sistemi kompjutera ne potpadaju pod uticaj slabih polja iako su mogućnosti razmeštanja kompjutera u kabinetima za magnetsku rezonancu u velikoj meri ograničene propisima koji se odnose na pomoćnu opremu za čuvanje informacija na magnetskim nosačima. Za brisanje informacija sa kreditnih kartica ili magnetskih traka dovoljno je na pr. na njih delovati M poljem čija je gustina magnetskog fluksa 20 mT.

Radi izbegavanja potencijalnog rizika neophodno je:

Postaviti obaveštenje u vidu znakova upozorenja o postojanju M polja i opasnosti za nosioce pacemakera i dejstva na lične predmete: mehaničke časovnike, biznis kartice itd.

Potrebno je obeležiti oblast kontrolisanog pristupa (oblast u kojoj je indukcija statičkog M polja jednaka ili veća od 0,5 mT). U navedenu oblast ne spadaju samo prostorije gde je smešten uređaj za MRI, već i druge prostorije - okolni hodnici, prolazi, garaže i td. Korisnik je dužan da razradi dokumente o boravku u oblasti kontrolisanog pristupa i sa njima upozna osoblje kao i pacijente pre pristupanja ispitivanju. Osoblje može

da se nalazi u naznačenoj oblasti samo pri opsluživanju pacijenta, pri održavanju uređaja za magnetsku rezonancu i prostorije u kojoj se isti nalazi ili pri tehničkom opsluživanju uređaja. Korisnik je u obavezi da razradi spisak opreme i instrumenata koji mogu da se koriste u oblasti kontrolisanog pristupa. Za svaki instrument, pomoćno sredstvo ili aparat koji se nalazi na spisku treba navesti posebne mere za njihovu bezbednu primenu [2, 4].

VREMENSKI PROMENLJIVO MAGNETSKO POLJE

Vremenski promenljiva M polja koja stvaraju gradijentne zavojnice (kalemovi), u skladu sa zakonom elektromagnetske indukcije, indukuju električne potencijale i vrtložne struje. Gradijenti se izražavaju u mT/m, a u zavisnosti od načina formiranja slike tipični gradijenti sistema MRI od 0,5 T su 10-50 mT/m. Veličina indukovanog signala je proporcionalna brzini izmene indukcije gradijentnih polja (dB/dt). Promenljivo M polje u telu izaziva indukciju električne struje (koja može da se manifestuje stimulacijom nervnih i mišićnih ćelija, indukciju ventrikularne fibrilacije odnosno opasne srčane aritmije, kao i vizuelnim senzacijama ili magnetskom fosfenom). Pri promeni M polja , zbog indukcije električne struje u kalemu, javlja se buka, koja se obično kreće u opsegu 65-95 dB. Smatra se da se stimulacija perifernih nerava i srca može izbeći ako maksimalna vrednost M polja, promenljivog u vremenu, ne prelazi 20 T/s pri dužini impulsa iznad 120 μs. Ako se dužina impulsa smanjuje od 120 μs do 2, 5 μs, onda čak ni visoki nivoi parametra dB/dt nisu opasni, a zatim se uočava zagrevanje tkiva koje izazivaju vrtložne struje što postaje veći ograničavajući faktor od navedenog parametra [2-4].

RADIO-FREKVENTNO ZRAČENJE

U MRI se koristi RF zračenje frekvencije od 10,5 MHz do 200 MHz, u zavisnosti od jačine M polja, jer rezonantna frekvencija protona vodonika u M polju iznosi približno 42 MHz. U toku ispitivanja dolazi do izloženosti pacijenta RF zračenju, absorpcije zračenja koja se manifestuje termičkim efektom, odnosnom zagrevanjem celog tela. Rezonantna frekvencija (frekvencija na kojoj se RF zračenje najbolje apsorbuje) za standardnog čoveka se kreće u opsegu 30–300 MHz (sa maksimumom na 70 MHz). Vidi se da se ove frekvencije nalaze u opsegu koji koriste u MRI. Izloženost RF zračenju i apsorbcija energije zračenja ogleda se u vidu termičkog opterećenja organizma pri čemu dolazi do uključivanja termoregulacionih mehanizama kako bi se održala konstantna temperatura u telu čoveka. Reakcija termoregulacije se manifestuje u vidu ubrzanja srčanog rada, proširenja krvnih sudova na periferiji i mogućeg pada krvnog pritiska. Ukoliko ovi mehanizmi ne uspevaju da se izbore sa nastalim termičkim opterećenjem dolazi do povećenja temperature u telu ili delu tela. Iz ovih razloga je veoma važno da ne dođe do absorpcije energije zračenja u tolikoj meri da ona izazove preveliko termičko opterećenje u organizmu. Ovo može da bude opasno za pacijente koji imaju ugrožen sistem za termoregulaciju ili pate od srčanih oboljenja. Kako bi se na neki način odredila količina energije zračenja koja se apsorbuje u organizmu uveden je pojam SAR (Specific Absorption Rate) ili specifična stopa apsorpcije, koja se izražava u W/kg. Kod SAR od 4 W/kg mogu se očekivati štetni efekti na biološkom tkivu. Kao granica za promenu RF zračenja u MRI određena je vrednost SAR od 1-1,5 W/kg, za koju se smatra da neće izazvati povećanje temperature veće od $1^{o}C$ i štetne efekte kod osoba koje se podvrgavaju ispitivanju. Zaštita zaposlenih od RF zračenja se sprovodi postavljanjem uređaja za MRI u

Faradejev kavez, koji sprečava širenje zračenja u radne prostorije. Zaštita osoba koje se ispituju obezbeđuje se određivanjem gornje granice izloženosti tj. SAR na osnovu sadašnjih saznanja o mogućim biološkim dejstvima [2, 4].
Postojanje radio-frekvencijskog zračenja u uređajima za magnetsku rezonancu zahteva primenu posebnih mera predostrožnosti pri izboru aparata za posmatranje (monitoring), kao i davača. Svi provodnici treba da imaju toplotnu izolaciju zbog kontakta sa pacijentom. Uputstvo za razmeštaj i podešavanje aparata za monitoring i kablove koji se nalaze u blizini pacijenta treba da isporuči proizvođač uređaja. Sve ove mere su usmerene na smanjivanje verovatnoće stvaranja indukovanih struja, koje mogu da dovedu do pojave opekotina kod pacijenta. Neophodno je napomenuti da primena neodgovarajue pomoćne opreme može dovesti do pojave opekotina i drugih trauma pacijenta [3].

ZAKLJUČAK

Najznačajniji fizički faktor kojem je izloženo osoblje na primeni MRI u medicini je jako statičko M polje. Neophodno je postaviti vidljive znake upozorenja o postojanju jakog magnetskog polja kako bi se zaštitili nosioci pacemakera. Zaštita od RF zračenja se sprovodi postavljanjem uređaja za MRI u Faradejev kavez.

LITERATURA

[1] Decorps M. Basic principles of MR imaging. Phys Med 1996; 12(Suppl 1): 62-8.

[2] Magin RL. Liburdy RP, Persson B, editors. Biological Effects and Safety Aspects on Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy. Annals of the New York Academy of Sciences,Volume 649. New York: The New York Academy of Sciences, 1992.

[3] Чикирдин Э. Г., Клеименов В. А. К вопросу безопасности эксплуатации магнитно-резонансных томографов. Медицинская мехника 1997; (2): 24-7.

[4] ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys 1994; 66:100-6.

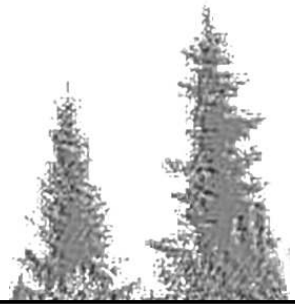
ABSTRACT

SAFETY WORK WITH MRI DEVICES IN MEDICINE

D. Živković, M. Hrnjak

This paper gives the basis of biological effects of physical factors which could affect personnel working on MRI devices and patients, and corresponding protection measures. Medical personnel working with MRI devices and patients could be exposed to static magnetic field, time warying fields and radiofrequency radiation, danger from electric current and chemical matters, and there is a high risk from moving metal objects which could wound the persons near-by. The protection from static magnetic field could be ensured by increasing the distance from the source. If MRI device is put in Faradays cage it could be corresponding protection of radiofrequency radiation.

11



REGULATIVA I EDUKACIJA

EDUCATION IN MEDICAL PHYSICS AS A PART OF OPTIMIZATION IN RADIATION PROTECTION OF THE PATIENT

S. Andrić, M. Ninković
Radiation and Environmental Protection Department,
Institute of Nuclear Sciences Vinca, Belgrade

INTRODUCTION

The basic scientific knowledge in the field of radiation protection of the patient applied in distributed by International Commission for Radiation Protection (ICRP) [1,2] have been accepted in medical exposure practice and included in national regulative for radiation protection [3]. Member States of the European Union have the opportunity to be active to bring into force Euroatom Directive that consists of strongly recommended rules directed to the harmonization and optimization in radiation protection of the patient taking into consideration national circumstances. Very important role in participation, creation, even in finalization of the Euroatom Directives, belongs to the European Federation of Organizations for Medical Physicists (EFOMP) [4].

The subject of radiation protection of the patient is not fully recognized at the basic study level, but it is present at some postgraduate curricula at the university [5]. In spite of this, it happens that needs for optimization in radiation protection of the patient lies at a long distance from the education in the field. To solve the problem authorized national professional societies affiliated with international societies, co-operating with universities, hospitals and research institutions, could promptly transfer the new directions and approaches in postgraduate education and training curricula creation and realization as additional education [6,7].

THE ROLE OF INTERNATIONAL AND NATIONAL SOCIETIES

Besides ICRP that deals directly with radiation protection there are many international and national societies for medical physics concerned with the subject of radiation protection. Their activities are mostly directed to the additional continuous education (conferences, courses, and seminars, schools) that is recognized by relevant national authorities. The same time they make the strong influence to the legislation and national program development. The main role of international and national societies in creation of additional education is to promote the profession responsible for radiation protection of the patient, as well as to form the co-operative link with responsible authority.

It could be mentioned several influenced International associations: (International Commission for Radiation Protection - ICRP, International Organization of Medical Physicists - IOMP, International Organization for Radiation Units and

Measurements - ICRU, International Atomic Energy Agency - IAEA, European Federation of Organization of Medical Physics - EFOMP)

EFOMP was inaugurated in 1980. With principal objectives to harmonize and promote the best practice of medical physics in Europe with aim to achieve uniformly high standards of training in the countries of all national member organization and to have some evidence of recognition form about standards achievement. EFOMP consists of 39 national societies (more than 5000 members) making the great influence to national society activities with a goal of harmonization of all processes relevant to the promotion, education, qualifications and status of medical physicists. EFOMP suggested and encouraged member organizations to set up a national registration scheme as a mechanism for proper recognition of MP, to promote standard for qualifications and competency, with respects that general criteria could be recognized by EFOMP. Registration scheme could be the administrative means of identifying physicists who have been recognized as competent to practice on application of ionizing radiation in health care. EFOMP Policy Statements and Guidelines, where are pointed out some rules about MP role, responsibility, status, education and training, expert qualifications, criteria for department organization, etc., are important background and support for developing process in a sense of profession promotion and official establishments. EFOMP should be seen as a competent body to decide how the recently established qualifications will be uniformly applied around member organization.

EFOMP recognition of MP is well defined with requirements of basic university education and training in physical science and determined period of basic medical physics education followed by supervised in the job training. EFOMP admits five category levels in MP on behalf of ESMP (European School of Medical Physics) as are postgraduate (theoretical), qualification (practical training), specialization (subfield), senior level, and research level [8,9,10,11].

EFOMP suggest and recognize the criteria for European MP as the most appropriate way to achieve harmonization of standards across the Europe. Five level of competency was clearly described covering all structures in medical physics [12], as well as the system of continuing education [13]. This system should consists of basic and special courses that have to be certified with proof and full recognition by national competent authority due to ensure the comparability of standards in Europe. Special courses are dedicated to the field of application in radiotherapy, diagnostic radiology and nuclear medicine. Recommended curriculum for basic course for the MPE, that already have the sufficient skills in fundamental radiation physics, is:

″fundamentals of radiation biology, including effects of low doses of interest in radiation protection for risk assessment and risk management

fundamentals and basic principles of radiation protection with respects to patient, occupationally exposed radiation workers and the public in general

natural and artificial exposure in main

physical and legislative measures to be taken in case of accidental and/or incidental exposure in man

legislative status and duties of the medical physics expert ″[14].

A national society plays very important role transferring the programs and recommendations from international organizations to the national level. The most active national society is American Association for medical Physicists [15,16,17,18], Hospital Physics Association - HPA, Nordic Association of Clinical Physicists - NACP, Yugoslav Society for Radiation Protection - JDZZ, Yugoslav Society for Biomedical Engineering and Medical Physics - YUBEMP).

YUBEMP was founded in 1996 to follow, develop and to promote the fields of biomedical engineering (BE) and medical physics (MP) in Yugoslavia, as well as to transfer the actuality from other national and international societies [19].

YUBEMP has been accepted as EFOMP member organization in 1997. The same year YUBEMP established APPE (Additional Program for Professional Education) in MP starting with courses *Monte Carlo simulation in Medical Physics* (organized in cooperation with Faculty of Organizational Sciences, Belgrade University) in November 1997, and with *Medical Physics and Brachytherapy* (organized with the support of Institute of Oncology and Novi Sad University, in cooperation with EFOMP, Sremski Karlovci) in April 1998. The very important Round table conclusions pointed out the role of YUBEMP in further educational activity [20].

Up to now YUBEMP has 79 registered members that are strongly supported by YUBEMP officers for different professional activities. YUBEMP applicants got the EFOMP travel award 1998. Two young members were invited to participate in Plovdiv international course on Radiation Protection in Medicine. Until now YUBEMP edited 16 bulletins (combined in Serb and English) with prompt information about time table of contemporary schools, courses and all relevant information about regular or additional education [20]

On behalf of EFOMP some national member organization that are not European Union members due to non-scientific reasons, could take part in activities, or could be in time informed at least.

THE ROLE OF MEDICAL PHYSICS EXPERT IN RADIATION PROTECTION OF THE PATIENT

Medical Physics Expert (MPE) is defined as experienced Medical Physicist working in hospital, properly educated and trained, with high knowledge level, with practical experience with patients and clinical practice.

Qualified Medical Physicist (MP) should obtain formal recognition of basic education from the national competent authorities. Basic education consider 2-3 years of practical training in one or more subspecialties with legal aspects of application and responsibilities concerned to radiation protection. MPE needs a further 3-5 years subsequent experience and specialist training after formal recognition of MP. That way it is assured responsibility for advising and acting on all aspects of radiation protection. This responsibility and duty can not be confused with other professionals (radiographers, radiologists). MPE has to be involved in all medical physics departments using ionizing radiation patient therapy and diagnostic purposes. Their duties are listed below according to the EFOMP Policy statement:

"to carry out the physical measurement related to evaluation of the dose delivered to the patient and to take the responsibility for dosimetry

to improve any conditions that will lead to a reduction in unnecessary patient dose

to lay down tests in the field of quality assurance of the equipment

to assure the surveillance of the installation with regard to radiological protection

to chose equipment required to perform radiation protection measurements and to give advice on medical equipment

to take part in the training of medical practitioners and other staff in relevant aspects of radiation protection

to provide skills and responsibilities that complement those of medical practitioners″[10]

Such direction requires the other circumstances concerned to the education. Training, qualifications and competencies with full responsibility applied in the clinical practice.

CONCLUSION

The responsibility of Member State of European Union is to ensure the adequate and theoretical education and relevant competence in radiation protection, as well as radiation measurements for clinical purposes that is in a close connection. The possibilities of NMO of EFOMP are to transfer promptly the directives and recommendations, to adapt them to the local circumstances; to co-operate with universities and other relevant institutions and to form some proposals addressed to the government authorities. The basic philosophy and conception approaches of this discipline has to be taken into consideration at the priority level

REFERENCES

[1] ICRP Publication No 44, ICRP. New York, 1988
[2] ICRP Publication No 33. ICRP New York, 1982.
[3] Službeni list SRJ, Beograd 1996: 46 (V); 1-6
[4] Official Journal of the European communities No.L180, 9.7.1997. p.22
[5] Nastavni plan i program interdisciplinarnih magistarskih studija iz Medicinske fizike. Univerzitet u Novom Sadu, 1995
[6] S.Andrić. Archive of Oncology. Suppl. 6, 1998, 7-12.
[7] M.Wasilewska-Radwanska, S.Andrić. Proceed. of IInd Intern. Confer. YUNSC`98., 765-770, 1998.
[8] EFOMP Policy statement. Physica Medica 1997; XIII (4): 187-94
[9] EFOMP Policy statement. Physica medica 1995; XI (4): 157-9
[10] EFOMP Policy statment:, 1988.
[11] EFOMP Policy statement. Physica Medica 11, 126-128 ; 1995
[12] EFOMP Policy statement. Physica Medica 13, Supplement, 400-404; 1997
[13] EFOMP Discussion paper. Physica Medica 1996; XII (4): 279-82
[14] EFOMP Policy statment. (to be published in Physica Medica)
[15] AAPM Report 36. AAPM, 1990. New York.
[16] AAPM Report No 44. AAPM 1993. New York
[17] Suntharalingam N. Medical Physics 1995; 22 (11): 1961-63
[18] Krahmer JS. Medical Physics 1995; 22 (11): 1955-60
[19] YUBEMP Statutes, Federal Ministry of Justice. Belgrade 1997.
[20] S. Andrić at al. IInd YUBEMP Conference, BIMEF`98., Novi Sad, 1998

NORMATIVNO REGULISANJE MEDICINSKE PRIMENE JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I ZAŠTITE OD ZRAČENJA U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE

N. Vanlić-Razumenić, R. Ravlović, I. Plećaš
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

SADRŽAJ

U radu su izloženi najznačajniji aspekti novih propisa usvojenih u okviru Evropske Unije (EU) u vezi medicinske primene izvora jonizujućih zračenja, sa posebnim osvrtom na nuklearnu medicinu. Zemlje članice EU su obavezne da usklade svoju normativnu regulativu u ovoj oblasti sa propisima EU do 13. maja 2000. godine. U našoj zemlji medicinska primena izvora jonizujućih zračenja je već usklađena sa međunarodnim preporukama i standardima. Propisi u ovoj oblasti su od značaja za primenu radiofarmaceutskih preparata koje Laboratorija za radioizotope Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ sporučuje nuklearno-medicinskim centrima u zemlji.

UVOD

Primena radioizotopa u nuklearnoj medicini predstavlja jedan od važnih vidova mirnodopske primene izvora jonizujućih zračenja. Nuklearna medicina napreduje velikim koracima, tako da je u poslednje vreme dospela do mogućnosti da daje informacije na molekularnom nivou - u oblasti biohemijskih procesa *in vivo*. Takođe, primena radiofarmaceutskih preparata i u onkološkoj dijagnostici i terapiji je svakim danom sve šira i sve obimnija.

Nuklearna medicina uspešno konkuriše ostalim tehnikama morfološke vizualizacije i dinamičkih studija metaboličkih i drugih bioloških procesa. Svojoj već poznatoj prednosti - osetljivosti, sve više u poslednje vreme dodaje i specifičnost, mogućnost karakterizacije tkiva, kao i mogućnost proučavanja regionalne biohemije u živom organizmu. Budući da je problematika Laboratorije za radioizotope Instituta za nuklearne nauke Vinča tesno povezana sa nuklearnom medicinom, smatrali smo da je od značaja dobro poznavanje regulative i propisa u primeni radiofarmaceutskih preparata u medicini. Zahtevi koje savremana regulativa postavlja u oblasti zaštite od zračenja u medicini, i to, kako pacijenata, tako i svih osoba uključenih u primenu radiofarmaceutskih preparata, a i stanovništva, moraju biti ispoštovani i potvrđeni.

Tokom 1996. i 1997. godine su u okviru Evropske Unije (EU) ustanovljeni osnovni standardi za zaštitu zdravlja profesionalno izloženih lica i populacije od štetnog dejstva jonizujućih zračenja, a posebno pri medicinskim primenama izvora jonizujućih zračenja [1]. Propisi će biti primenjivani u medicinskim ustanovama zemalja - članica EU, i definisani su u dva osnovna akta:

osnovni evropski standard u zaštiti zdravlja profesionalno izloženih lica i globalne populacije od štetnog dejstva jonizujućih zračenja – Council Directive 96/29/Euroatom [2],

zaštita zdravlja pojedinaca od štetnog dejstva jonizujućih zračenja pri medicinskom izlaganju – Council Directive 97/43/Euroatom [3].

Pomenuti dokumenti su u stvari implementacija Preporuka Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja definisanih u Publikaciji ICRP 60 (1991) [4] i Publikaciji ICRP 73 (1996) [5], koja osnovne principe iz ICRP 60 detaljnije razrađuje za oblast medicinske primene izvora jonizujućih zračenja, kao i Međunarodnog standarda u zaštiti od štetnog dejstva jonizujućih zračenja – BSS [6].

Države članice EU su obavezne da svoju normativnu regulativu i praksu u ovoj oblasti usaglase sa direktivama EU najdalje do 13. maja 2000. godine.

OSNOVNI EVROPSKI STANDARD U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Osnovni standard EU u zaštiti zdravlja od štetnog dejstva jonizujućih zračenja u suštini potpuno usvaja preporke ICRP [4] i zahteve Međunarodnog standarda – BSS [6] u pogledu tri generalna principa:

(1) Prvi ključni princip zaštite od zračenja je da primena izvora zračenja u nekom od tehnoloških, medicinskih ili drugih procesa, bude opravdana. To znači da mora da preovlada korist nad štetnošću, pri čemu se u štetnost uračunava i izlaganje jonizujućem zračenju. U medicinskoj primeni jonizujućih zračenja to praktično znači da se medicinski postupci koji ispunjavaju ovaj zahtev mogu primenjivati, ali tamo gde se ista dijagnostička informacija ili isti terapijski efekat može dobiti bez upotrebe izvora jonizujućih zračenja, njihova primena neće biti dopuštena.

(2) Drugi generalni princip je princip optimizacije zaštite od zračenja u svim, pa i medicinskim primenama izvora jonizujućih zračenja. To praktično znači da izlaganje zračenju profesionalno izloženih lica, medicinsko izlaganje i izlaganje stanovništva bude onoliko nisko, unutar definisanih granica, koliko je to razumno dostižno, uzimajući u obzir socijalne i ekonomske faktore.

(3) U zaštiti od zračenja, osim pomenuta dva principa primenjuje se i princip ograničavanja individualnog izlaganja. Ovaj princip ne važi za medicinsko izlaganje, i to:

izlaganje pacijenata u dijagnostičkim i terapijskim procedurama,

izlaganje osoba, uglavnom rođaka ili prijatelja pacijenata koji pomažu pacijentu tokom sprovođenja dijagnostičke ili terapijske procedure. Na primer, za roditelje pri poseti detetu koje je primilo terapijsku "dozu" I-131, ili za članove porodice pacijenta koji se šalju kući posle terapije npr.I-131 zbog tireotoksikoze, ne primenjuju se granice izlaganja za stanovništvo (1 mSv godišnje) i

dobrovoljce uključene u programe biomedicinskih istraživanja uz primenu izvora jonizujućih zračenja.

Parcijalno ograničenje doza

Princip parcijalnog ograničavanja izlaganja, iako do tada implicitno podrazumevan, sasvim eksplicitno je formulisan najpre u publikaciji ICRP 60 [4], a zatim i u BSS [6] pa i u osnovnim standardima EU. Parcijalno ograničavanje izlaganja je jedna od komponenti procesa optimiacije zaštite od zračenja, koji u sebi sadrži elemente osiguranja da izlaganje od svih mogućih tehnologija sa primenom jonizujućih zračenja, bude unutar

definisanih granica daze. Tako se, naprimer, pri projektovanju nekog nuklearno-medicinskog odeljenja kao granica doze za izlaganje stanovništva uzima vrednost od 0.3 mSv za godinu dana, a ne 1 mSv, što je granica doze za ukupno izlaganje stanovništva jonizujućem zračenju. Drugi bitan element parcijalnog ograničenja doze vodi računa o distribuciji štetnosti i koristi od pojedinačnih primena jonizujućih zračenja. Naprimer, kod donošenja odluke kada je razumno pacijenta koji je primio terapijsku "dozu" I-131 otpustiti kući sa bolničkog lečenja mora se voditi računa o činjenici da je korist od terapije jedino za pacijenta. Pri tom lekarsko osoblje i stanovništvo, a i njegova rodbina, može imati samo štetne posledice. Da bi se u tom smislu uspostavile neke optimalne referentne vrednosti, naprimer za ambulantni terapijski tretman J-131, odnosno za određivanje vremena otpuštanja pacijenta sa bolničke na kućnu negu (400 MBq I-131) vršena su merenja prosečnih izlaganja putnika u javnom ili privatnom prevozu koji su u neposrednoj blizini takvog pacijenta [7], kao i članova porodičnog domaćinstva, posebno bračnog partnera koji sa takvim pacijentom spava u istom krevetu [8].

Ekvivalentna i efektivna doza

Preporukama ICRP [4] je *ekvivalentna doza* definasana za pojedina tkiva ili organe, kao srednja apsorbovana doza pomnožena sa radijacionim težinskim faktorom za odgovarajuću vrstu i energiju zračenja. Takođe umesto efektivne ekvivalentne doze uvedena je veličina *efektivna doza*, koja se izračunava kao zbir proizvoda ekvivalentne doze tkiva ili organa i odgovarajućeg tkivnog težinskog faktora. Tkivni težinski faktori su uvedeni kao posledica proširenja koncepta rizika, tako da je sada uključen i rizik od fatalnog kancera, nefatalnog kancera, teških naslednih bolesti i skraćenja dužine života.

Johannson je 1992. [9] uporedio vrednost efektivne i prethodno definisane efektivne ekvivalentne doze za veliki broj radiofarmaceutskih preparata koji se koriste u nuklearnoj medicini. Rezultati ove analize pokazuju da je za većinu ^{99m}Tc-radiofarmaceutika efektivna doza za oko 20% manja od efektivne ekvivalentne doze, dok je u nekim slučajevima, kao kod jodom obeleženih preparata efektivna doza veća od efektivne ekvivalentne doze za čak 60 do 70 %. Ukupna efektivna doza se računa kao zbir efektivnih doza spoljašnjeg i unutrašnjeg izlaganja. Direktiva EU [2], kao i ref. [4,6] daju podatke za izračunavanje efektivnih doza unutrašnjeg izlaganja za profesionalno izložena lica, čije vrednosti su za neke od često primenjivanih radionuklida u nuklearnoj medicini date u Tabeli 1. Oznake u Tabeli 1. su definisane u ref. [2,4,6].

Granice doza

Princip ograničavanja izlaganja u izvornom obliku primenjuje se samo za izlaganje profesionalno izloženih lica i izlaganja stanovništva. Granice su definisane za efektivnu dozu celog tela i za ekvivalentne doze pojedinih tkiva ili organa i one su za efektivnu dozu 20 mSv godišnje za profesionalno izložena lica, a 1 mSv godišnje za stanovništvo. U obe pomenute kategorije godišnja granica je zapravo godišnji prosek graničnih vrednosti efektivne doze za petogodišnje izlaganje od 100 mSv za profesionalno izložena lica, odnosno 5 mSv, za stanovništvo, s tim što te vrednosti u jednoj godini ne mogu biti veće od 50, odnosno 5 mSv.

Tabela 1. Koeficijenti efektivnih doza [Sv Bq^{-1}] [2]

Radio-nuklid	Vreme poluraspada	Inhalacija				Ingestija	
		Brzina prodiranja (tip)	f_i	$h(g)_{1\mu m}$	$h(g)_{5\mu m}$	f_i	h(g)
Cr-51	27,7 d	F M S	0,100 0,100 0,100	2,1E-11 3,1E-11 3,6E-11	3,0E-11 3,4E-11 3,6E-11	0,100 0,010	3,8E-11 3,7E-11
I-123	13,2 h	F	1,000	7,6E-11	1,1E-10	1,000	2,1E-10
I-125	60,1 d	F	1,000	5,3E-9	7,3E-9	1,000	1,5E-8
I-131	8,04 d	F	1,000	7,6E-9	1,1E-8	1,000	2,2E-8
Mo-99	2,75 d	F S	0,800 0,050	2,3E-10 9,7E-10	3,6E-10 1,1E-9	0,800 0,050	7,4E-10 1,2E-9
Tc-99	2,13E+5 g	F M	0,800 0,800	2,9E-10 3,9E-9	4,0E-10 3,2E-9	0,800	7,8E-10
Tc-99m	6,02 h	F M	0,800 0,800	1,2E-11 1,9E-11	2,0E-11 2,9E-11	0,800	2,2E-11
P-32	14,3 d	F M	0,800 0,800	8,0E-10 3,2E-9	1,1E-9 2,9E-9	0,800	2,4E-9

Ograničenja za oči, kožu i ekstremitete su nepromenjena, ali treba obratiti pažnju da se ograničenje za kožu od 500 mSv godišnje odnosi na površinu od 1 cm^2.

STANDARDI EU U ZAŠTITI OD ZRAČENJA U NUKLEARNOJ MEDICINI

Ovi propisi predstavljaju razradu Osnovnih standarda EU u oblasti medicinske primene izvora jonizujućih zračenja. Generalni principi zaštite od jonizujućeg zračenja su u ovom slučaju konkretnije iskazani za konkretnu oblast primene na sledeći način.

Opravdanost. Svaka nova primena izvora jonizujućih zračenja u medicini mora zadovoljiti princip opravdanosti, a sve do sada primenjivane procedure se moraju preispitati, u skladu sa novim znatno restriktivnijim standardima u zaštiti od zračenja.

Optimizacija. Ovaj generalni princip u zaštiti od zračenja primenjue se i u oblasti medicinske primene izvora jonizujućih zračenja. Primena ovih principa daje neke konkretne preporuke za razne vidove medinske primene izvora jonizujućih zračenja, a posebno u nuklearnoj medicini.

Ograničavanje izlaganja. U pogledu granica doza za profesionalno izložena lica - medicinsko osoblje, i stanovništvo važe generalno prihvaćene granice. Za izlaganje pacijenata u nuklearno medicinskim dijagnostičkim procedurama EU obavezuje zemje članice da definišu referentne vrednosti aktivnosti radiofarmaceutskih preparata za svaku dijagnostičku primenu, što je prema ICRP 73 [5] trebalo da bude zadatak profesionalnih tela - odbora u zemljama koje u medicinskoj praksi koriste nuklearno medicinske procedure. Što se tiče terapijske primene, zahtev je da terapijska doza, u granicama dopustive greške bude baš onoliko koliko je planirano, a da izlaganje ostalih tkiva i organa, koji nisu ciljani organi terapijskog tretmana bude minimalno mogućno. Naravno, slični zahtevi su postavljeni i za ostale oblasti medicinskog izlaganja.

Odgovornost u nuklearnoj medicini

Za primenu propisanih normi i standarda, pre svega kada se tiče zaštite zdravlja pacijenata, i prema standardima i propisima EU, odgovornost je na lekaru specijalisti određene oblasti medicine koji zahteva sprovođenje neke nuklearno medicinske procedure i na lekaru - specijalisti nuklearne medicine, koji odobrava i pod čijim nadzorom se sprovodi ta procedura. Naravno, isti princip važi i za ostale oblasi medicinske primene izvora jonizujućih zračenja.

Radijacione zone

U principu, u svakom postrojenju gde se primenjuju izvori jonizujćeg zračenja, prostor u kojem se oseća uticaj tih izvora definiše se kao radijaciona zona. Radijaciona zona se deli na nadgledanu i kontrolisanu zonu. Nadgledanu zonu u okviru radijacione zone predstavlja prostor u kojem se pouzdano može tvrditi da efektivna godišnja doza lica koja tu rade neće biti veća od 6 mSv, kao i da ekvivalentna doza očnog sočiva, kože i ekstremiteta neće preći 10% graničnih vrednosti za profesionalno izložena lica. Prostor u okviru radijacione zone gde postoji verovatnoća da će ove vrednosti efektivnih i ekvivalentnih doza biti prevaziđene deklariše se kao kontrolisana zona. Pri proceni granice nadgledane i kontrolisane zone, pored prosečnih vrednosti jačine ambijentalne ekvivalentne doze zračenja, u nuklearno medicinskim laboratorijama, posebno, mora se voditi računa i o mogućim nivoima kontaminacije, koja se i pored svih mera predostržnosti može dogoditi.

U okviru radijacione zone mora biti organizovan prostor za odlaganje i privremeno čuvanje radioaktivnih otpadnih materijala. S obzirom na činjenicu da se u nuklearnoj medicini primenjuju uglavnom kratkoživeći radioaktivni izotopi, prostor mora biti organizovan i na način da omogući adekvatno sortiranje, odlaganje i čuvanje nekih od radioaktivnih materijala do trenutka njihovog raspada do nivoa aktivnosti kada se mogu tretirati kao klasičan medicinski otpad. Za radioaktivne otpadne materijale koji sadrže i radioaktivne izotope sa dužim vremenima poluraspada mora se organizovati preuzimanje radioaktivnih otpadnih materijala od strane ovlašćenih institucija za prikupljanje, kondicioniranje i odlaganje radioaktivnih otpadnih materijala.

Merenja izlaganja pacijenata, pratilaca i stanovništva, u transportu pacijenata kojima su aplicirani dijagnostički radiofarmaceutski preparati, ne ukazuju na potrebu nekih specijalnih zahteva [5]. Srednje doze pratilaca pacijenata u laboratorijama sa jednom i dve čekaonice i doza lica koja se u transportnim sredstvima nalaze u neposrednoj blizini takvih pacijenata su 13, 12 i 11 μSv respektivno [10].

Zaštita pacijenata

U cilju zaštite od jonizujućih zračenja EU, a i međunarodni osnovni standard u oblasti zaštite od zračenja [6] zahtevaju da se u nuklerno medicunskim procedurama posebna pažnja posveti zaštiti žena i ploda, kao i dece u vreme trudnoće i u doba laktacije.

EU, takođe, zahteva od zemalja članica da za svaki medicinski tretman, pa i tretmane u nuklearnoj medicini, mora postojati pisano uputstvo – protokol. Oprema koja se koristi mora zadovoljavati propisane norme kvaliteta, a organizacija rada mora osigurati održavanje i kontrolu kvaliteta opreme, kao i održavanje i kontrolu kvaliteta medicinskih procedura sa primenom izvora jonizujućih zračenja.

Zaštita medicinskog osoblja – profesionalno izloženih lica

EU zahteva od zemalja članica uvođenje dve kategorije profesionalno izloženih lica. Kategorija A profesionalno izloženih lica čini onaj deo medicinskog osoblja za koje postoji konačna verovatnoća da će godišnja vrednost izlaganja biti veća od 6 mSv, dok se u kategoriju B svrstava onaj deo medicinskog osoblja čije izlaganje u toku godine sasvim sigurno neće preći vrednost od 6 mSv.

Analize izlaganja zračenju medicinskog osoblja koje aplicira radiofarmaceutske preparate pacijentima, dakle najviše izloženog jonizujućem zračenju, pokazuju da su prosečne efektivne doze 1.5 μSv po tretmanu (od 0.5 do 5.5 μSv), odnosno 1.7 μSv, ako se uzmu u obzir i kardiološke studije. Godišnje izlaganje ovog dela medicinskog osoblja vrlo retko prelazi vrednost od 5 mSv [11].

Generalno posmatrano, zahtevi koje EU postavlja zemljama članicima u pogledu primene izvora jonizujćeg zračenja u medicini, pa i u nuklearnoj medicini su u skladu sa međunarodnim preporukama i standardima u ovoj oblasti. Takođe, naša normativna regulativa u oblasi zaštite od zračenja pri medicinskoj primeni jonizujućeg zračenja nije u suprotnosti ni sa međunarodnim preporukama i standardima, ni sa zahtevima EU.

LITERATURA

[1] L.K.Harding, Eur. J. Nucl. Med. 25 (1998) 187.
[2] Council Directive 96/29/EURATOM. OJ. L159.39,29/6/96:1
[3] Council Directive 97/43/EURATOM.OJ. L180.9/7/97:22
[4] ICRP Publication 60 (1991) Pergamon Press, Oxford
[5] ICRP Publication 73(1996) Pergamon press, Oxford
[6] IAEA Safety Series 115, 1996.
[7] R.D. Gunasekera, W.H. Thomson, L.K. Harding, Eur J Nucl Med 23(1996)1072.
[8] L. Johannson, Eur J Nucl Med 19(1992)933
[9] W. H. Thomson, A. P. Mills, N. B. Smith, A.B. Mostafa, A. Notghi, L. K. Harding, Nucl Med Commun 14(1993)275
[10] L.K. Harding, A. Bossuyt, S. Pellet, C. Reiners, J. Talbot, Eur J Nucl Med 21(1994)1223
[11] P.J. Roberts, D.H. Temperton, Rad Prot Dosim 36(1991)229

ABSTRACT

EUROPEAN UNION LEGISLATION IN MEDICAL APPLICATION OF IONIZING RADIATION AND RADIATION PROTECTION

N. Vanlić-Razumenić, R. Pavlović, I. Plećaš
Institute of Nuclear Sciences Vinca, Belgrade

The most important aspects of the latest EU legislation concerning medical application of ionizing radiation, with the special emphasis on nuclear medicine are presented in this paper. The EU member countries will start to apply this regulation on 13th May 2000.Our legislation is already adjusted to IAEA standards and ICRP Recommendation. Those regulations are of special concerns in the Radioisotope Laboratory of The Vinča Institute of Nuclear Sciences.

PERCEPCIJA RIZIKA OD ZRAČENJA KOD ZAPOSLENIH U INN „VINČA“

S. Milanović, S. Pavlović
Institut za nuklearne nauke „Vinča“

SADRŽAJ

Potreba za istraživanjem i razvojem metoda analize rizika nastaje iz praktičnih potraba sigurnosti po čoveka i njegovu okolinu. S obzirom na brzinu tehnološkog razvoja rizik biva „ugrađen“ u savremena tehnološka dostignuća. Kompleksnost pristupa konceptu rizika odslikava pojam upravljanja rizikom. Upravlajti rizikom znači primenjivati analizu rizika u cilju smanjenja, odnosno kontrole rizika. nformacije neophodne za upravljanje rizikom su iz različitih domena: tehničke informacije, socijalna, ekonomska, politička predvidjanja itd.

Percepcija rizika je konstrukt iz domena socijalne psihologije, odnosno, ispitivanja javnog mnenja. Rezultati ovih ispitivanja su od značaja za koncept upravlanja rizikom.

Istraživanje je izvršeno u NI „Vinča” na uzorku od N=240 ispitanika , sa dva osnovna poduzorka (lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja N=140, i lica koja ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja N=100). Ispitani su stavovi kroz pitanja o načinu definisanja rizika, prihvatanje rizika i odnos prema posledicama rizika.

UVOD

Termin rizik je prisutan u žargonu, ali i u naučnimpublikacijama posebno u poslednje dve dekade ovog veka. Rizik se definiše veoma različito. Prema Websterovom rečnku rizik je mogućnost gubitka ili povrede i , ili izlaganje takvoj mogućnosti.Gubitci mogu biti različiti: finansijski, ekonomski, socijalni, sve do gubitaka ljudskih života. U opštem smislu rizik obuhvata neizvesnost i rezultat neizvesnosti. Tako se definiše: ili kao verovatnoća dešavanja, ali i posledica. sa tih pozicija se i nalizira (procenjuje). Čak i percepcija rizika zavisi od pozicija definisanja. Percepcija rizika zavisi od brojnih faktora: tipa ličnosti, ranog iskustva ličnosti, kulture u kjoj osoba živi, obrazovanja, isto tako zavisi od karakteristika rizika: da li je dobrovoljni ili je nametnuti rizik, da li je rizik koji se može kontrolisati ili se ne može kontrolisati, da li je uobičajeni ili neuobičajeni rizik, da li su posledice od rizika neposredne ili su vezane za budućnost, da li postoje alternativni izvori u rizičnim situacijama, zatim zavisi od vrste i prirode posledica rizika, koristi od preuzimanja rizika, od načina portretisanja u medijima i u životu, od raspoloživosti informacijama o riziku, od ličnog učešća učešća i pamćenja posledica.

Osnovne oderdnice: u prihvatanju rizikakorist i dobrobit po ljude,su izražene kad je u pitanju percepcija rizika od izvora jonzujućih zračenja.

CILJ RADA

Kako kod nas ne postoje istraživanja iz domena ispitivanja javnog mnenja o percepciji rizika od jonizujućih zračenja ispitani su stavovi kroz osnovna pitanja: Šta je rizik, da li se doživljava kao lična karakteristika, kakv je stav ispitanika prema negativnim posledicama faktora rizika. Stav je stečena dispozicija da se na odredjeni način opaža, misli, emocionalno reaguje i deluje, i njime se ispituje sve dimenzije psihičkog.

Osnovna hipoteza je: Da li postoji razlika u odnosu prema riziku kod dva osnovna poduzorka ispitanika? (Poduzorak onih koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja i oni koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja.)

INSTRUMENTI, METODE I UZORAK

Istraživanje je izvršeno anketom, koja je napravljena za ovo istraživanje. Anketa sadrži 7 pitanja (4 pitanja su identifikaciona-pol, starost, stručna spremai rad sa izvorima zračenja), 3 pitanja su o riziku:definisanje rizika, prihvatanje rizika i odnos prema posledicama rizika.

Uzorak su 240 zaposlenih u NI „Vinča“. Anketa je anonimna , a uzorak slučajan. Poredjenje je vršeno kroz dve osnovne grupe: zaposleni koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja N=140i zaposleni koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja N=100.

U uzorku je 141 muškarac (59%) i 99 žena (41%). U uzorku su najbrojnije dobne grupe od 30 do 50 godina, što je inače radno najsposobniji deo stanovništva. Stručna sprema: 26% sss i 74% visoka ss (zajedno sa Mr i Dr nauka).

Istraživanje je sprovedeno u drugugoj nedelji marta 1999. godine u Institutu „Vinča“

DISKUSIJA REZULTATA

Pitanja o riziku počinju definisanjem rizika, odnosno sa asocijativnom povezanošću pojma rizik i sledećih pojmova:nesreća, promena, profit, i nešto drugo (kao mogućnost ličnog izbora). Ova tri pojma su uzeta kao tri stepena afektivnog obeležja pojma rizik . Nesreća je pojam koji asocira na negativnu odrednicu pojma rizik, promena (nije precizirano da li pozitivna ili negativna) upućuje na neutralan efekt, dok „profit“ pojam rizik povezuje sa pozitivnim odredjenjem pojma rizik.

Najveći procenat ispitanika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja je prihvatio odrednicu „nešto drugo“, bliže je odredjujući kroz specifične pojmove kao što su: opasnost, oprez, pažnju, ozbiljniji pristup, bezbednost, neizvesnost, nesigurnost, verovatnoća, i neke preciznije odrednice pojma promena -šansa. Zaposleni koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja radije su prihvatili pojam promena kao odrednicu pojma rizik. Kroz kategoriju „nešto drugo“ su se izdvojili pojmovi kao npr. bolest.

Prihvatanje rozika kao lične osobine je dalo vrlo odredjenu sliku, a to je: Prihvatanje rizičnog ponašanja je bilo u vrlo malom broju slučajeva, u obe kategorije ispitanika 5% (koji rade sa izvorima jon.zračenja)i 4% oni koji ne rade. Preko 60% u obe kategorije je odbijalo rizično ponašanje kao individualnu osobinu. Za varijantu „ponekad“ se odlučivalo u obe kategorije oko 30%zaposlenih.

Odnos prema posledicama rizika je sadržan u pitanju: Da li lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja više (češće) obolevaju od karcinoma? Neodredjeni su

odgovori grupe koja radi sa izvorima jonizujućih zraečenja. Svaka od ponudjenih kategorija odgovora je uzela oko 30% odgovora, najviše 38% kategorija „nisam siguran“. Zaposleni u INN „Vinča“ koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja su bili sa jasnijim stavom, iako je najveći procenat onih koji su prihvatili kategoriju „nisam siguran“ (44%). Medjutim, jasnija je razlika izmedju onih koji su potvrdno i odrečno odgovorili. Sa DA je odgovorilo 40% (smatraju da rad sa izvorima jonizujućig zračenja ima veze sa učestalošću obolevanja od karcinoma), dok je sa NE odgovorilo 16%. Moramo istaći da je ne mali broj ispitanika bio zbunjen smatrajući da na ovo pitanje treba da zna odgovor, (i to rezultate najnovijih studija) a ne da je to samo pitanje ličnog stava, odnosno kod njih je bila veoma izraženakognitivna (racionalna) komponenta o poimanju rizika u stavu.

ZAKLJUČAK

Zaposleni koji rade u Institutu za nuklearne neuke „Vinča“, bez obzira na radno mesto, su prihvatili jedan zajednički rizik, a to je da im je radno mesto u rizičnoj zoni, potencijalno akcidentalnoj.

Na osnovu ovako kratke ankete se može zaključiti da, bez obzira na naše podele na zaposlene koji rade i zaposlene koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja (pri čemu su i jedni i drugi zaposleni u istraživačkim laboratorijama, administracija nije bila deo uzorka) nije uočena razlika u odnosu na poimanje rizika, kroz prihvatanje (ne)afirmativnih pojmova kojim se definiše pojam rizik. kod lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja se ovaj pojam češće odredjuje kroz operacionalizaciju pristupa poslu (oprez,sigurnost, itd.)

Grupe koje smo medjusobno poredili su jedinstveno i dosledno odgovorile na pitanje o odnosu na rizičnom ponašanju kao ličnoj osobini da se potvrdjuje prvi izrečeni stav u zaključku da je u pitanju jedinstvena populacija koja je prihvatila već jedan zajednički rizik.

Činjenica da zaposleni koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja imaju neodredjenstav u odnosu na oboljevanje od karcinoma i rad sa izvorima jonizujućih zračenja može biti u vezi sa različitim činiocima. Odnos faktora rizika sa posledicama rizičnih situacija nije uzročan. Odnosno, faktori rizika su asocijativnopovezani sa posledicama rizičnih situacija. , što se često preinačava u uzročnost. Lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja verovatno bolje shvataju dubinu ove veze, poznajući karakteristike faktora rizika, odnosno posedujući znanja o prirodi pojave. Suprotno važi za one koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja.

LITERATURA

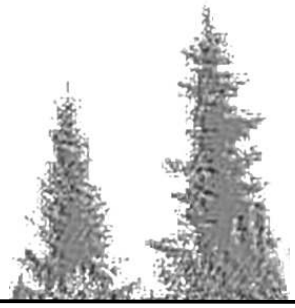
[1] ACNC-9 A Proposed Regulatory Policy Statement on Human Factors Requirements in the Design and Operation of Canadian Nuclear Facilities Oct 1986,CA

[2] E.K.Osei, G.A.E.Amah, C.Schandorf, Risk Ranking By Percepcion Health Phys. 72(2), 195-203, 1997.

[3] Raičević J.J. Analiza rizika, XIX Jugoslovenski Simpozijum zaštite od zračenja, Zbornik radova, Golubac 18-20 Jun 1997. str.9-20

[4] Vujošević M. Primena teorije pouzdanosti u analizi rizika, Tehnički sistemi i sredstva zaštite od požara, eksplozija, havarija i provala, Bgd. 21-22 Nov. 1996. str.21-27

A



INDEX AUTORA

INDEX AUTORA

A

Adrović, F., 125
Anđelić, T., 145, 237
Andrić, S., 473
Andruhovič, S. K., 155, 231
Antanasijević, R., 203
Antović, N., 155, 231
Apostolidis, G., 175
Aranđelović, M., 381

B

Babić-Stojić, B., 227
Bačić, G., 227
Banjanac, R., 203
Baroš, M., 35, 39
Berestov, A. V., 155, 231
Bikit, I., 83, 87, 141, 199
Blagojević, R., 253
Bogdanović, G., 317
Bogdanović, V., 317
Bokonjić, D., 323, 347
Bolić, M., 215, 221
Boreli, F., 79
Boškovič, Z., 297

C, Č

Ciraj, O., 273, 301
Čolić, M., 331
Čomor, J., 373
Čonkić, Lj., 83, 87, 141, 199
Čuknić, O., 357, 373
Cvetković, B., 289, 343
Cvetković, N., 61

D

Dapčević, S., 155, 231
Dašić, N., 207

Demajo, M., 351
Dobrić, S., 323, 347
Dragić, A., 203
Dragojević-Simić, V., 323, 331
Drndarević, V., 221
Đurčić, Ž., 83, 87, 141, 199
Đurić, D., 381
Đurovič, B., 297
Dželajlija, S., 91

G

Goldner, B., 269
Golobočanin, D., 75
Gršić, Z., 129
Gržetić, Lj., 175

H

Hrnjak, M., 457, 467

I

Ilić, R. D., 183, 301
Ilić, S., 261
Ilić, Ž., 261, 265
Ivanišević-Milovanović, O., 351
Ivanović, N., 61
Ivković, S., 417
Ivković, Z., 51

J

Janković, Lj., 91
Javorina, Lj., 99
Jelača, Z., 241
Joksić, G., 307, 327
Jovanić, P., 61
Jovanović, D., 323
Jovanović, M. S., 369
Jovanović, S., 237
Jovičić, D., 337

K

Kandić, A., 121
Karanfilov, E., 385
Kilibarda, V., 323
Kolarević, G., 51, 277, 377
Kostić, D., 57, 159
Košutić, D., 261, 265, 273
Koturović, A. M., 215
Kovačević, M. S., 241, 247, 253, 293
Kovačević, M., 57
Kovačević, R., 337
Krmar, M., 83, 87, 141, 199
Krmpot, Lj., 317
Krstić, D., 57, 159
Krstić, M., 343

L, Lj

Lazović, J., 431
Ljubenković, S., 285, 343
Ljubenov, V., 361
Ljubojević, M., 281
Lončar, B., 247
Luković, Z., 417

M

Maksić, R., 407
Manić, G., 103
Manić, V., 103
Marić, B., 439
Marinković, P., 361
Marković, D., 453
Marković, M., 113
Marković, S., 45
Menković, D., 103
Milačić, S., 327, 337
Milanović, S., 483
Miljanić, Š., 391
Miljević, N., 75
Milonjić, S., 421
Milošević, N., 175
Milošević, Z., 79, 169
Milovanović, S. R., 323
Milutinović, M., 343
Milutinović, P., 129
Mišović, M., 91, 297
Mitrović, M., 35, 39
Mladenović, I., 227
Mladenović, V., 417

N

Nedić, O., 111
Nikezić, D., 57, 149, 159, 163
Nikolić, A. S., 227
Nikolić, I., 125
Ninković, M., 13, 125, 473
Nišević, G., 179
Novković, D., 79, 169

O

Obradović, D., 61
Orlić, M., 193, 357, 369, 373, 385
Osmokrović, P., 247

P

Pantelić, G., 99, 117, 135
Pavlović, R., 45, 407, 477
Pavlović, S., 45, 407, 483
Pešić, M., 207, 361
Petković, J., 227
Petković, M., 351
Petrović, I., 99, 117, 135
Petrović, S., 103
Petrović-Novak, A., 307
Pfendt, P., 421
Plećaš, I., 45, 407, 413, 477
Popović, M., 347

R

Radenković, M., 67, 71
Radovanovic, R., 175
Radusinović, D., 145
Raičević, S., 413, 431
Rajaković, N., 61
Rajković, M. B., 113, 129, 425
Rakić, P., 381
Ranisavljević, M., 447
Rašuo, F., 241
Rudak, E. A., 155, 231
Rudić, A., 199, 317

S, Š

Samardžić, B., 221
Savović, S., 57
Šipka, V., 75
Škrbić, N., 431
Slivka, J., 83, 87, 141, 199
Smičiklas, I., 421
Spasić Jokić, V., 121, 179, 297
Spasojević Tišma, V., 327
Srećković, M., 61
Stanković, A., 111
Stanković, J., 175
Stanković, M., 313
Stanković, S., 111
Stanković, S. J., 193, 241, 247, 293, 301
Stanojević, J., 203
Stefanović, B., 301
Stevanović, R., 113
Stjepanović, N., 417
Stojanović, M., 79
Subotić, K., 169

T

Taški, K., 317
Todorović, D., 67, 71
Tomašević, M., 169, 269, 281
Tomljenović, I., 35, 39
Trtić, T., 369
Tulić, I., 265

U

Udovičić, V., 203
Urošević, V., 149

V

Vanlić-Razumenić, N., 477
Vesković, M., 141
Vit. Baltić, V., 317
Vladisavljević, G. T., 113, 425
Vranješ, S., 369
Vučić, D., 163
Vučina, J., 365, 385
Vukadin, P., 461
Vukčević, M., 241, 289, 293
Vukotić, P., 145, 155, 231
Vuković, D., 95, 453
Vuković, S., 407
Vuković, Ž., 31, 403
Vuksanović, Lj., 365, 369
Vulević, B., 439, 443

Z, Ž

Žikić, N., 83, 87, 141, 199
Živković, D., 61, 439, 457, 467
Zubanov, Ž., 277

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

614.875/.876(063)(082)

ЈУГОСЛОВЕНСКО друштво за заштиту од зрачења. Симпозијум (20 ; 1999 ; Тара)
Zbornik radova / XX simpozijum JDZZ, Tara 99, 3-5. novembar ; [organizatori] Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja [i Institut za nuklearne nauke "Vinča" ; urednik Milojko Kovačević]. - Beograd : Institut za nuklearne nauke "Vinča" : Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja,

1999 (Beograd : Štamparija Instituta za nuklearne nauke "Vinča"). - 491 str. : ilustr. ; 24 cm

Tekst na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 100. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad. - Registar.
ISBN 86-7306-031-1

504.05/.06:621.039(063)(082)
539.16.04(063)(082)
539.1.074/.08(063)(082)
628.4.047(063)(082)
621.039.7/.9(063)(082)
a) Заштита од јонизујућег зрачења - Зборници b) Животна средина - Загађење

радиоактивним материјама - Зборници c) Радиоактивно зрачење - Дејство, штетно - Зборници d) Нејонизујуће зрачење - Дејство, штетно - Зборници e) Дозиметри - Зборници f) Радиоактивни отпаци - Зборници

ID=78613772