JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

# ZBORNIK RADOVA
# IV JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA O RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI
# II

BAŠKO POLJE
28—30 maj 1969

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

# ZBORNIK RADOVA
# IV JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA O RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI
# II

BAŠKO POLJE
28 — 30 maj 1969

**Organizacioni odbor:**

Panov dr Dušan, predsednik
Magarašević prof. dr Mileta
Kostijal prof. dr Krista
Novak prof. dr Josip
Ignjatović Slobodan, spec. n. fiz
Ristić Đorđe, dipl. ing.
Kristan dr Janez
Jokić doc. dr Jovan
Simić Bora, dipl. ing.
Stojanović dr Dragoslav
Sterle prof. Marjan
Deanović dr Živan

**Sekretarijat:**

Radovanović Radoslav, dipl. fiz.
Novak mr. ph. Ljiljana
Jeremić dr Miodrag

**Tehnička organizacija**

**Institut za medicinu rada i radiološku** zaštitu »Dr Dragomir Karajović« — **Beograd**

## SADRŽAJ

## DOZIMETRIJA ZRACENJA I RADIOMETRIJA

Strana

1. NASA ISKUSTVA S DVOSTRUKIM PLOSNIM IONIZACIONIM KOMORAMA
Jakobović Z., Kempni K., Petrovčić F. 348

2. ODREDJIVANJE INTEGRALNE APSORBIRANE DOZE POMOĆU DVOSTRUKE PLOSNE IONIZACIONE KOMORE
Kempni K., Planinić J., Jakobović Z., Petrovčić F. 356

3. ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA FILM-DOZIMETRA IBK SA KODAK-RM DOZIMETRIJSKIM FILMOM
Prokić M. 364

4. VREDNOST FILM-DOZIMETRIJE I KONTROLA PRIMLJENE DOZE JONIZANTNOG ZRAČENJA
Malinski B., Stojanov S., Kalendarov Z. 372

5. BROJAČKI KOMPLET STV-1
Vojinović M., Obradović M., Lero N., Frantilović P. 381

6. MINIJATURNI LOVAC ZRAČENJA
Damljanović D. 389

7. MERENJE FLUKSA I DOZA BRZIH NEUTRONA POMOĆU SUMPORNOG DETEKTORA
Marić I., Veličković D. 393

8. PRIKAZ RÖNTGEN-GAMA-DOZIMETER-a VA-J-15A
Križanović D., Tomašević M. 401

9. UNIVERZALNI MONITOR ZRAČENJA
Muždeka S., Damljanović D., Ristić Dj. 409

10. KONTINUALNO MERENJE RADONA
Hajduković D. 417

Strana

11. DOPRINOS ELEKTRIČNOG POLJA EFIKASNOSTI DETEKCIJE KOD GASNIH SCINTILATORA 421
Križanović D.

12. DOZE ZRAČENJA PRI GAMA RADIOGRAFIJI U HEMIJSKOJ INDUSTRIJI
Ignjatović S. 429

13. SPEKTAR X ZRAČENJA 6 VENTILNOG SIEMENS RŌ APARATA PRI ANODNOM NAPONU OD 65,70, 80 kV
Ignjatović S. 438

14. ANALIZA FILM DOZIMETRIJSKE KONTROLE U MEDICINSKIM USTANOVAMA U SRS
Ignjatović S. 445

15. POSTUPAK STANDARDIZACIJE JEDNOG RADIOAKTIVNOG RASTVORA 4π METODOM
Hadžišehović M., Paligorić D. 448

16. OBRADA SPEKTRA GAMA ZRAČENJA NA DIGITALNOJ RAČUNSKOJ MAŠINI
Slavić A., Bingulac P. 456

17. PRENOSNI INSTRUMENTI ZA MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE X I GAMA ZRAČENJA
Muždeka S., Mirić P., Šobajić M., Blagojević R. 464

18. GAMA SPEKTAR I DOZNA KONSTANTA Ta-182
Ninković M. 470

19. APSOLUTNO MERENJE EKSPOZICIONE DOZE GAMA ZRAČENJA VAZDUŠNOEKVIVALENTNOM KOMOROM
Novković D., Bek-Uzarov Dj. 478

Strana

20. UTICAJ SAMOAPSORPCIJE NA TAČNOST MERENJA NISKO-ENERGETSKIH BETA-EMITERA 4π METODOM
Paligorić D., Hadžišehović M., Bek-Uzarov Dj., Vujisić B., Močilnik I. 486

21. KVALITATIVNA I KVANTITATIVNA ANALIZA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA GAMA SCINTILACIONIM SPEKTROMETROM
Vujisić B., Dobrilović Lj. 490

22. IDENTIFIKACIJA NEKIH ALKIL JODIDA U GASNIM EFLUENTIMA METODOM GASNE HROMATOGRAFIJE
Brnović R. 498

23. PRIMENA METODE INTERNOG GASNOG BROJANJA NA MERENJE UKUPNE I SPECIFIČNE RADIOAKTIVNOSTI RAZLIČITIH POLAZNIH MATERIJALA
Hadžišehović M., Bek-Uzarov Dj., Močilnik I. 506

24. PRIHVATLJIVE GREŠKE MERENJA DOZA I BRZINA DOZA U AKCIDENTALNIM I VANREDNIM SITUACIJAMA
Vojvodić V. 512

25. PRENOSNI MERILNIK SEVANJA GAMA SGM 2300
Glavič B., Cotman K., Kelšin D. 520

26. MERAČ SREDNJE BRZINE BROJANJA ZA DETEKTORE NISKIH AKTIVITETA U DOZIMETRIJI
Veselinović D., Danilović D., Šobajić M. 526

27. UTICAJ DISKRIMINATORA NA SMANJENJE EFIKASNOSTI MERENJA
Jovančević V., Nikolić D., Djordjević D. 531

## KONTROLA RADIOAKTIVNOSTI RADNE OKOLINE

Strana

1. MERENJE KONCENTRACIJA RADONOVIH POTOMAKA
Hajduković D. 661

2. SISTEM ZA VIŠEPARAMETARSKO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI RADNE OKOLINE
Muždeka S., Koturović A., Stojanović D. 669

3. RADIOAKTIVNOST RADNE SREDINE U NEURANSKIM RUDNICIMA
Radovanović R., Hajduković D., Vukotić M. 677

4. PRIJEDLOG ZA MJERENJE KONTAMINACIJE U LABORATORIJAMA ZA RAD S OTVORENIM IZVORIMA
Cerovac H., Hufnus R., Benčak Z. 686

## NAKNADNO PRISPELI RADOVI

1. UTJECAJ ATMOSFERSKIH UVJETA I OKOLINE NA NIVO PRIRODNE BETA RADIOAKTIVNOSTI ATMOSFERE
Popović V., Picer M., 688

2. REZULTATI KONTROLE INDIVIDUALNO PRIMLJENIH DOZA POMOĆU FILM-DOZIMETRA U PERIODU 1964-1968 GOD.
I. Mirić I., Mirić P. 696

3. O NEKIM MERENJIMA U POLJU SEKUNDARNOG ZRAČENJA
Hrovat I. 702

4. O DEFINICIJI IZVORA SEKUNDARNOG ZRAČENJA
Sterle M. 709

5. VAKUUMSKO NAPARIVANJE ALFA SCINTILATORA I MERENJE ALFA SPEKTRA
Križman M. 715

Strana

6. O ODREDJIVANJU TVRDOĆE ZRAČENJA FILM-DOZIMETROM
Sterle M. 719

7. OPTEREĆENOST OSOBLJA PRI RENDGENSKIM PREGLEDIMA
Falijanćić G. 726

8. ZAŠTITA OD ZRAČENJA PRI KORIŠĆENJU RENTGENSKOG I GAMA ZRAČENJA U DEFEKTOSKOPIJI
Ristić Dj., Gnjatović S., Vuković S. 732

9. PREVENTIVNE MERE I POSTUPAK U SLUČAJU AKCIDENATA SA RADIOAKTIVNIM GROMOBRANOM
Ristić Dj. 740

10. STANJE OPERATIVNE TEHNIKE PRI UPOTREBI RENTGEN APARATA PO DESKRIPCIJI PLUĆA
Čerkez F., Simić B. 748

11. PROBLEMI RADIOLOŠKE ZAŠTITE PRI DIJAGNOSTIČKOJ UPOTREBI RENTGEN APARATA U ZUBARSTVU
Čerkez F., Simić B. 755

12. STANJE MEDICINSKIH IZVORA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U SR BIH I RADIOLOŠKA ZAŠTITA
Čerkez F., Simić B. 763

13. METODA ZA ODREDJIVANJE Sr-90 SA ALUMINIJUMOM KAO NOSAČEM ZA Y-90
Brnović R., Gvozdanović D. 772

14. ZAŠTITA MEDICINSKOG OSOBLJA I OKOLINE KOD PRIMENE 60 Co U DUBINSKOJ TERAPIJI
Ristić Dj., Vuković S., Gnjatović S. 780

15. PROFESIONALNA OŠTEĆENJA MEDICINSKOG OSOBLJA IZLOŽENOG JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U GRADU ZAGREBU
Čanić Z., Fleischhacker M. 788

## OBAVEŠTENJE ČITAOCIMA

Zbornik radova IV Simpozijuma iz radiološke zaštite nastao je kao rezultat napora Organizacionog odbora i autora radova, da se materijali štampaju pre Simpozijuma.

Materijali su izrađjeni na osnovu uputstva koje je dato blagovremeno svim autorima.

Sekretarijat Simpozijuma zadužen za sredjivanje materijala, našao je, da se većina autora nije pridržavala datog uputstva, zbog čega postoje znatni tehnički nedostaci u štampanom tekstu.

Recenzije radova nije izvršena te oni predstavljaju fotokopirane tekstove dostavljenih radova.

Molimo da čitaoci ovih materijala imaju u vidu gornje napomene.

IZ SEKRETARIJATA
IV SIMPOZIJUMA

# NAŠA ISKUSTVA S DVOSTRUKIM PLOŠNIM IONIZACIONIM KOMORAMA

JAKOBOVIĆ Z., KEMPNI K., PETROVČIĆ F.

Zavod za fiziku i matematiku Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta, Zagreb

Zavod za rendgenologiju suradne ustanove Medicinskog fakulteta Opće bolnice "Dr O.Novosel", Zagreb

Na raspolaganju su bile dvije dvostruke plošne ionizacione komore, kojima su određene karakteristike da bi se mogla pravilno postaviti metoda određivanja integralne doze i interpretirati dobivene rezultate mjerenja malih doza pri dijagnostičkoj medicinskoj primjeni rendgenskog zračenja.

Originalno postavljen sklop komora i mjernog uređaja pokazao je neke nedostatke, prvenstveno što se tiče kvalitete izolatora na kritičnim mjestima na komorama i vodovima. Ti su nedostaci najvećim dijelom otklonjeni.

Nakon toga su ispitane karakteristike komora. Dokazana je linearna ovisnost registrirane energije o trajanju ozračivanja, o visokom naponu o veličini otvora zaslona. Ovisnost registrirane energije o jakosti struje kroz rendgensku cijev nije linearna. Komore su uspoređene međusobno, te s drugim dozimetrima, određena je transparencija komora za rendgensko zračenje.

Dvostruke plošne ionizacione komore pokazale su se kao vrlo prikladan indikator rendgenskog zračenja male energije, posebno kod određivanja integralne doze.

## 1. Uvod

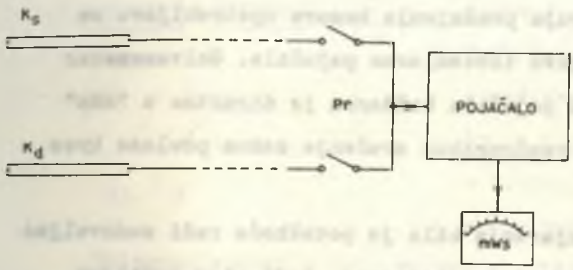
Posljednjih deset godina se intenzivno radi na problemu određivanja integralne apsorbirane doze pri radiološkim pregledima pacijenata. S tim u vezi su konstruirane posebne plošne ionizacione komore, od kojih se neke komercijalno izrađuju, kao što su na pr. "Diamentor" PTW, "Diagnostikdosiszähler" CHF Müller i "Diagnostic X-ray Monitor" tvrtke Philips.

Te se komore postavljaju neposredno iza zaslona na izlazu snopa zračenja iz rendgenske cijevi, a svrha im je da se pri rutinskom radu određuje energija izlaznog snopa rendgenskog

zračenja. Dvije takve komore "Philips Diagnostic X-ay Monitor - Type 14" postavljene su na dva rendgenska uređaja u bolnici "Dr O.Novosel" u Zagrebu

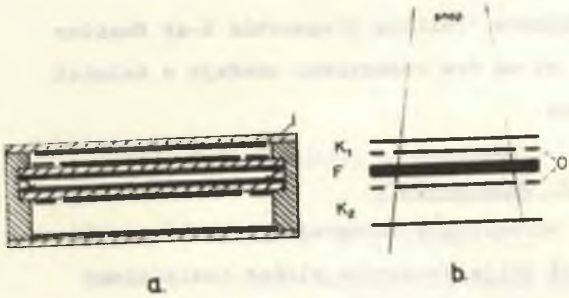
## 2. Opis uređaja

Sklop uređaja za određivanje integralne apsorbirane doze /sl.1/ sastojao se od dvije dvostruke plošne ionizacione komore $K_d$ i $K_s$, elektronskog pojačala s indikatorom i izvorom stabiliziranog napona za komore, te vođa i preklopnika Pr za spajanje komora na mjerni uređaj. Komore su smještene na izlazu rendgenskog snopa na uređajima za dijaskopiju, odnosno za snimanje.




Sl. 1

Plošna ionizaciona komora registrira energiju izlaznog snopa zračenja iz komore po energiji apsorbiranoj u aktivnom volumenu ionizacione komore. Da bi osjetljivost komora bila neovisna o kvaliteti zračenja unutar uobičajenog područja visokog napona /50 do 150 KV/, komore su konstruirane kao dvostruke, /sl.2/. Svaka se dvostruka plošna ionizaciona komora sastoji iz paralelnih ploča od kvalitetnog izolatora I, na koje su naparene folije aluminija kao glavne elektrode i zaštitni okviri O koji strogo definiraju aktivni volumen uzduha unutar dijelova $K_1$ i $K_2$. Filter F čine dvije aluminijske folije i sloj uzduha određene debljine.




Proizvođač tvrdi da je osjetljivost komora za navedeno područje neovisna o energiji zračenja unutar 15% /1/.

Sl. 2

Za indikaciju struje pražnjenja komore upotrebljava se specijalno vrlo osjetljivo istosmjerno pojačalo. Galvanometar sa indikaciju na izlazu pojačala baždaren je direktno u "mWs" energije koju ima snop rendgenskog zračenja nakon prolaza kroz komoru.

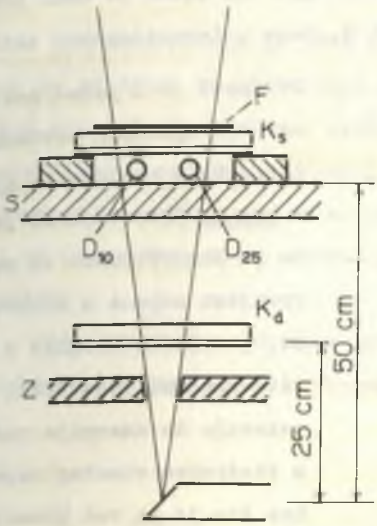
U početku naših mjerenja bile je poteškoća radi nedovoljne izolacije električkih izvoda na komorama, koji nisu dovoljno zaštićeni, te su se komore spontano pražnile. Nakon čišćenja komora i uz uvjet pažljivog rukovanja nije se više pokazalo spontano pražnjenje.

Komore su prvobitno bile paralelno spojene na isti uređaj za indikaciju, pa se nisu mogle neovisno koristiti. Da bi ih koristili za naša ispitivanja izradili smo i ugradili posebni preklopnik, tako da se mogu obje komore istodobno upotrebljavati, a neovisno očitavati.

## 3. Određivanje karakteristika komora

Prije, i u toku ispitivanja kod razrade metode određivanja integralne doze, na komorama su vršena mjerenja da se ispitaju njihove karakteristike.

U prvom dijelu ispitivanja komore su postavljene u jedan snop prema slici 3. Komora na uređaju za dijaskopiju Kd ostala na svom originalnom mjestu odmah iza zaslona Z, a na

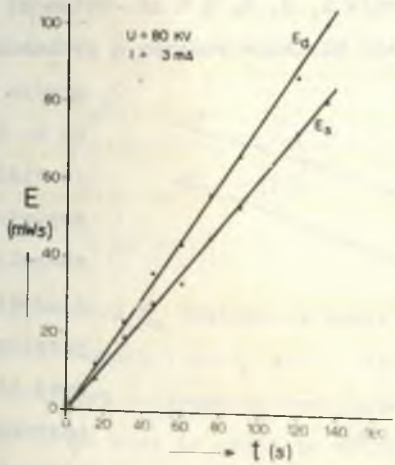



Sl. 3

ploču stola S na koju inače liječe pacijent stavljena je komora s uređaja za snimanje $K_s$. Na taj su način komore bile udaljene cca 25 cm, a između njih je osim uzduha bila još plastična ploča stola.

Prvo je ispitano kako se komore ponašaju s obzirom na trajanje ozračivanja. Na uređaju za dijaskopiju vršena su ozračivanja uz uobičajene uvjete za dijaskopiju /80KV; 3 mA/, a trajanje je povećavano do nešto preko dvije minute.

Ovisnost energije koju su registrirale komore, o trajanju ozračivanja, pokazuje graf na slici 4. Ovisnost je u navedenom

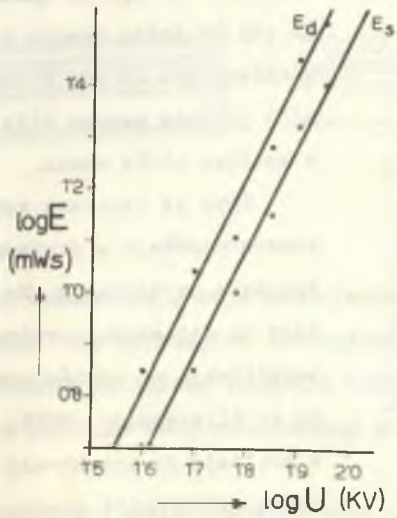



Sl. 4

području nesumnjivo linearna. Komora s uređaja za snimanje $K_s$ registrira uvijek nešto manju energiju $E_s$, jer je snop dijelimično apsorbiran u prvoj komori $K_d$, sloju uzduha između komora i plastičnoj ploči stola.

Zatim je ispitana ovisnost energije koju registriraju komore o visokom naponu. Ovisnost pojedinih energija $E_s$ i $E_d$ /mWs/ o visokom naponu U /KV/, za područje napona uobičajeno u

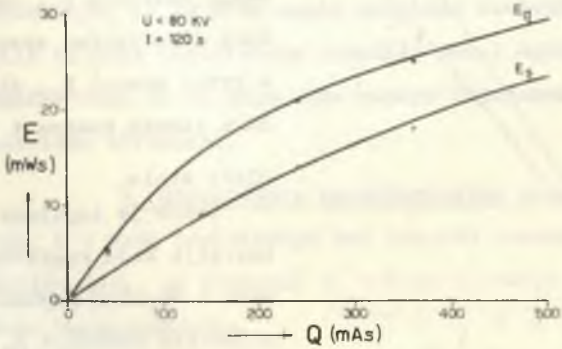
medicinskoj dijagnostici, pokazuje graf na slici 5. Radi preglednosti obje su veličine, E i U, dane u logaritamskoj skali.




Sl. 5

Ovisnost je i pored nešto rasutih mjerenja nesumnjivo linearna s obzirom na log E i log U. Interesantno je da je logaritamski za neku promjenu napona u kiloveltima, promjena energije u milivatsekundama dvostruka, što pokazuje da energija raste s kvadratom visokog napona, kao što je to već poznato iz drugih mjerenja /2/.

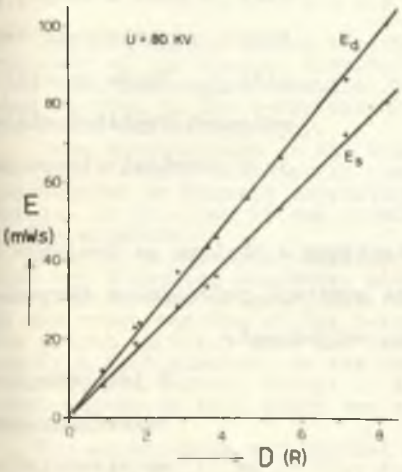
Ispitana je i ovisnost komorama registrirane energije snopa o jakosti struje kroz rendgensku cijev. Mjerenja su vršena uz visoki napon od 80KV, u trajanju od 2 minute, za struje 1, 2, 3, i 4 mA. Ovisnost registrirane energije E /mWs/ o broju miliampersekunda Q prikazana je grafom na slici 6. Iz grafa je vidljivo da registrirana energija ne slijedi proporcionalno broj mAs. Odstupanje od linearnosti je




Sl. 6

veće kod komore koja je prva na putu snopa rendgenskog zračenja, dok je sa drugu to odstupanje znatno manje. To se može protumačiti time, da je kvalitet zračenja poslije prve komore, radi selektivne apsorpcije u komori sigurno izmjenjen, i to najviše apsorpcijom mekšeg zračenja. Odstupanje od linearne ovisnosti bi se prema tome moglo svesti na stanoviti postotak rekombinacija.

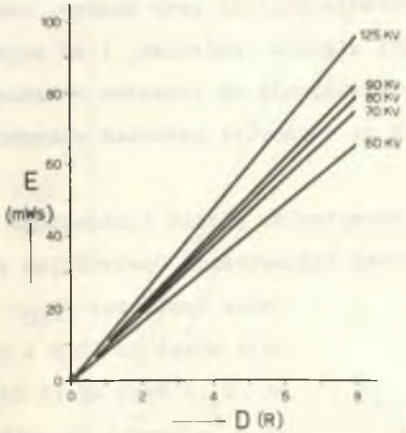
Radi usporedbe s drugim receptorima plošne ionizacione komore su uspoređene s Victoreen dozimetrima. Upotrebljen je jedan dozimetar /$D_{10}$/ koji mjeri do 10 R i drugi /$D_{25}$/ koji mjeri do 25 R, a uredaj je prikazan na slici 3. Ovisnost energija $E_s$ i $E_d$, što ih registriraju plošne ionizacione komore o dozi D/R/, što je registriraju Victoreen dozimetri prikazana je grafom na slici 7, za jednu vrijednost visokog napona. Kako se iz grafa razabire, registrirane energije E su proporcionalne dozi D. I opet, komora $K_s$ registrira manje nego komora $K_d$, radi apsorpcije u prvoj komori i ploči stola. Osjetljivost dozimetara s obzirom na kvalitet zračenja je različita za istu energiju zračenja, kako se to vidi iz grafa na slici 8.




Sl 7.

Da bi se komore mogle što bolje međusobno komparirati, odvojena je i komora od uredaja za dijaskopiju. Tako su se komore mogle

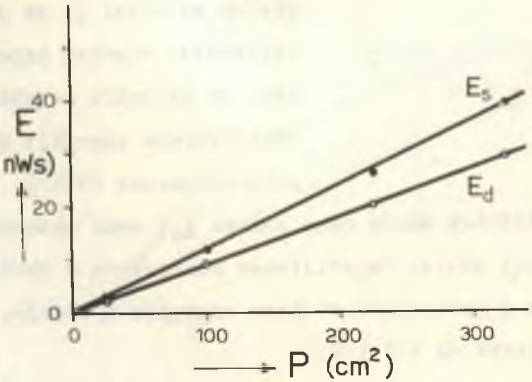
postavljati u razne položaje, i uspoređivati u istom snopu kod iste ekspozicije, te u raznim udaljenostima i s raznim apsorberima.




Sl. 8

Ispitana je ovisnost komorama registrirane energije o površini otvora zaslona Rezultati mjerenja prikazani su grafom na sl.9. Komora $\underline{K}_s$ bila je prva u snopu, pa je zato i registrirala veću energiju $\underline{E}_s$. Inače se vidi da je ovisnost registrirane energije o površini otvora zaslona linearna.

Iako su komore već bile ispitane s obzirom na trajanje ozračivanja, ispitano je kako komore sumiraju pojedinačne ekspozicije i kako zadržavaju registriranu vrijednost.




Sl. 9

U jednakim vremenskim razmacima ponavljane su ekspozicije. Pokazalo se da komore pravilno sumiraju, i kroz dovoljno dugo vrijeme održavaju registriranu vrijednost.

Da se odredi apsorpcija u samim

komorama, komore su stavljene jedna iznad druge. Između komora se nalazio samo uzduh. Tako određen faktor transmisije ispitivanih dvostrukih plošnih ionizacionih komora je za uobičajeno područje intenziteta i kvaliteta rendgenskog zračenja reda veličina T=0,8, pa prema tome faktor apsorpcije reda veličina A=0,2.

---

S opisanim komorama vršena su mjerenja o kojima se referira u radu K.Kempni i dr.: "Određivanje integralne apsorbirane doze pomoću dvostruke plošne ionizacione komore".

Ovaj je rad dio naučnog projekta financiranog od strane Savjeta za naučni rad SRH.

---

## Our Experiences with Flat Dual Ionisation Chembers

### S u m m a r y

For the determination of integral doses in the X-ray department of the General Hospital "Dr. O.Novosel" - Zagreb, two flat dual ionisation chambers /Philips Diagnostic X-ray Monitor/ were mounted on two X-ray installations, one for fluoroscopy, the other for radiography.

Some shortcomings in the insulation of the chambers themselves were detected and partly removed. Also, a special switch was constructed to sonnect separately each chamber to the measuring device. In this way it was possible to examine the characteristics of the chambers.

The two ionisation chambers were compared with each other and with two Victoreen chambers. Also. the dependence of the measured energies on time /Fig.4/, H.T. /Fig.5/, intensity /Fig.6/ surface of the cross section of the X-ray beam /Fig.9/ was investigated. The graphs in Fig.8 show the dependence of the energy /mWs/ recorded by a flat chamber, on the dose /R/ measured by a Victoreen chamber, for varions values of H.T. The energy measured for five equal exposures made every two minutes,is integrated and kept constant.

The experiences we acquired may help to improve the construction and installation of flat dual ionisation chambers.

The above mentioned chambers were used in the measurements described in the paper by K.Kempni et al. "Determination of the Integral Absorbed Dose by means of a Flat Dual Ionisation Chambers."

---

L i t e r a t u r a :

1. REINSMA K., Dosemeters for X-ray Diagnosis
Philips Technical Library - Eindhoven /1962/

2. SPROULL W.T., X-rays in Practice
Mc Graw-Hill - New York /1946/

# ODREĐIVANJE INTEGRALNE APSORBIRANE DOZE POMOĆU DVOSTRUKE PLOŠNE IONIZACIONE KOMORE

KEMPNI K., PLANINIĆ J., JAKOBOVIĆ Z., PETROVČIĆ F.

Zavod za fiziku i matematiku Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta, Zagreb

Zavod za rendgenologiju suradne ustanove Medicinskog fakulteta Opće bolnice "Dr O.Novosel", Zagreb

Pomoću dviju dvostrukih plošnih ionizacionih komora mjereno je slabljenje energije cjelokupnog snopa rendgenskog zračenja pri prolazu kroz vosak, vodu i pleksistaklo, i to za područje kvaliteta zračenja, koje se primjenjuje u medicinskoj dijagnostici /60 - 125 KV/.

Nađeno je, da u tom području zračenja plošne komore mjere energiju prolaznog snopa zračenja praktički nezavisno o kvalitetu zračenja, te da se slabljenje energije cjelokupnog snopa zračenja zbiva po eksponencijalnoj funkciji. Cijelom području kvaliteta zračenja može se pridijeliti neki "globalni" linearni koeficijent apsorpcije, pomoću kojeg se onda može izračunati faktor apsorpcije za određenu debljinu apsorbera. Energiju /mWs/ izlaznog snopa zračenja izmjerenu plošnom ionizacionom komorom treba pomnožiti sa faktorom apsorpcije, da se dobije integralna doza u mWs, odnosno u Rad Kg.

## 1. Uvod

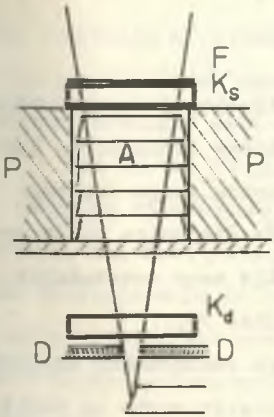
Otkako se spoznala važnost određivanja integralne doze pri dijagnostičkim pregledima konstruirano je više plošnih ionizacionih komora /1, 2, 3, 4/. One se postavljaju neposredno iza dijafragme rendgenske cijevi okomito na izlazni snop rendgenskog zračenja, a veličina im je tolika, da i uz najveći otvor dijafragme cijeli snop prolazi kroz ionizacionu komoru. Takvim se komorama onda mjeri "upadna doza" /R.cm$^2$/ odnosno energija /mWs/ po cijeloj površini presjeka snopa zračenja i za cijelo trajanja zračenja. Izračunavanje integralne doze bilo je prilično komplicirano, jer su se uz jednu plošnu ionizacionu komoru primjenljivali obični cilindrični

dozimetri, da se odredi doza zračenja nakon prolaza kroz apsorber. /5, 6, 7/. Osim toga se razilaze mišljenja autora u pogledu jedinica u kojima treba izraziti mjernu vrijednost dobivenu plošnom ionizacionom komorom.

Određivanje integralne doze se znatno pojednostavljuje na temelju našeg mjerenja slabljenja energije cjelokupnog snopa zračenja pri prolazu kroz apsorber pomoću dviju plošnih ionizacionih komora kojima se energija izlaznog snopa iz apsorbera mjeri direktno u mWs.

## 2. Uređaj i metoda mjerenja

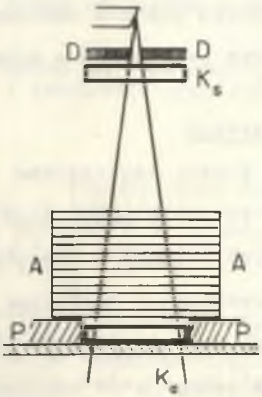
Raspolagali smo sa dvije dvostruke plošne ionizacione komore /Philips Diagnostic X-ray Monitor/, te smo s njima mogli mjeriti energiju direktnog snopa zračenja prije ulaza u apsorber i nakon izlaza iz apsorbera. Mjerenja su izvođena na uređajima za dijaskopiju i za snimanje na kojima su te plošne ionizacione komore inače trajno postavljene. Pri mjerenjima jedna je od ionizacionih komora ostavljana na svojem redovnom mjestu, a druga je bila pokretna i postavljana je neposredno iza apsorbera.




Sl. 1 Uređaj na aparatu za dijaskopiju

Kod uređaja za dijaskopiju /sl.1/ komora $K_d$ je pričvršćena ispod dijaskopskog stola neposredno iza dijafragme /DD/, a komora $K_s$ je postavljena na stolu na podlošcima /PP/, te nije pomicana do kraja niza mjerenja. Položaj komore $K_s$ podešavan je pomoću fluorescentnog zastora, a kontroliran pomoću filma F. Apsorber /A/ je stavljan na ploču stola. Kod uređaja za snimanje /sl.2/ komora $K_s$ je pričvršćena neposredno iza dijafragme /DD/ na rendgenskoj cijevi, a komora $K_d$

je postavljena na stolu za snimanje. Položaj joj je podešavan svjetlosnim snopom i opet kontroliran filmom. Apsorberi /A/ su stavljeni na podloščima /PP/ nešto debljim od plošne komore. Kao apsorberi su upotrebljeni: ploče kozmetičkog voska /debljina 5 cm, gustoća 0,96 g/cm$^3$/, ploče pleksistakla /debljina 0,51 cm, gustoća 1,18 g/cm$^3$/ i voda u kadi od plastičnog materijala.




Sl. 2 Uređaj na aparatu za snimanje.

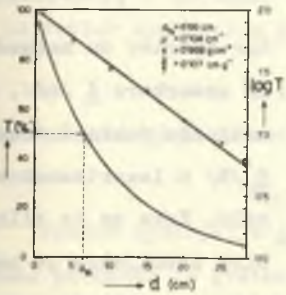
Podaci dobiveni po fiksnoj komori ne mogu se direktno upotrijebiti za određivanje slabljenja snopa zračenja, nego ih treba reducirati na mjesto druge komore za slučaj kada je među njima samo uzduh. Mjerenja slabljenja cjelokupnog snopa rendgenskog zračenja izvođena su zato pokretnom komorom, a fiksna komora je poslužila samo za kontrolu ekspozicije, te je po njenim podacima korigirana vrijednost energije snopa nakon zračenja prolaza kroz apsorber.

## 3. Rezultati mjerenja

Prema našim mjerenjima može se zaključiti da za područje visokog napona od 60 do 125 KV dvostruke plošne ionizacione komore po Reinsmi registriraju energiju cjelokupnog snopa zračenja praktički nezavisno o kvalitetu zračenja. Ta činjenica pruža mogućnost da se na jednostavan način, a točnije nego dosadašnjim metodama, određuje integralna apsorbirana doza /$D_i$/.

Neposredno se mjerila energija snopa rendgenskog zračenja nakon prolaza kroz apsorber. Slabljenje energije snopa uz različite debljine apsorbera prikazano je zavisnošću faktora transmisije $T$ o debljini apsorbera $d$. Označimo sa $E_0$ energiju snopa

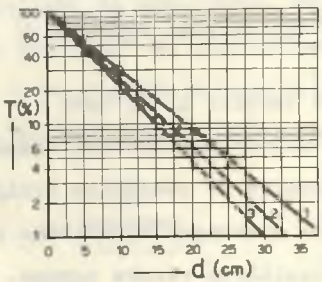
bez apsorbera /debljina apsorbera d=0/, a sa $E_d$ energiju snopa zračenja nakon prolaza kroz apsorber debljine d. Tada je $T = E_d/E_o$. To je bezdimenzionalna veličina koja se može izraziti i u procentima.




Sl. 3 Zavisnost faktora transmisije o debljini apsorbera za vosak.

U tablici 1. su date vrijednosti faktora transmisije za različite debljine apsorbera određivane uz različite visoke napone. Kako se iz tablice razabire vrijednosti za različite kilovolte ne pokazuju neko sistematsko mijenjanje. Na slici 3 su prikazani grafovi zavisnosti faktora transmisije T o debljini apsorbera d za vosak, i to u koordinatnom sustavu s linearnim /krivulja a/ i semilogaritamskim mjerilom /krivulja b/, Pravac i krivulja su nacrtani prema srednjim vrijednostima /geometrijska sredina/ svih mjernih vrijednosti.

Kao što se iz grafa razabire, može se uzeti da se slabljenje energije cjelokupnog heterogenog snopa rendgenskog zračenja zbiva po eksponencijalnoj funkciji. S obzirom na tu eksponencijalnu funkciju može se rendgenskom zračenju za cijelo dijagnostičko područje pridijeliti neki "globalni" linearni koeficijent apsorpcije, pomoću kojeg se onda može računati apsorbirana energija bez obzira na kvalitet zračenja.




Sl.4 Faktor transmisije u zavisnosti o debljini apsorbera za vosak /1/, vodu /2/ i pleksistaklo /3/.

Na slici 4. su prikazani grafovi slabljenja energije snopa zračenja za tri različita apsorbera: za vosak /1/, vodu /2/ i pleksistaklo /3/. Kao apsciso su nanesene debljine apsorbera d /cm/, a kao ordinate faktori transmisije T /%/ u logaritamskom mjerilu. Kako se iz slike razabire slabljenje je nešto manje u vosku, a nešto veće u pleksistaklu nego što je u vodi.

## 4. Određivanje integralne doze

Plošna ionizaciona komora postavljena neposredno iza prednjeg zaslona rendgenske cijevi pokazuje energiju snopa zračenja na izlazu iz rendgenskog uređaja. Na putu do apsorbera snop nešto oslabi. Kod uređaja za snimanje slabljenje je neznatno, pa se može zanemariti. No kod uređaja za dijaskopiju prolazom kroz ploču stola snop zračenja znatnije oslabi, te vrijednost energije što je pokazuje plošna komora treba pomnožiti odgovarajućim faktorom transmisije, da se dobije vrijednost energije snopa zračenja na ulazu u apsorber.

Kako cjelokupan snop rendgenskog zračenja slabi u apsorberu po eksponencijalnoj funkciji, potrebno je samo znati debljinu apsorbera, pa da se odredi količina apsorbirane energije. Zato je potrebno poznavati linearni koeficijent apsorpcije za dotični apsorber.

Prema navedenim oznakama zakon slabljenja snopa zračenja je

$$E_d = E_o \, e^{-\mu d}$$

a faktor transmisije je onda

$$T = E_d/E_o = e^{-\mu d}$$

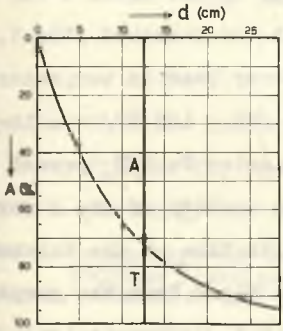
Ako u prvoj aproksimaciji zanemarimo povratno raspršno zračenje, onda za faktor apsorpcije A vrijedi odnos

$$A = 1 - T = 1 - e^{-\mu d}$$

Apsorbirana energija je onda

$$E_a = E_o \cdot A = E_o \, /1 - e^{-\mu d}/$$

Faktor apsorpcije A u zavisnosti o debljini apsorbera d za vosak prikazan je grafom na slici 5.




Sl. 5 Faktor apsorpcije u zavisnosti o debljini apsorbera.

Iz takvog grafa se za svaku debljinu apsorbera /pacijenta/ može očitati odgovarajuća vrijednost faktora apsorpcije. Tom se onda vrijednošću treba pomnožiti plošnom komorom, izmjerena vrijednost energije $E_i$ izlaznog snopa zračenja, da se dobije vrijednost apsorbirane energije $E_a$ u mWs. Kako je 1 mWs=0,1 Rad Kg, dobit ćemo integralnu dozu $D_i$ da još $E_a$ pomnožimo s faktorom 0,1.

$$D_i = 0{,}1 \cdot A \cdot E_i \quad /\text{Rad Kg}/$$

U slučaju određivanja integralne doze na uređaju za dijaskopiju potrebno je još $E_i$ pomno-

žiti s faktorom transmisije $T_p$ radi slabljenja u ploči stola, pa se za taj slučaj može odrediti reducirani faktor apsorpcije $A_r = 0,1 \cdot A \cdot T_p$, i u grafu prikazati njegovu zavisnost o debljini apsorbera. Integralna doza je onda

$$D_i = A_r E_i \text{ /Rad Kg/}$$

Ovaj je rad dio naučnog projekta financiranog od strane Savjeta za naučni rad SRH.

## Determination of the Integral Absorbed Dose by means of a Flat Dual Ionisation Chamber

### S u m m a r y

By means of two flat dual ionisation chambers /Philips Diagnostic X-ray Monitor/ the energy of the total X-ray beam in front of the absorber and behind it was measured /Fig.1,2/.The attenuation of the energy of the X-ray beam in wax,water and plexiglass for various H.T. values /60 - 125 KV/ was investigated. The values of the factor of transmission $T = E_d/E_o$ proved to be fairly independent of the radiation quality of the X-ray beam /Tab. 1/.The values of T /%/ as a function of the thickness d /cm/ of the absorber are plotted in Fig.3.From the graph we see that T is an exponential function of d. We can assign a "global" linear absorption coefficient to the whole range of diagnostic tube voltages. In this way it is then possible to calculate the absorbed energy independent of the quality of radiation. In Fig.4 the energy attenuation of the X-ray beam in wax /1/, water /2/ and plexiglass /3/ is shown. From the transmission factor T the absorption factor A can be determined /Fig.5/. Then the integral dose $D_i$ in mWs or in Rad Kg can be calculated by measuring only the thickness d of the absorber /patient/.

TAB.1

Vrijednosti faktora transmisije T /%/ za vosak uz različite debljine apsorbera d /cm/ i različite visoke napone U /KV/.

| U /KV/ | d/cm/ 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|
| 125 | 59,2 | 32,8 | 22,9 | 12,8 | 9,0 |
| 120 | 55,3 | 30,6 | 18,7 | 12,9 | 9,7 |
| 110 | 54,5 | 33,1 | 19,2 | 14,3 | 8,2 |
| 100 | 55,3 | 34,8 | 20,8 | 11,6 | 8,3 |
| 90 | 53,3 | 30,6 | 23,3 | 12,5 | 8,5 |
| 80 | 59,0 | 37,2 | 27,3 | 13,6 | 10,8 |
| 70 | 59,8 | 45,1 | 26,6 | - | - |
| 60 | 53,8 | 3o,6 | 23,1 | - | - |

L i t e r a t u r a:


1. AIRTH G.R., Brit. J. Radiol. 32, 61 /1959/
2. ARNAL M.L., PYCHLAU H., Fortschr. Röntgenstr. 95, 323 /1961/
3. MORGAN R.M. Radiology 76, 867 /1961/
4. REINSMA K. Dosemeters for X-ray Diagnosis /1962/ Philips Technical Library, Eindhoven
5. ARDRAN G.M., CROOKS H. E-, Brit. J. Radiol. 38, 766 /1965/
6. SCHINZ H.R., WIDERÖR R., Fortschr. Röntgenstr. 103, 304 /1965/
7. BARKE R., GURSKY S., Fortschr. Röntgenstr. 106, 125 /1967/

# ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA FILM-DOZIMETRA IBK SA KODAK-RM DOZIMETRIJSKIM FILMOM

PROKIĆ M.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

## Rezime

Rad obuhvata rezultate ispitivanja Kodak-RM dozimetrijskog filma kao elementa film-dozimetra namenjenog za merenje integralnih doza od beta i gama zračenja, kao i doza od termalnih neutrona u normalnim i akcidentalnim slučajevima.

Posebno su obradjeni rezultati ispitivanja osetljivosti filma na neutrone i odredjena je mogućnost merenja integralnih gama doza u polju neutronskog i gama zračenja.

Dobijeni rezultati ukazuju da Kodak-RM dozimetrijski film pokazuje dobre osobine kako za merenje u normalnim, tako i u akcidentalnim slučajevima.

## Uvod

Za odredjivanje individualno primljenih doza u IBK koristi se film-dozimetar koji se sastoji od Kodak-RM filma i kasete, hermetički zatvorenih u PVC navlaku. Kaseta film-dozimetra ima ugradjene filtre od Sn i Cd debljine 0,6 mm, te su na taj način na površini filma definisana tri polja koja omogućavaju registrovanje doza od različitih vrsta zračenja.

Kodak-RM dozimetrijski film prema podacima proizvodjača pokriva opseg gama doza od 50 mR do 1000 R.Ovako veliki opseg doza postignut je sa dva sloja emulzije čije se osetljivosti razlikuju za faktor 100.

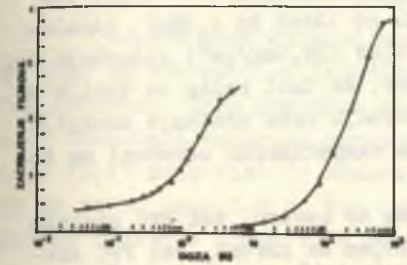
U ovom radu cilj nam je bio da se proveri definisani opseg gama doza, da se odredi osetljivost na beta zračenje kao i osetljivost na termalne i brze neutrone.Odredjivanje osetljivosti filmova na beta zračenje izvršeno je eksperimentalno,na termalne neutrone izvršeno je eksperimentalno i računski,dok je osetljivost na brze neutrone proračunata prema literaturnim podacima.

## Provera ponašanja Kodak-RM filmova u polju gama zračenja

Jedan od glavnih nedostataka fotografske dozimetrije je činjenica da osetljivost emulzije za istu dozu zavisi od energije

i vrste zračenja. Ta osobina filma otežava odredjivanje doza u rutinskoj kontroli, pa se uvek teži za tim da se uspostavi veza izmedju osetljivosti filma na datu vrstu zračenja i gama zračenja Co-60 ili Ra-226.

Za ispitivanje osetljivosti Kodak-RM filmova u definisanom opsegu doza, kao izvor gama zračenja korišćen je Co-60. Odredjivanje gama doza vrši se sa polja pod Sn-filtrom. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 1. Sa dijagrama se vidi da filmovi podjednako dobro reaguju kako na niske tako i na visoke gama doze.



Sl.1. Osetljivost Kodak-RM filmova na $\gamma$ zračenje Co-60

Odredjivanje osetljivosti Kodak-RM filmova na beta zračenje

Ovaj eksperiment imao je za cilj da pokaže mogućnost odredjivanja beta doze pomoću Kodak-RM filma. U svojim eksperimentima, M.Heard i B.Jones[1] su odredili varijaciju osetljivosti Kodak-RM filmova na beta zračenje različitih energija u odnosu na gama zračenje Ra-226. Prema tome, ako se pretpostavi da je poznat beta emiter koji je izazvao zacrnjenje filma, tada se sa opisane krive dobija faktor koji pokazuje koliko se puta osetljivost filmova na beta zračenje te energije razlikuje od osetljivosti na gama zračenje Ra-226. Pri odredjivanju beta doza, koristi se zacrnjenje sa neprekrivenog polja filma. Opisanom metodom vrši se samo orijentaciona procena registrovane beta doze.

Rutinska kontrola je pokazala da je prirodni uran jedan od čestih izvora beta ozračivanja. Iz toga razloga izvršeno je odredjivanje osetljivosti filmova na zračenje ovog beta emitera. Kao kalibracioni izvor u ovom eksperimentu korišćen je beskonačno debeli sloj urana. Prema podacima koje preporučuje M.Ehrlich[2] površinska doza urana prekrivenog zaštitnom polietilenskom folijom debljine 7,5 mg/cm$^2$ iznosi 225 mrem/h. Pri ozračivanju filmova ovim izvorom, niskoenergetski deo spektra biće apsorbovan u papirnom omotaču filma, odnosno u PVC navlaci u koju su filmovi upakovani (29 mg/cm$^2$).

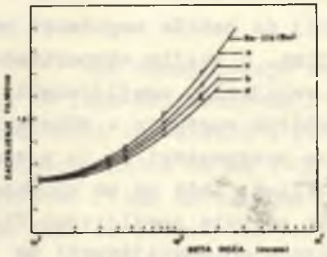
Maksimalna energija beta zračenja čiji je domet jednak debljini papirnog omotača filma, odnosno zbiru papirnog omotača i PVC navlake, obračunava se pomoću jednačine:

$$\ln E_m = 6,63 - 3,2376(10,2146 - \ln R)^{1/2},$$

gde je R ($mg/cm^2$) debljina papirnog omotača i PVC navlake. Ova jednačina važi u energetskom opsegu od 10keV do 2,5MeV. Izračunato je da se u papirnom omotaču filma (26,5$mg/cm^2$) apsorbuje beta zračenje energija nižih od 150keV. Na isti način se dobija da filmovi pakovani u PVC navlake apsorbuju beta zračenje energija nižih od 240 keV. Filmovi su u ovom eksperimentu ozračeni na četiri različita načina:

a. direktnim stavljanjem filma licem ka izvoru, bez PVC navlake
b. direktnim stavljanjem filma naličjem ka izvoru, bez PVC navlake
c. stavljanjem filma licem ka izvoru, u PVC navlaci
d. stavljanjem filma naličjem ka izvoru, u PVC navlaci.

Radi uspostavljanja veze izmedju osetljivosti na beta i gama zračenje, korišćena je gama kalibraciona kriva sa izvorom Ra-226. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 2. Sa dijagrama se vidi da se kriva koja daje vezu izmedju gama doze i zacrnjenja filma registrovanog na polju pod Sn-filtrom poklapa sa krivom zavisnosti beta doze od zacrnjenja filmova koji su ozračivani bez PVC navlake, lica okrenutog ka izvoru.



Sl.2. Zavisnost zacrnjenja filmova od načina ozračivanja

Uporedjivanjem krivih koje su dobijene ozračivanjem filmova bez PVC navlake i filmova u navlaci, dobija se da PVC umanjuje osetljivost na beta zračenje za oko 10%. To znači da se za procenu registrovane doze u rutinskoj kontroli može da koristi gama kalibraciona kriva sa polja pod Sn-filtrom, ako se dozama pročitanim sa ove krive doda još 10%. S obzirom na različite osetljivosti emulzija Kodak-RM filmova, na tačnost odredjivanja beta doza jako utiče način nošenja filma (lice ili naličje). U slučaju

da je film bio naličjem okrenut ka izvoru zračenja, beta doze će se takodje odredjivati sa gama kalibracione krive pod Sn-filtrom ali se odredjenim dozama u ovom slučaju dodaje 30%.

## Odredjivanje doza termalnih neutrona u prisustvu gama zračenja pomoću Kodak-RM filmova

Uopšte uzev, filmovi su mnogo osetljiviji na gama zračenje nego na neutrone, pa dejstvo gama zračenja lako maskira dejstvo neutrona. Zbog navedene osobine filmova, za odredjivanje doza od termalnih neutrona koriste se Sn i Cd filtri u kojima dolazi do (n,$\gamma$) reakcije[3]. Presek za reakciju na Cd iznosi 2550 b, dok je na Sn samo 0,6 b, što ima za posledicu da polje pod Cd-filtrom pokazuje mnogo veće zacrnjenje nego polje pod Sn-filtrom.

U slučaju ozračivanja filmova u polju termalnih neutrona i gama zračenja, doze koje su registrovane na poljima pod Cd i Sn, predstavljaju superpoziciju efekata obe vrste zračenja i mogu se predstaviti izrazom:

$$D_{Sn} = D_{gama} + K_{Sn}D_n$$
$$D_{Cd} = D_{gama} + K_{Cd}D_n$$

gde su: $K_{Sn}$ i $K_{Cd}$ faktori proporcionalnosti; $D_{gama}$, doza prateći gama zračenja; $D_n$, doza neutrona; $D_{Cd}$ i $D_{Sn}$, doza registrovana na polju filma pod filtrima.

U eksperimentalnom radu, kao izvor termalnih neutrona korišćena je termalna kolona reaktora RA u Vinči. Termalni neutroni uvek su praćeni gama fluksom koji u našem slučaju iznosi oko 3,5 R/h. Radi uspostavljanja veze izmedju osetljivosti filma na termalne neutrone i gama zračenje, korišćena je kalibraciona kriva za Co-60. Doze koje odgovaraju zacrnjenjima filmova ozračenih na TK, sa polja pod filtrima, očitane su sa gama kalibracione krive i uvrštene u jednačinu. Izračunati faktori proporcionalnosti za Sn i Cd filtar imaju vrednosti $K_{Sn}$=0,68, odnosno $K_{Cd}$ =3,57. Na ovaj način dobijeni su konačni izrazi za separatno odredjivanje doza termalnih neutrona i gama zračenja pomoću film dozimetra:

$$D_n = 0,35(D_{Cd} - D_{Sn})$$
$$D_\gamma = D_{Sn} - 0,23(D_{Cd} - D_{Sn}).$$

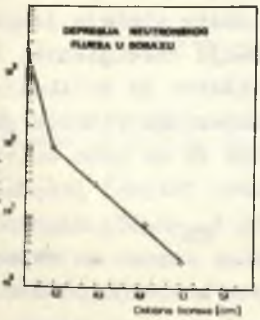
## Eksperimentalno odredjivanje prividne gama doze nastale pod dejstvom termalnih neutrona u Kodak-RM filmovima

U interakciji termalnih neutrona sa emulzijom dozimetrijskog filma, dolazi do reakcija u prvom redu sa jezgrima Ag i Br,

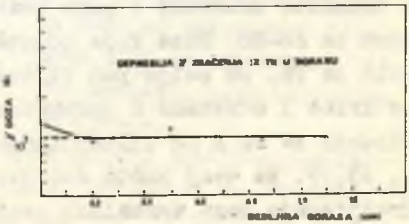
pri čemu nastaju radioizotopi koji emituju beta i gama zračenje. To zračenje izaziva zacrnjenje dozimetrijskog filma i naš je cilj bio da odredimo veličinu doze koja odgovara stvorenom zacrnjenju. Odredjivanje ove doze vršeno je sa praznog polja filma gde nema nikakvih dodatnih efekata što bi bio slučaj da se za odredjivanje koristio Sn-filtar. Pošto se ova doza ne može razdvojiti od doza koje odgovaraju stvarnom gama zračenju, nazvana je prividnom gama dozom. Za eksperimentalnu procenu prividne gama doze stvorene u emulziji filma pod uticajem termalnih neutrona, kao izvor korišćena je TK reaktora RA u Vinči. Integralni fluksevi termalnih neutrona sa kojima su vršeni eksperimenti dozno izraženi, imali su vrednosti $D_n$=1,04 rem, 2,11 rem,i 29 rem.

Da bismo odredili koliku prividnu gama dozu daje 1rem termalnih neutrona,bilo je potrebno korigovati prateći gama fon sa TK.Upotrebom nekog apsorbera termalnih neutrona dobio bi se približno čist gama fluks sa TK. Kao apsorber odabran je boraks zbog velikog efikasnog preseka bora na termalne neutrone i zbog toga što zahvatom termalnih neutrona nastaje (n,$\alpha$) reakcija.

Tok eksperimenta na TK bio je sledeći. Najpre je odredjena depresija neutronskog fluksa u funkciji različitih debljina apsorbera od boraksa (sl.3). Kao najpogodnija, odabrana je debljina od 0,85 cm boraksa koja propušta tek svaki 300-ti neutron, što je



Sl.3. Depresija neutronskog fluksa iz TK u boraksu



Sl.4. Depresija gama zračenja iz TK u boraksu

sasvim dovoljna apsorpcija neutronskog fluksa za ovaj eksperiment. Ozračivanje filmova u apsorberima različitih debljina, pokazalo

je da ne postoji depresija gama fluksa u apsorberima od boraksa (sl.4).Filmovi koji su bili ozračeni na TK bez apsorbera od boraksa pokazali su dozu $D_{n+\gamma}$,tj. dozu nastalu u emulziji filma od termalnih neutrona,i dozu od pratećeg gama zračenja. Filmovi koji su bili ozračeni u apsorberima od boraksa pokazali su dozu $D_{\gamma}$,tj. samo dozu od pratećeg gama fona.Razlika ove dve doze daje prividnu gama dozu nastalu u emulziji filma pod uticajem termalnih neutrona.Iz odnosa $(D_{n+\gamma}-D_{\gamma})/D_n$ dobijeno je da prividna gama doza koju daje 1rem termalnih neutrona iznosi 153mR.Ovaj podatak se u literaturi češće daje u fluksnom obliku i predstavlja veličinu termalnog neutronskog fluksa koji proizvodi isto zacrnjenje filma kao 1R gama zračenja Co-60. U našem slučaju ta vrednost fluksa je $6,3.10^9$ n/cm$^2$.

## Računsko odredjivanje prividne gama doze nastale od termalnih neutrona u emulziji Kodak-RM filmova

Zasnivajući svoje teorijsko razmatranje na aktiviranju Ag u emulziji filma pod uticajem termalnih neutrona,T.Mercer i R. Golden[4] su došli do jednostavnog izraza koji daje beta dozu nastalu u emulziji filma.Da bi se dobila prividna gama doza,mi smo modifikovali njihovu jednačinu uspostavljajući vezu izmedju osetljivosti filmova na beta i gama zračenje,i dobili smo izraz

$$D_{nth}(\gamma) = 0,52\cdot 10^{-10} F_{nth}\cdot t_{Ag}\cdot 1,35:1/0,93 \quad /R/,$$

gde je $t_{Ag}$ debljina sloja Ag u emulziji filma.Prema našim eksperimentalnim podacima,u osetljivijoj emulziji Kodak-RM filma ta debljina iznosi 1,51 mg/cm$^2$,a u manje osetljivoj emulziji iznosi 0,42 mg/cm$^2$. Koristeći gornju jednačinu dobija se da prividna gama doza nastala od 1 rem termalnih neutrona iznosi 141 mR.

Računski odredjena prividna gama doza koju daje 1 rem termalnih neutrona, razlikuje se od srednje eksperimentalno dobijene vrednosti za oko 8%. Niže vrednosti koje se dobijaju računskim putem mogle bi se objasniti činjenicom da se pored Ag u emulziji filma nalazi približno ista količina Br koji takodje reaguje sa termalnim neutronima. Medjutim,pošto je efikasni presek za Br mnogo niži nego za Ag,doprinos zacrnjenju filma od aktiviranog Br biće mnogo niži nego od aktiviranog Ag, ali ipak ne zanemarljiv.

## Procena prividne gama doze nastale u Kodak-RM filmovima pod dejstvom brzih neutrona

Prema podacima M.Ehrlich,R.Smith i R.Benck-a[5][6], koji se odnose na osetljivost filmova na brze neutrone, izvršena je

procena prividne gama doze nastale od brzih neutrona u Kodak-RM filmovima.

U svom radu M.Ehrlich je eksperimentalno i računski odredila osetljivost za tri tipa dozimetrijskih filmova na brze neutrone od 2,5MeV i 3MeV. Njeni podaci pokazuju da je fluksna osetljivost na brze neutrone istog reda veličine kao osetljivost filmova na termalne neutrone.

R.Smith i R.Benck su eksperimentalnim putem ispitali osetljivost za osam tipova dozimetrijskih filmova na brze neutrone energija od 1MeV do 14MeV. Njihovi podaci pokazuju da je za neke filmove fluksna osetljivost istog reda veličine kao i za termalne neutrone, dok je za druge niža i do 10 puta.

Oba autora su došla do zaključka da osetljivost na brze neutrone zavisi od linearnih dimenzija zrna srebrobromida, tako što su sitnozrnaste emulzije osetljivije na brze neutrone.

Da bi se odredila prividna gama doza nastala pod uticajem brzih neutrona od 1 rem, korišćena je relacija da fluks brzih neutrona od $2,6 \cdot 10^7 n/cm^2$ daje dozu od 1 rem. Prema tome, u slučaju kada je fluksna osetljivost filmova ista za brze kao i za termalne neutrone, 1 rem brzih neutrona davaće prividnu gama dozu od oko 4mR, a u slučaju kada se uzme da je fluksna osetljivost filmova 10 puta manja na brze nego na termalne neutrone, 1 rem davaće prividnu gama dozu od oko 0,4mR.

S obzirom na namenu Kodak-RM filmova, može se pretpostaviti da je dijametar zrna 1-2 $\mu$ (ne postoje literaturni podaci o ovoj veličini),pa prema podacima R.Smith i R.Benck-a fluksna osetljivost ovog tipa filma na brze neutrone bila bi 10 puta niža od osetljivosti na termalne neutrone.To bi značilo da je Kodak-RM film 400 puta manje dozno osetljiv na brze neutrone nego na termalne. Pošto je osetljivost ovog tipa filmova na brze neutrone uvek niža od osetljivosti na termalne neutrone, tačnu vrednost ove osetljivosti nije potrebno eksperimentalno odredjivati.

## Zaključak

Proveravanje reagovanja Kodak-RM filmova u definisanom opsegu doza pokazalo je da ovaj tip dozimetrijskog filma u potpunosti zadovoljava uslove kako normalne, tako i akcidentalne gama dozimetrije.

Rezultati odredjivanja osetljivosti filmova na beta zračenje prirodnog urana, pokazali su da se u uslovima rutinske kontrole može registrovati samo beta zračenje iznad 240 keV, a da se

zadovoljavajuća procena registrovane beta doze može izvršiti bez kalibracije filmova sa beta emiterima.

Dalje, u radu je izneta metoda za odredjivanje doza termalnih neutrona u polju gama zračenja koristeći filtre od Sn i Cd. Procena doze vrši se sa tačnošću koja odgovara uslovima filmdozimetrije.

Ispitivanje osetljivosti filmova na termalne i brze neutrone pokazalo je da su filmovi mnogo osetljiviji na gama nego na neutronsko zračenje. Korigovanje registrovanih gama doza na prividnu gama dozu izazvanu termalnim neutronima vršilo bi se u posebnim slučajevima, dok je korekcija na brze neutrone nepotrebna.


## Resume

SOME PROPERTIES OF THE IBK FILM BADGE WITH KODAK-RM DOSIMETRIC FILM

The paper deals with the results obtained in the investigation of the properties of Kdak-RM dosimetric film as an element of film badge used for measuring of integral doses of beta and gamma radiation, as well as thermal neutron doses in normal and accidental cases.

The results of examinations concerning the neutron film sensitivity have particularly been worked out and the possibility of integral gamma doses measurement in the field of neutron and gamma radiation has been established.

The results obtained witness that Kodak-RM dosimetric film shows good measuring properties both in normal and accidental cases.


## Bibliografija


1. M.J.Heard and B.E.Jones; AERE - M 1178 (1963)
2. M.Ehrlich; Safety Series No.8, IAEA (1962)
3. I.Mirić, P.Mirić et al.; IBK-95 (1964)
4. T.T.Mercer and R.Golden; Health Physics 9, No.2, 167 (1963)
5. M.Ehrlich; Health Physics 4, No.2, 113 (1960)
6. R.J.Smith and R.F.Benck; Health Physics 9, No.5, 473 (1963)

# VREDNOST FIIM-DOZIMETRIJE I KONTROLA PRIMLJENE DOZE JONIZANTNOG ZRAČENJA

MALINSKI B., STOJANOV S. i KALENDAROV Z.

Medicinski centar, Kumanovo i Republički zavod za zdravstvena zaštita, Skopje.

Rezime:

U uvodnom delu referata autori govore o nekim zakonskim odredbama osnovnog zakona za zaštitu od jonizantnog zračenja. Zatim daju kritički osvrt o tako zvanoj dozvoljenoj dozi i mestu film-dozimetra u pravilniku za dozvoljene doze jonizantnog zračenja.

Naučne postavke film-dozimetrije kao metode za detekciju jonizantnog zračenja i njezin domen u sferi apsolutnih egzaktnih merenja. Dosadašnja iskustva sa film-dozimetrijom u nekim zdravstvenim ustanovama, njezini rezultati, način upotrebe i nedostaci.

Komparativni nalazi film-dozimetra nošen po zakonskim odredbama sa film-dozimetrom na "pravom mestu". Komparativni rezultati film-dozimetrije sa džepnim dozimetrima elektronske industrije iz Niša i Viktorin jonizacione komore kod nekih standardnih radioloških pregleda. Lavirint različitih doza koje nastaju u prostoriji rentgenološke dijagnostike. Film-dozimetar i kvantum zračenja žive materije izvan njegovog polja registracije.

U zaključku referata autori opisuju u kom stepenu i da li film-dozimetar može ukazivati na inhomogenu zračnu opasnost, koja vlada u prostoriji rentgenološke dijagnostike za vreme diaskopije ili rtg. snimanja. Čime registrovati opasne zone u prostoriji RŠ aparature i uočavati slaba mesta radiološke zaštite?

Sadašnja vrednost film-dozimetrije i naučna opravdanost njezine upotrebe kod rentgenološke dijagnostike.

Smatramo za potrebnim, da je nužno podsetiti se nekih zakonskih odredbi Osnovnog zakona za zaštitu od jonizantnog zračenja. U čl. 4 izmedju ostalog, pod zaštitom od jonizantnog zračenja računa se "utvrdjivanje primljene doze ozračenih lica, koja su na svojim mestima izložena ovom zračenju i utvrdjivanje doza, koje prima stanovništvo od svih izvora jonizantnog zračenja.n koje može biti izloženo". U Pravilniku za korišćenje rtg. aparata

i mera za zaštitu od rentgenskih zraka, iako je odredjena zaštita predvidjena, slabo se poštuju pojedine odredbe u kojima se tretira zaštita lica, koja se pregledavaju na rentgen aparate.Ne samo što se ne vodi briga za što manja somatska oštećenja pacijenata kod radioloških dijagnosticiranja, već se često puta potpuno zanemaruju genetska opterećenja pacijenata, kod kojih praktično ne postoji zaštita gonada onako, kako je regulirano ovim Pravilnikom.

U Pravilniku za dozvoljene doze, mi se ne slažemo sa terminom "dozvoljena doza"! ma koje veličine ona bila, mora se imati u vidu, da se uvek radi o tako zvanoj dozvoljenoj štetnoj dozi, koja uvek daje somatska ili genetska oštećenja žive materije. A druga je stvar u kom stepenu organizam uspeva ili ne da reparira oštećenja nastala zračenjem. Dalje u čl. 5 pomenutog Pravilnika piše "da se film-dozimetri moraju menjati jedanput mesečno i da se oni nose po pravilu na grudima preko radnog odela." Kakva je celishodnost film-dozimetra u praksi?

Kod film-dozimetrije, kao metode za detekciju jonizantnog zračenja, osnovno je da se bazira na svojstvu zračenja koje prema svom intenzitetu deluje na fotografsku emulziju. Dok film namenjen običnom svetlu ima emulziju sa jedne strane, radiografski film ima deblji nanos emulzije i to sa obe strane. Debljim nanosom emulzije postiže se veća apsorpcija zraka i elektrona, što povećava osetljivost i gradaciju filma, jer kod rentgenskih zraka samo jedan mali procenat zraka, koji upada na film, apsorbira se i aktivan je u stvaranju latentne slike. Kao osetljivost filma obično se označuje recipročna vrednost jonizantne doze,koja odgovara potrebnoj količini prozračene energije kroz film, da bi se postiglo zacrnjenje. Kvalitet radiograma zavisi od gradijenta filma, apsorpciskog koeficijenta i statističkom njihanju

gustoće zacrnjenja /ako radiografski film bude izložen neko vreme po celoj površini jednakom intenzitetu zračenja i izmere se gustoće zacrnjenja odredjene veličine, zapazit ćemo razlike u izmerenim vrednostima/, dok se razlika u uticaju difuznih zraka glavni uzrok za razlike u raspoznavanju sa raznim kontrolnicima. I još nekoliko reči o stabilizaciji fotografskih emulzija. Stajanjem, emulzije pokazuju tendenciju smanjenja osetljivosti i dolazi do spontanog razvijanja neosvetljene emulzije. Nastaje tako zvana hemiska mrena. U skladištu filmova mrena je uzrokovana povišenom temperaturom i vlažnošću, kao i produženim stajanjem u skladištu. Zatim i priroda emulzije može uzrokovati hemisku mrenu. Isto tako kao i uslovi razvijanja filmova. Da se održi osetljivost emulzije na optimalnoj vrednosti i da bi se sprečio porast mrene, emulziji se dodaju nitroanisoli kako bi se mrena održala na niskom nivou.

Film-dozimetar u sferi egzaktnih merenja pokazuje niz nedostataka. Ako konstruiramo krivulju zacrnjenja u funkciji doze, dozvoljavaju se rezultati sa greškom do 20%. U praktičnom radu kod film-dozimetrije nailazimo na niz poteškoća, kao što su: obezbedjenje svežih filmova i čuvanje svežih filmova, numerisanje filmova, vreme razvijanja, temperatura razvijača, kvalitet razvijača, stručnost foto laboranta, promenljiv spektar talasnih dužina pojedinih rtg. aparata, pojedine talasne dužine brže razlažu srebreni bromid i više crne filmsku emulziju /uloga karakterističnih rtg. zraka/.

Nultu vrednost ima film neeksponiran zračenju, koji posle razvijanja ostaje potpuno providan. Prag osetljivosti filma je oko 50 mr. I srazmerno toj dozi u emulziji se stvara odgovarajuće zacrnjenje. U evidentne kartone unosi se svaka doza koja se može očitati na filmu, svakako počevši od 50 mr.

Kakva su dosadašnja iskustva sa film-dozimetrijom u nekim zdravstvenim ustanovama? Posedujemo originalna dokumenta nekih odseka za dozimetriju zračenja, kojim su evidentirane doze u mr. Dajemo tabelarno podatke o primljenim dozama kod personala rtg. kabineta doma zdravlja Kumanovo za period od deset meseci 1962.g.

TAB.br.1

Primljene mesečne doze u mr.kod personala DNZ Kumanovo u toku 1962

| meseci | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| rentgenolog | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| rtg.tehničar | 30 | 15 | 20 | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| rtg.bolničar | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |

Kod vrednosti 10 mr u većini slučajeva rezultat je glasio ispod 10 mr. Ako je prag osetljivosti filma oko 50 mr, nije nam poznato kojom metodom fizičar očitava vrednost filma-dozimetra ispod 10 mr. Kao što se vidi sa tabele br. 1, slične niske vrednosti film-dozimetra nošenog u toku jednog meseca, dobili smo kod ondašnjeg personala rtg. odelenja opšte bolnice u Kumanovu, rtg. Kabineta u Vranju i Bujanovcu. Ovo su podaci film-dozimetrije beogradskog Instituta za medicinu rada. Kasnije smo koristili film-dozimetriju Odelenja za medicinu rada iz Skoplja. Kako je i Radiološki institut iz Skoplja koristio film-dozimetriju ovog Odelenja, ustanovili smo da su i kod njih često puta evidentirane niske vrednosti primljene doze u toku jednog meseca, a puno puta bilo je 0 mr.

Zbog ovakve nerealne niske vrednosti film-dozimetrije, bili smo prinudjeni da nabavimo džepne dozimetre i njime kontrolirati film-dozimetriju. I ne samo to, slali smo za očitavanje film dozimetar koji uopšte nije bio izložen zračenju, a za isti

Dobili smo sledeće rezultate merenja:

TAB.br.2

Vrednost film-dozimetrije kod diaskopije želudca sa 75 kV i 3 mA

Philips super Morava

| lokacija film-dozimetra | vreme ekspozicije | | |
|---|---|---|---|
| | 1 min. | 3 min. | 2 min. |
| grudi rentgenologa | 0 mr | 0 mr | 0 mr |
| čelo rentgenologa | 0 mr | 0 mr | 2 mr |
| lakat rentgenologa | 10 mr | 12 mr | 20 mr |
| šaka rentgenologa u području izlazne doze pacijenta | 52 mr | 61 mr | 160 mr |

TAB.br.3

Komparativni rezultati film-dozimetrije sa džepnim dozimetrima i Viktorin-komorom kod diaskopije želudca sa 75 kV i 3 mA

| LOKACIJA MERNIH INSTRUMENATA | PHILIPS SUPER DN 125 | | | | | | "M O R A V A" | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vreme ekspozicije: | | | | | | ekspozicija: | | |
| | 1 minut | | | 3 minuta | | | 2 minuta | | |
| | F | D | V | F | D | V | F | D | V |
| grudi rentgenologa | 0mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr | 0 mr |
| čelo rentgenologa | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 5 | 2 | 10 | 10 |
| lakat rentgenologa | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 20 | 15 | 15 |
| šaka rentgenologa u području izlazne doze pacijenta | 55 | | 64 | 65 | | 80 | 160 | | 172 |

F-film dozimetar, D-džepni dozimetar, V-Viktorin jon.komora

film-dozimetar dobijali smo rezultat da je primljena doza od 30 mr.

Kod komparativnih nalaza film-dozimetra nošen po zakonskim odredbama na grudima sa film-dozimetrom na "pravom mestu" kao što se vidi iz tabele br. 2, šaka rentgenologa u području izlazne doze pacijenta prima 50-60 mr na filipsovom aparatu, a na rtg. aparatu "Morava" 160 mr. Veličina blende na ekranu bila je 20 x 20 cm. Kod tabele br. 3 u području lakta rentgenologa kod dvominutne ekspozicije registruje se doza zračenja, koja po vrednosti odgovara rezultatima kao kad se film-dozimetar nosi na grudima u toku celog meseca. Iz tabele broj 3 se vidi, da su vrednosti viktorin jonizacione komore veće od vrednosti film-dozimetra iako je sinhrono lokacija mernih instrumenata ista. Ako se desi da šaka rentgenologa dodje u zonu direktnog Rö snopa, kod Philipsovog aparata prima se doza od 650 mr za vreme od dva minuta, a kod "Morave" prima se oko 2000 mr za isto vreme.

Kakav je stepen opterećenja pacijenata kod pojedinih radioloških pregleda? Merenje ulazne doze kod pacijenata vršili smo sa integralnom viktorin jonizacionom komorom. Za vreme diaskopije želudca u trajanju od 30 sec. Kod 80 kV integralna doza na testisu pacijenta iznosi 2650 mr. Pod istim uslovima ako su testisi zaštićeni olovnom gumom, integralna doza na testisu pacijenta iznosi samo 50 mr. Kod grafije urinarnog trakta ulazna doza u području ovariuma pacijentice iznosi 850 mr. Kod istih vrednosti ako zaštitimo ovarium olovnom gumom, ulazna doza na ovarium iznosi samo 23 mr. Ove činjenice imperativno zahtevaju da kod svakog rtg. pregleda pacijenata obavezno stavljamo zaštitna sredstva na njihove gonade. Izlaznu dozu pacijenata merili smo džepnim dozimetrima. Prosečna izlazna doza kod diaskopije želudca iznosi oko 20 mr. Ako diaskopiramo debljeg pacijenta ona iznosi oko 5 mr. Ako dozimetar leži na trbuhu pacijenta ispred meteorističnog creva

prima se doza od 30 mr. Kod drugog pacijenta sa meteorističnim crevom izlazna doza u tom području iznosila je oko 100 mr. Ako dozimetar leži na trbuhu pacijenta u senci barijeve kaše, za vreme jedne diaskopije želudca prima se 0-1 mr.

Kao što se vidi iz tabela,interesantno je, da dosad nije uočena potreba da se prave olovne rukavice koje bi pokrivale i lakat,iako se u dotičnoj regiji sumiraju znatne doze zračenja.

U prostoriji rentgenološke dijagnostike očito postoji pravi lavirint različitih doza koje nastaju kad se uključi rtg. aparat. Ako hoćemo da proučavamo lavirint različitih doza koje nastaju u prostoriji Rö dijagnostike, lako utvrdjujemo koliko su insuficijentni film-dozimetri, koji registruju i kontroliraju primljene doze jonizantnog zračenja u toku jednog meseca. Ovako nerealne niske registrovane doze, mogu biti uzrokovane nizom faktora, a najviše time što nije omogućeno ozračivanje film dozimetra na pravom mestu lokacije. Onako kako sada koristimo film dozimetar, radiolog i pomoćno osoblje ni iz bliza ne može imati predstavu u kom kvantumu postoji zračenje žive materije izvan njegovog polja registracije. Na temelju našeg iskustva sa džepnim dozimetrima, uočili smo da oni ne poseduju svojstvo fine osetljivosti kod odredjivanja integralne doze, ali i svojim grubim merenjem odmah ukazuju na inhomogenu zračnu opasnost, koja vlada u prostoriji Rö dijagnostike. Džepni dozimetri sasvim egzaktno registruju opasne zone, uočavaju slaba mesta radiološke zaštite i beleže nemarni odnos radiološkog personala prema opterećenju pacijenata nepotrebnim zračenjem.

Ono što radiologa najviše interesira, kakva je inhomogena zračna opasnost u toku jednog radnog dana? koje su opasne zone i slaba mesta radiološke zaštite? To sve film-dozimetar sadašnjim načinom rada i kontrolom registracije ne može zadovoljiti. Sadašnja vrednost film-dozimetrije u rentgenologiji je vrlo

niska. Dosadašnjom njezinom upotrebom negira se i svojstvo detekcije ako rezultati glase 0 mr u toku jednog meseca, iako drugim mernim instrumentima može se potvrditi i po stotinu mr u toku jednominutne ekspozicije. Ako je svrha film-dozimetrije samo detekcija Rö zračenja, ona i sa te strane ne zadovoljava, ako njezini rezultati glase 0 mr mesečno. Zbog komparativnih rezultata drugim metodama, film-dozimetar ne uživa poverenje medicinskog osoblja radiološke službe. Pojedina lica rtg. personala teško je ubediti po sili zakona, da se film-dozimetar mora nositi svakog meseca. A još manje se mogu opravdati finansiska sredstva za film-dozimetrisku službu u rentgenologiji.


## Summary:

In the introduction of the paper the autors discuss about the fundamental law and code of the protection of X-ray. They discuss maximal dose allowed with the code as well as film dosemeasuring. The film-dosemeasuring scientific attitude as a metod of X-ray radiation detection and axatly measurement. The exterience with film-dosemeasurement at the some medical institutions, the results, way use and lacks.

Comparative rates of the film-dosemeasurer having it at the "right place", ordered by the code. Comparative results of the film-dosemeasuring, pocked-dosemeasurers and Victoreen radiation-chamber by some standard X-ray taking and digestive system diascopy.

A labyrinth of different doses existing in X-ray diagnostic space. A film-dosemeasurer and radiation quantity of the living matter out of his registration field.

At the conclusion the autors are hasitating about the film-dosemeasurer property of high X-ray detection fidelity and possibility of unhomogen air danger detection, being in the radiology diagnostical space during diascopy of X-ray taking. How to registrate the dangerous zone in the Y-ray room and to detect the unprotected places of X-radiation? The value of the film-dosemeasuring method and his scientific justification of the use, up to the present time.

## Literatura:

1. GLOCKER R.: Der Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik, 1-20, /1957/ Stuttgart.

2. GENAUD P.: Atomsko oružje, 98 /1952/ Beograd.

3. SLUŽBENI LIST SFRJ broj 12 i 36 /1965/ Beograd.

4. SCHINZ R. H., WIDEROE R.: Strahlengefährdung und Strahlenschutz, 95-108 /1965/, Zurich.

5. ZBORNIK RADOVA IV KONGRESA RADIOLOGA JUGOSLAVIJE, 298 /1960/, Skoplje.

6. WALLACE B., DOBZHANSKY T.: Radiation, Genes and Man, 17 /1963/, New York.

# BROJAČKI KOMPLET STV-1

Vojinović M., Obradović M., Lero N., Frantlović P.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

U radu je prikazan brojački komplet podesan za obavljanje najčešće traženih merenja pri radu sa raznim tipovima detektora radioaktivnog zračenja.

Opisane su osnovne funkcije brojačkog kompleta koji pored izvora napajanja visokog i niskog napona za detektor i pretpojačavač sadrži brojačka kola koja pružaju mogućnost merenja sa predodredjenim vremenom ili brojem u širokim granicama i sa tačnošću odredjenom kvarcnim kristalom.

Uredjaj je ostvaren korišćenjem integrisanih brojačkih i mikrologičkih kola, što je omogućilo poboljšanje karakteristika i povećanje pouzdanosti.

## Uvod

Zahtevi koji se postavljaju elektronskim uredjajima pri merenjima sa detektorima radioaktivnog zračenja zavise od tipa detektora, uslova pod kojima se merenje vrši, funkcija koje pri merenju treba obaviti i načina na koji treba rezultate merenja prikazati ili obraditi. S obzirom na to zahtevi mogu biti veoma različiti i optimalno rešenje po nizu faktora pod odredjenim uslovima pružaju modularni sistemi koji omogućuju obavljanje najrazličitijih, složenih funkcija medjusobnim povezivanjem modularnih jedinica.

U relativno velikom broju merenja mogu se, medjutim, uočiti često skoro identični zahtevi i ukoliko se predvidja samo takav tip merenja, korišćenje mernih kompleta nemodularnog tipa može biti opravdano. Ovo je posebno slučaj na mestima gde se ne koristi mnogo elektronske opreme i gde se najčešće u pogledu funkcija i mogućnosti postavljaju jednostavniji zahtevi vezani za rad sa jednim a redje većim brojem detektora. Posebnu prednost za izolovane korisnike elektronske opreme predstavlja činjenica da ne moraju vršiti nikakva medjusobna povezivanja funkcionalnih jedinica, već da sve zahteve ostvaruju postavljanjem komandi na če-

onoj ploči.

U ovom radu je opisan uredjaj koji pruža mogućnost rada sa GM, proporcionalnim i scintilacionim brojačima. Pri projektovanju vodilo se računa da se sužavanjem raspoloživih funkcija i mogućnosti ne smanji široka primenljivost uredjaja, no da se istovremeno njihovim suvišnim širenjem ne poveća cena uredjaja radi nečega što bi u velikom broju slučajeva ostajalo neiskorišćeno. Kriteriumi su pri tome proistekli iz dosadašnjeg iskustva sa ranije razvijenim i široko korišćenim uredjajima, posebno skalerima tipa SKT-3 i SKT-5. Neka nova proširenja mogućnosti i poboljšanja karakteristika su bila omogućena napretkom tehnologije a posebno svojstvima integrisanih kola koja su korišćena u uredjaju

## Osnovne funkcije

Blok šema, prikazana na slici 1, pokazuje da se brojački komplet STV-1 sastoji od dva, po svojim funkcijama potpuno nezavisna dela. Jedan deo obuhvata izvore stabilnih napona i namenjen je za napajanje detektora odnosno pretpojačavača, dok drugi deo sačinjavaju brojačka i pomoćna kola koja omogućavaju obavljanje raznih funkcija vezanih za izlazne impulse iz detektora.

Stabilisani izvor napajanja visokog napona zadovoljava zahteve koji se postavljaju pri radu sa najčešće korišćenim tipovima detektora radioaktivnog zračenja. Donjom granicom naponskog opsega omogućava rad sa halogenim brojačima a gornjom granicom naponskog opsega rad sa proporcionalnim brojačima. Karakteristike stabilizatora zadovoljavaju zahteve koji se postavljaju pri spektrometriji a raspoloživa struja je dovoljna za napajanje većine komercijalnih scintilacionih brojača. Radi održanja veće univerzalnosti pri korišćenju sa GM brojačima, na uredjaju nije predvidjen izlaz sa ugradjenim radnim otpornikom, već se pri korišćenju jonizacionih brojača različitog tipa priključuje spolja odgovarajući adapter.

Pored izvora napajanja visokog napona u uredjaju se nalazi i izvor napajanja niskog napona za slučaj da se radi sa pretpojačavačem. S obzirom na veoma veliki broj potpuno različitih zahteva koji se postavljaju pri napajanju raznih tipova sondi, u uredjaju se nalazi izvor napajanja podesan za direktno

priključenje sondi razvijenih za rad sa ovim uredjajem. Raspoloživa struja izvora napajanja niskog napona je, medjutim, takva da se mogu koristiti i drugi tipovi pretpojačavača sa tranzistorima ili integrisanim kolima, uz odgovarajuće prilagodjenje napona napajanja.

Funkcija ulaznog kola je da primi impulse koji dolaze iz detektora zračenja i da ih prilagodi za dalju obradu. Preklopnikom za izbor polariteta vrši se podešavanje ulaznog kola prema polaritetu ulaznih impulsa.

U brojački deo uredjaja impulsi iz ulaznog kola dolaze preko komandnih kola, koja omogućavaju ovaj prolaz po prijemu ručne komande START a onemogućavaju po prijemu ručne komande STOP. Ručnom komandom ANULIRANJE može se brisati sadržaj iz svih brojačkih dekada.

Posebnim preklopnikom za upravljanje radom isključuju se sve ručne komande i uredjaj može raditi sa daljinskim električnim komandama. Uzlazna ivica pravougaonog signala dovedenog u uredjaj preko koaksijalnog priključka otvara selektor i omogućuje prolaz ulaznih signala preko komandnih kola, dok ga zadnja, silazna ivica zatvara. Komanda za anuliranje daje se impulsom koji se dovodi preko posebnog priključka.

U cilju odbrojavanja impulsi se vode na skaler koji sačinjava šest brojačkih dekada sa vizuelnom indikacijom pomoću Nixie cevi.

Da bi se pri merenjima izbegla potreba za korišćenjem spoljašnjeg satnog mehanizma i ujedno smanjila greška pri merenju vremena, u brojački komplet je ugradjen merač vremena. Vremensku osnovu merača obezbedjuje generator satnih impulsa stabilisan kristalom kvarca. Impulsi konstantne učestanosti dovode se na poseban brojački sistem koji se može tako postaviti da po prijemu željenog broja impulsa da izlazni signal. Pošto se na ulaz dovode impulsi konstantne učestanosti, ovaj signal se dobija po isteku predodredjenog vremena u odnosu na početak merenja i može se koristiti za prekidanje prolaza ulaznih impulsa kroz komandno kolo odnosno za vremensko upravljanje merenjem.

Pored opisanog načina merenja sa predodredjenim vremenom brojački komplet omogućuje merenja sa predodredjenim brojem. Postavljanjem odgovarajućeg preklopnika u položaj BROJ umesto položaja VREME, impulsi iz ulaznog kola se vode ka brojaču sa mo-

gućnošću predodredjivanja a satni impulsi ka brojaču sa vizuel - nom indikacijom. Na taj način se merenje prekida po prijemu predvidjenog broja impulsa koji ulaze u merni komplet a na indikatorskim cevima se čita vreme koje je bilo potrebno za prijem pred - odredjenog broja impulsa.

Da bi brojački komplet mogao da upravlja radom drugih elektronskih instrumenata, na grupi koaksijalnih priključaka se dobijaju izlazni signali i to: pravougaoni jednosmerni signal, identičan sa signalom koji se traži za upravljanje ulaznim selektorom u komandnom kolu brojačkog kompleta, i pozitivni impuls sličan impulsu predvidjenom za anuliranje brojačkog kompleta. Ovi signali se dobijaju sinhrono sa dovedenim odgovarajućim električnim signalima za upravljanje radom odnosno sinhrono sa odgovarajućim unutrašnjim signalima u brojačkom kompletu. Na posebnom priključku se dobija signal u trenutku kada su brojačke dekade primile maksimalni broj impulsa koji mogu registrovati.

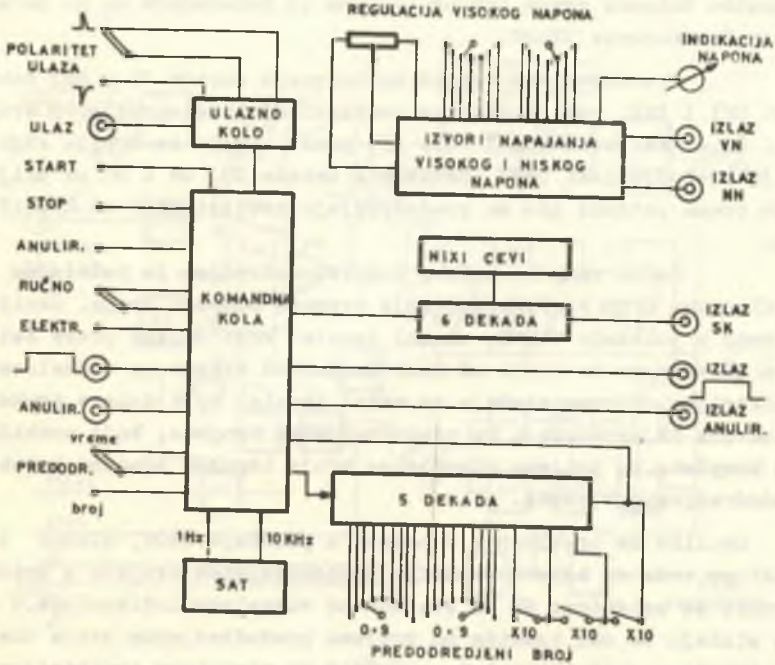
## Princip rada

Blok šema izvora napajanja prikazana je na slici 2. Visoki napon dobija se ispravljanjem i filtriranjem četvrtastih impulsa dobijenih sa oscilatora preko pojačavača snage. Stabilizacija napona vrši se povratnom spregom sa izlaznog razdelnika, preko pojačavača greške na pojačavač snage. Podešavanje napona na željenu vrednost vrši se promenom izvoda na visokonaponskom transformatoru pojačavača snage i promenom otpornosti u izlaznom lancu.

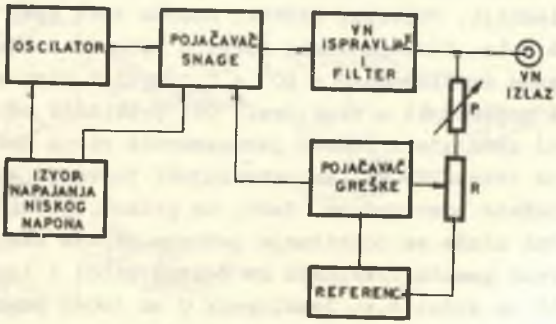
Upravljanje radom brojačkog dela uredjaja prikazano je blok šemom na slici 3. Prekidačkim kolom A vode se ka selektor - skom kolu SA impulsi koji se dobijaju preko ulaznog kola UK ili impulsi učestanosti 10 kHz iz generatora impulsa GI, koji se koriste za kontrolu brojačkog sistema mernog kompleta.

Prekidačem B vrši se izbor električnog ili ručnog upravljanja radom selektora SA. Pri električnom upravljanju unutrašnja kola za upravljanje radom u brojačkom kompletu su isključena i radom selektora SA se upravlja preko invertora INV.

Pri ručnom upravljanju otvaranje selektora SA vrši se uvek preko unutrašnjih kola FF1, I1 i FF2, da bi se izbegla greška usled nesinhronizma medju davanjem komande START i impulsa


REGULACIJA VISOKOG NAPONA
POLARITET ULAZA
INDIKACIJA NAPONA
ULAZ
ULAZNO KOLO
IZVORI NAPAJANJA VISOKOG I NISKOG NAPONA
IZLAZ VN
IZLAZ NN
START
STOP
ANULIR.
RUČNO
ELEKTR.
KOMANDNA KOLA
NIXI CEVI
6 DEKADA
IZLAZ SK
IZLAZ
ANULIR.
IZLAZ ANULIR.
vreme
PREDODR.
broj
5 DEKADA
1Hz
10KHz
SAT
0÷9
0÷9
X10
X10
X10
PREDODREDJENI BROJ

SL.1


OSCILATOR
POJAČAVAČ SNAGE
VN ISPRAVLJAČ I FILTER
VN IZLAZ
P
IZVOR NAPAJANJA NISKOG NAPONA
POJAČAVAČ GREŠKE
R
REFERENC.

SL.2

koji dolaze od generatora GI. Ova kola omogućuju otvaranje SA u trenutku dolaska prvog satnog impulsa iz generatora GI po davanju ručne komande START.

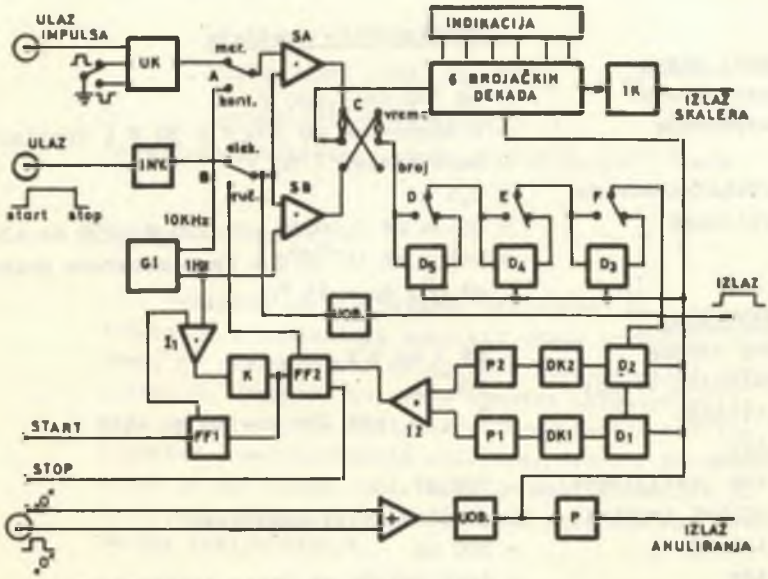
Predodredjeni brojač sačinjavaju dekade D1 i D2, dekoderi DK1 i DK2, preklopnici za postavljanje predodredjenog broja P1 i P2, i koincidentno I kolo I2, preko kojega se dobija signal da je predodredjeni broj postignut. Dekade D3, D4 i D5 se uključuju prema potrebi ako se predodredjuju brojevi veći od dvocifrenih.

Način rada brojačkog kompleta odredjen je položajem preklopnika C za predodredjivanje vremena odnosno broja. Ukoliko je ovaj u položaju VREME, ulazni impulsi koji dolaze preko selektora SA vode se ka grupi od šest brojačkih dekada sa vizuelnom indikacijom. U ovom slučaju se satni impulsi koji dolaze preko selektora SB usmeravaju ka predodredjenom brojaču, koji prekida rad kompleta po prijemu odredjenog broja impulsa odnosno isteku predodredjenog vremena.

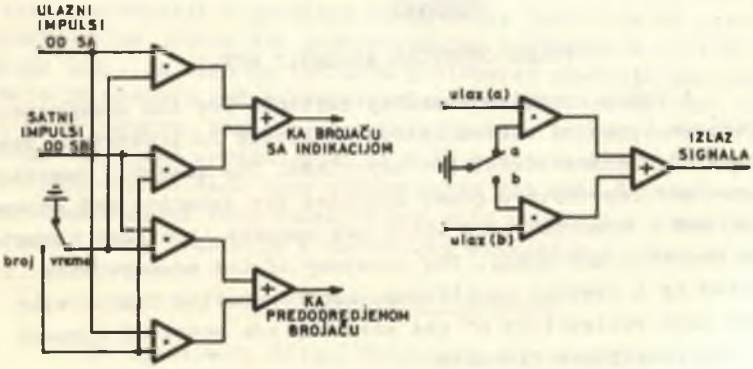
Ukoliko se preklopnik C nalazi u položaju BROJ, ulazni impulsi se vode sa selektora SA ka predodredjenom brojaču a satni impulsi sa selektora SB ka brojaču sa vizuelnom indikacijom.U ovom slučaju se rad prekida po prijemu predodredjenog broja ulaznih impulsa u merni komplet a brojač sa vizuelnom indikacijom pokazuje broj sekundi od otvaranja selektora pa do trenutka kada je na ulaz uredjaja došao poslednji od predodredjenog broja impulsa.

Blok šema na slici 3 je uprošćena da bi princip rada bio očigledniji. Pojedini blokovi sadrže veći broj logičkih i brojačkih kola. Posebno treba imati u vidu da s obzirom na brzinu dolaženja impulsa do $2 \times 10^6\ s^{-1}$, impulsi nisu vodjeni preko prekidača prikazanih u blok šemi. Ovi prekidači se nalaze na čeonoj ploči uredjaja i pomoću jednosmernih nivoa deluju na logička kola na štampanim kolima ostvarujući funkcije koje su u blok šemi naznačene prekidačima. Tako, na primer, prekidači A,D,E i F, koji u šemi služe za odabiranje jednoga od dva raspoloživa ulaza, su ostvareni pomoću prekidača na čeonoj ploči i logičkih kola prikazanih na slici 4.a. Preklopnik C za izbor predodredjenog vremena ili broja prikazan je na slici 4.b.

Uredjaj je ostvaren korišćenjem integrisanih kola za obavljanje svih funkcija za koje su kola postojala. Korišćena mikrologička kola su tipa RT/uL a brojačka i dekoderska kola su ti-


ULAZ IMPULSA
UK
mer.
A
kont.
SA
INDIKACIJA
6 BROJAČKIH DEKADA
IK
IZLAZ SKALERA
C
vreme
broj
ULAZ
INK
B
elek.
ruč.
SB
start
stop
10KHz
G1
1Hz
D
E
F
D5
D4
D3
IZLAZ
KOB.
I1
K
FF2
P2
DK2
D2
I2
P1
DK1
D1
START
FF1
STOP
KOB.
P
IZLAZ ANULIRANJA

SL. 3


ULAZNI IMPULSI OD SA
SATNI IMPULSI OD SB
KA BROJAČU SA INDIKACIJOM
broj
vreme
KA PREDODREĐENOM BROJAČU
ulaz (a)
a
b
ulaz (b)
IZLAZ SIGNALA

(b) (a)

SL. 4

pa C/uL, proizvodnje SGS. Korišćenjem ovih kola pored smanjenja dimenzija i povećanja radne brzine, omogućen je rad u širem temperaturnom opsegu i povećana je pouzdanost uredjaja.

Karakteristike uredjaja

| | |
|---|---|
| **Visoki napon** | |
| Opseg napona | - od 300 do 3.000 V |
| Podešavanje | - u skokovima po 300 V i 30 V i kontinualno u opsegu ± 30 V. |
| Maksimalna struja | - 0,5 mA |
| Stabilnost | - bolja od 0,0025% pri 220 V -15% do +10% |
| | - bolja od $10^{-4}/^{o}C$ u temperaturnom opsegu od $0^{o}C$ do + 45 $^{o}C$. |
| **Niski napon** | |
| Opseg napona | - od 3 do 9 V. |
| Maksimalna struja | - 100 mA |
| Stabilnost | - ± 0,1% pri 220 V -15% do +10% |
| **Skaler** | |
| Ulazna osetljivost | - 200 mV |
| Polaritet impulsa | - pozitivan ili negativan |
| Razlaganje | - 500 ns |
| Dekade | - šest dekada sa Nixie indikacijom |
| Predodredjeno vreme | - od 1 s do 99.000 s. |
| Predodredjeni broj | - od 1 impulsa do 99.000 impulsa |


Summary

PULSE COUNTING ASSEMBLY STV-1

A pulse-counting assembly suitable for the measurements with various types of the radiation detectors is presented. Basic functions of the instrument are described. The assembly comprises the high- and low-voltage power supplies for detector and preamplifier, and a counting unit which can operate in either preset-time or preset-count modes. The accuracy of the measurements is determined by a crystal oscillator. Good operating characteristics and high reliability of the assembly are achieved through use of the integrated circuits.

# MINIJATURNI LOVAC ZRAČENJA

Dragoljub Damljanović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

Rezime

Prikazan je minijaturni instrument koji omogućuje detekciju i indikaciju osnovnih vrsta zračenja (beta, gama) ne pretendujući na njihovo kvantitativno odredjivanje. Obzirom na svoje osnovne karakteristike može da se masovno upotrebi u organizaciji zaštite ljudstva u akcidentalnim uslovima. Osnovne karakteristike su mu: niska cena, mali format, minimalna potrošnja-u normalnim uslovima radi više hiljada časova bez isključivanja.

Za detekciju, merenje i analizu radioaktivnih zračenja postoje raznovrsni instrumenti od kojih svaki ima svoje specifičnosti i namene. Zbog raznih problema koje svaki od tih instrumenata postavlja pred njihovog korisnika, počev od cene nabavke pa do njegove pouzdanosti i problema održavanja, postavlja se potreba za postojanjem jednog što jednostavnijeg instrumenta čije će glavne osobine biti: da može da indicira povišenost zračenja bez pretendovanja na njegovo tačno kvantitativno merenje, zatim lako rukovanje, mali gabarit, niska cena nabavke i mala potrošnja baterija. Sa ovim osobinama uredjaj može da bude korišćen kao lično sredstvo pristupačno za najširi krug stanovništva što može delimično da nadoknadi nedovoljan broj tačnijih ali zato skupljih i komplikovanijih uredjaja. U tom smislu je i napravljen minijaturni lovac zračenja.

## Mogućnosti i osobine

Sa ugradjenim Gajger Milerovim brojačem 18504 minijaturni lovac zračenja MLZ-1 ima mogućnost indiciranja povišenosti zraženja počev od normalnog kosmičkog fona pa do velikih intenziteta pri čemu se grubo pomoću slušalice može razaznati da li je iznad ili ispod nekoliko desetina milirendgena na čas.

Pored akustičke indikacije postoji i svetlosna koja se dobija na jednoj tinjalici. Za svaku detektovanu česticu tinjalica na kratko zasvetli a pri zagušenju prelazi u neprekidno svetljenje.

Pored ova dva načina postoji i treći. Na uredjaju je ugradjen priključak za mikroampermetar kojim se može vršiti i tačnije merenje srednjeg broja detektovanih čestica linearno do oko 200 imp/sec pri čemu je razmera približno 0,25 μA/imp/sec.

Ovo poslednje se predvidja najviše za eventualnu obuku ljudi jer se u nedostatku tačnijih instrumenata na ovaj način mogu pokazati uticaji raznih apsorbera, zaklona i slično, sa delimičnim kvantitativnim merenjima. Priključeni mikroampermetar treba da se premosti elektrolitom reda 1000 μF a linearno merenje ide do 50 μA.

S obzirom na mogućnosti brojača 18504, moguće je detektovati gama i beta zračenje, a sa skinutim poklopcem sa prozora brojača i alfa viših energija.

Ovaj minijaturni lovac zračenja ima jednu veoma važnu osobinu a to je da mu je potrošnja baterija minimalna što je omogućeno specijalnom električnom šemom. Tako je u odsustvu zračenja, pri normalnom kosmičkom fonu, potrošnja tako mala da iste baterije mogu u neprestanom radu da služe više hiljada časova. Pri ovome na trajanje više utiče samo starenje baterija nego potrošnja elektronskih kola. Pri povećanju zračenja potrošnja raste da bi u zasićenju iznosila oko 30 mA.

## Princip rada

Na sl. 1 je prikazana principska šema minijaturnog lovca. Posmatrano sa elektronske strane, Gajgerov brojač predstavlja potrošač koji energiju iz stabilizatora visokog napona uzima u impulsima. Zahvaljujući ovome moguće je visoki napon održavati takodje dopunjavanjem u impulsima i to samo nakon detektovanja čestice. U medjuvremenu ni jedno kolo ne mora da radi te se time postiže maksimalna ušteda u potrošnji baterija. Ovo se postiže pomoću monostabilnog kola koje se okida baš impulsima iz brojača.

Istovremeno sa dopunjavanjem kondenzatora za održavanje visokog napona, monostabilno kolo pobudjuje slušalicu i tinjalicu a takodje daje strujni impuls u mikroampermetar ukoliko je priključen.

## Električna šema

Na sl. 2 je prikazana električna šema sa svim detaljima kola. Vidi se da tinjalica ima višestruku ulogu. Gasi oscilator (koji bi u principu trebao da bude monostabilni sam po sebi, što nije zbog parazitnih kapaciteta transformatora), daje svetlosnu

indikaciju detektovane čestice, vrši indirektnu stabilizaciju visokog napona, pobudjuje slušalicu i najzad odredjuje strujni impuls koji dolazi u mikroampermetar.

Primenjeni su komplementarni tranzistori što obezbedjuje da kolo u intervalu izmedju impulsa provodi samo struju reda nanoampera, što je daleko manje nego unutrašnja struja potrošnje samih baterija usled starenja.

Pošto impulsi struje potrošnje zavise od napona baterija to bi merenje broja impulsa merenjem njene srednje vrednosti moglo da unese znatnu grešku, mada je u principu moguće čak i pri najnižem fonu. Zato je mikroampermetar priključen na red sa tinjalicom pošto je ovde pomenuta zavisnost znatno manja.

## Zaključak

S obzirom na izložene specifičnosti minijaturnog lovca zračenja, a naročito male potrošnje baterija i niske cene, ovaj jednostavni uredjaj može da nadje najširu primenu u organizaciji preventive i otklanjanja posledica akcidenata sa radioaktivnim zračenjima i delimično nadoknadi eventualni nedostatak dovoljnog broja preciznijih, ali zato skupljih i komplikovanijih instrumenata.


## Summary

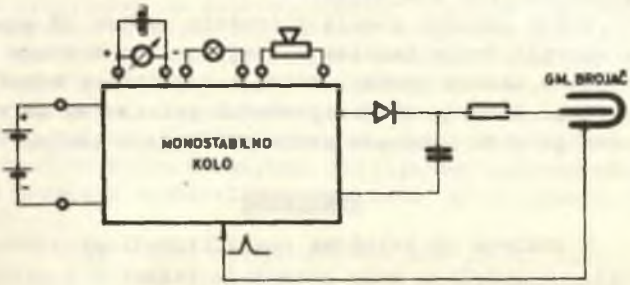
Miniature radiation detector

The paper describes a miniature instrument for the detection and indication of the basic types of radiation (beta, gamma) without the determination of their quantities. Owing to its basic characteristics the detector can be used for the personnel protection in accidents. Its main characteristics are: low price, picket size, minimum consumption-under normal conditions it operates continuously for several thousands of hours.

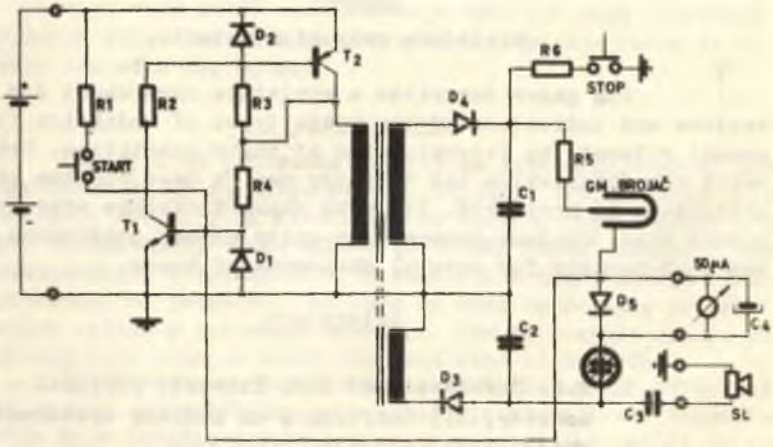

## Literatura


1. C.J. Borkowski and R.H. Dilwort: Personal - radiation monitor, III conference on nuclear electronics, Belgrade, 1961, 429-439.

2. J. Keller: A single-transistor GM monitor with a stabilised GM supply, III conference on nuclear electronics, Belgrade 1961, 497-502.


MONOSTABILNO
KOLO
GM BROJAČ

SL. 1


D2
T2
R1
R2
R3
R4
START
T1
D1
R6
STOP
D4
R5
C1
GM BROJAČ
50μA
D5
C4
C2
D3
C3
SL

SL. 2

# MERENJE FLUKSA I DOZA BRZIH NEUTRONA POMOĆU SUMPORNOG DETEKTORA

MIRIĆ I., VELIČKOVIĆ D.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

## Rezime

U radu je prikazan metod odredjivanja integralnog fluksa i doza brzih neutrona ($E_n$>2 MeV) pomoću sumpornog detektora koji ulazi u sastav akcidentalnog neutronskog dozimetra IBK.

Odredjeni su uslovi korišćenja detektora i postavljena je metoda merenja njegove aktivnosti za doze više i niže od 10 rem. Dobijeni rezultati su uporedjeni sa rezultatima merenja fluksa pomoću drugih aktivacionih detektora i sa sumpornim detektorom koji izradjuje i baždari laboratorija IAEA.

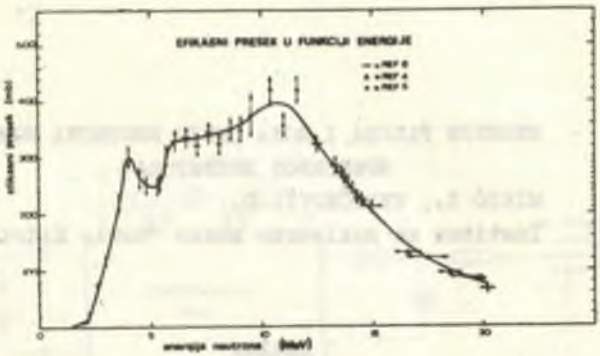
## Uvod

Na većim naklearnim postrojenjima postoji neprekidna potencijalna opasnost od akcidenata većih razmera u toku kojih pojedine osobe mogu da budu ozračene i vrlo visokim dozama zračenja Zbog toga se na takvim postrojenjima predvidja da osoblje nosi akcidentalni dozimetar, koji omogućava brzu selekciju ozračenih osoba i odredjivanje primljenih doza neutrona i gama zračenja.

Za odredjivanje neutronskih doza obično se koristi veći broj aktivacionih detektora u kojima se pod dejstvom neutrona stvara jedan ili više radioaktivnih izotopa. Na osnovu količine pojedinih radioizotopa u detektorima odredjuje se fluks i spektar neutrona, a zatim se transformacijom ovih veličina dobija vrednost doze.

Sumpor je jedan od prvih i u skopu akcidentalnog dozimetra najviše korišćenih aktivacionih detektora namenjenih za odredjivanje doza brzih neutrona, merenjem aktivnosti $P^{32}$ nastalog $S^{32}(n,p)P^{32}$ reakcijom; realni prag za ovu reakciju je 0,95 MeV, a kriva efikasnog preseka u funkciji energije ima oblik prikazan na slici 1.($P^{32}$ ima $T_{1/2}$=14,3 d. i $E_{\beta max}$=1,71 MeV)

Mada $S^{32}(n,p)P^{32}$ reakcija ne zadovoljava sve uslove koji se obično postavljaju u akcidentalnoj neutronskoj dozimetriji




Slika 1. Efikasni presek za $S^{32}(n,p)P^{32}$ reakciju u funkciji energije neutrona

($P^{32}$ je čist beta emiter sa relativno dugim poluživotom), ipak se često koristi zbog sledećeg:1. relativno prostim postupkom može da se dobije prirodni S visokog stepena čistoće, 2. prirodni S sadrži najviše $S^{32}$(95%), 3. $P^{32}$ ima jednostavnu, dobro ispitanu šemu raspada, 4. kriva efikasnog preseka u funkciji energije je dobronispitana, 5. detektori mogu da se izrade u različitim dimenzijama,a time da budu različitih osetljivosti na neutrone, jer se odvajanjem $P^{32}$ od S mogu napraviti beskonačno tanki izvori.

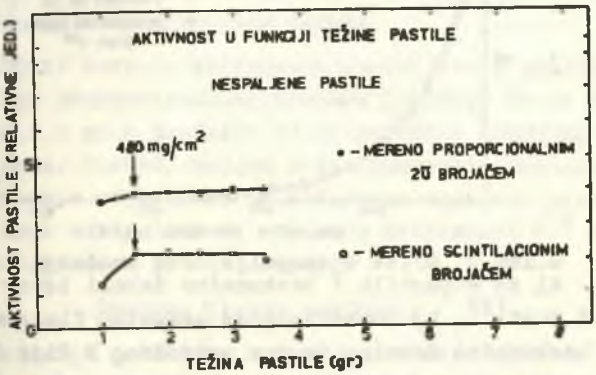
## Karakteristike sumpornih detektora

Sumporni detektori obično se prave u obliku pastila presovanjem ili topljenjem sumpornog cveta. Naše iskustvo je pokazalo da se, sa dozimetrijske tačke gledišta, pastile odličnog kvaliteta mogu napraviti ako se umesto sumpornog cveta presuje $\alpha$-sumpor pod pritiskom od 350 kp/cm$^2$ uz zagrevanje do oko 70°C. $\alpha$-sumpor može da se dobije po metodi koju je opisala Kovačević-Jovanović O.[1]. Izradjene pastile imaju specifičnu težinu 2,0 gr/cm$^3$. Ako se prave pastile prečnika 20 mm, navedenim načinom presovanja nisu mogle da budu izradjene pastile tanje od 0,3g/cm$^2$.

Prilikom odredjivanja dimenzija sumpornog detektora, moralo je da se vodi računa o sledećem: a.ozračeni S treba da predstavlja beskonačno debeli izvor $P^{32}$,jer se u tom slučaju postiže maksimalna osetljivost na neutrone i odredjivanje aktivnosti može da se vrši po Hurst-ovoj metodi[2]; b. zbog prisustva detektora depresija neutronskog fluksa ne sme da bude veća od 1%.

Merenjem aktivnosti u funkciji debljine (Sl.2), zaklju-

čeno je da detektori deblji od 0,48gr/cm$^2$ zadovoljavaju uslov a.; računski je dobijeno i eksperimentalno provereno po metodi koju je opisao B.H.Parker(3) da je uslov b. zadovoljen ako je debljina detektora manja od 1,3gr/cm$^2$. Naši eksperimentalni rezultati su pokazali da dobre osobine imaju detektori čiji je prečnik 20mm, a debljina oko 0,6gr/cm$^2$.



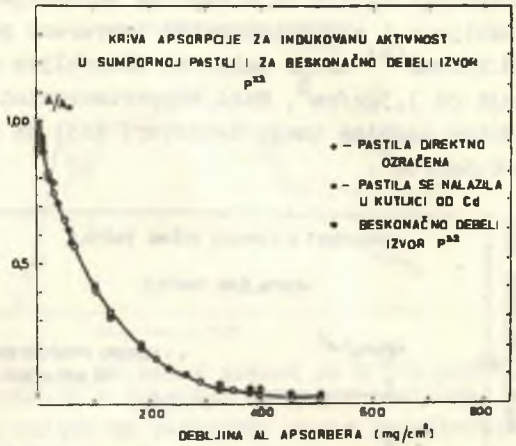

Slika 2. Aktivnost S-pastila u funkciji težine

## Merenje aktivnosti sumpornih detektora

Ako se sumpor ozrači fisionim spektrom neutrona, kao rezultat interakcije može da se dobije veći broj radioaktivnih jezgara, od kojih samo $S^{35}$ i $P^{33}$ imaju relativno dug poluživot (86,7 d i 25 d, respektivno). Pošto uticaj aktivnosti ovih radioizotopa ne može da se eliminiše odležavanjem sumpora posle ozračivanja, eksperimentalno je odredjen njihov doprinos totalnoj aktivnosti S-detektora.

Eksperimenti su obuhvatili praćenje radioaktivnog raspada ozračenih pastila i uporedjivanje apsorpcionih krivih za ozračenu S-pastilu sa krivom za beskonačno debeli izvor $P^{32}$. Rezultati su pokazali da, 24h posle ozračivanja, radioaktivni raspad i oblik apsorpcione krive S-pastila ozračenih na različitim mestima reaktora RA u Vinči, odgovaraju podacima dobijenim za beskonačno debeli izvor $P^{32}$ (sl.3). To znači da se u uslovima koji realno postoje na ovom reaktoru, direktnim merenjem pastile mogu dobiti dobri podaci o količini $P^{32}$ pod uslovom da se sa merenjem počne najranije 24h posle ozračivanja.

Efikasnost detekcije brojačkih uredjaja za indukovanu aktivnost $P^{32}$ u S-detektorima odredjena je po metodi koju je




Slika 3. Kriva apsorpcije beta zračenja u Al za S-pastilu i beskonačno debeli izvor $P^{32}$

opisao G.S.Hust(2), tj. ozračivanjem poznatim fluksom termalnih neutrona beskonačno debelog izvora prirodnog P čije dimenzije odgovaraju pastilama sumpora. Eksperimentalni rezultati su pokazali da je, u slučaju kada se merenje aktivnosti vrši u 2 pi geometriji pomoću proporcionalnog brojača, efikasnost detekcije 9,30±0,46%.

Dobijene vrednosti za efikasnost detekcije proverene su komparacijom sa rezultatima koje preporučuje IAEA na sledeći način. Laboratory Seiberdorf (IAEA) isporučuje neozračene S-pastile zajedno sa pastilom poznate aktivnosti, koja je namenjena za standardizaciju brojačkih uredjaja. Posle izvršene standardizacije, S-pastile IAEA su ozračene zajedno sa našim, istim fluksom fisionih neutrona. Koristeći odgovarajuće vrednosti za efikasnost detekcije, odredjene su specifične aktivnosti za sve pastile i dobijeno da su razlike manje od 4%, što se može smatrati potpuno zadovoljavajućim rezultatom, s obzirom da se pastile IAEA razlikuju od naših po dimenzijama i po hemijskom sastavu.

Povećavanje efikasnosti detekcije brojačkog uredjaja na $P^{32}$ može se postići prethodnim odvajanjem $P^{32}$ od S-nosača. Ovo se postiže rastvaranjem pastile u $CS_2$ ili paljenjem pri čemu odlazi $SO_2$, a ostaje beskonačno tanak sloj $P^{32}$. U akcidentalnoj dozimetriji češće se koristi drugi postupak. Njega su postavili P.W. Reinhardt i F.J.Davis(7), a modifikovali D.C.Santry i J.P.Butler(4) i B.H.Parker(3).

Mi smo pokušali da primenimo sve tri modifikacije, ali

smo dobijali velike gubitke $P^{32}$ i nereproducibilne rezultate. Dobri rezultati su dobijeni kad je S-pastila najpre zagrejana do 270-280°C, zatim je sumpor zapaljen i uz povremeno razrušavanje skrame koja se formira na površini tečnosti ostavljen da potpuno izgori. Od oslobodjene toplote gorenja, temperatura rastopljenog sumpora se povećava do oko 370°C. Ova metoda daje dobre rezultate ako se topljenje i paljenje sumpora vrši u potpuno čistim Alčančićima debljine oko 6 mg/cm$^2$ od kojih se posle paljenja mogu da naprave ravne podloge aktivnog uzorka.

Rezultati merenja aktivnosti nespaljene i spaljene pastile pomoću 2-pi proporcionalnog brojača pokazuju da se paljenjem pastile težine 2,0 gr i prečnika 20 mm povećava izmerene aktivnost $P^{32}$ 5,37 puta. Uporedjivanjem ovih izmerenih aktivnosti dobija se da je srednja efikasnost detektije za spaljenu pastilu 50±5%, pa se može zaključiti da gubici u aktivnosti $P^{32}$ zbog paljenja padaju u granicu greške metode.

## Procena fluksa neutrona

Aktiviranje detektora u fluksu neutrona vrši se po zakonu

$$k = \int_0^\infty \sigma(E) f(E) dE$$

gde je f(E)-diferencijalni fluks neutrona, $\sigma$(E)-diferencijalni efikasni presek za korišćenu reakciju, k-specifična aktivnost detektora. U akcidentalnoj neutronskoj dozimetriji potrebno je odrediti $\int_0^\infty f(E)dE$ merenjem aktivnosti detektora. Pošto je direktno odredjivanje ove veličine moguće samo u slučaju termalnih i epitermalnih neutrona, za spektar brzih neutrona predložen je veći broj metoda koje daju aproksimativno rešenje. U često korišćene spada metoda integralnog fluksa (integralna metoda). U ovoj metodi se realna kriva efikasnog preseka aproksimira stepenastom funkcijom ($\sigma_{ef}$) koja polazi od energije efektivnog praga ($E_{ef}$), pri čemu se vodi računa da je zadovoljena relacija

$$\int_0^\infty \sigma(E) f(E) dE = \sigma_{ef} \int_{E_{ef}}^\infty f(E) dE = \sigma_{ef} F_{ef}.$$

Vrednost efektivnog efikasnog preseka zavisi od odabrane vrednosti za efektivni prag reakcije i obično se odredjuje za fisioni spektar neutrona.

Integralnom metodom se dobija vrednost integralnog fluksa iznad energije praga ($F_{ef}$). Obično se uzima da je efektivni prag za $S^{32}(n,p)P^{32}$ reakciju oko 2,9 MeV i da mu odgovara

$\sigma_{ef}$=300mb. Ako se prihvate ove vrednosti za $E_{ef}$ i $\sigma_{ef}$ za naše S-detektore, vodeći računa o efikasnosti detekcije i fonu 2-pi proporcionalnog brojača, dobija se da se nespaljenim pastilama može meriti integralni fluks neutrona veći od oko $1,1\cdot10^{8}$ n/cm$^2$; spaljenim pastilama mogu da se mere integralni fluksevi veći od oko $2\cdot10^{7}$ n/cm$^2$. Ovim vrednostima, prema preporukama ICRP, odgovaraju doze od oko 4,3 rem i 0,8 rem, respektivno.

Procena spektra i fluksa u definisanom fisionom spektru obično se vrši pomoću niza aktivacionih detektora koji imaju različite i relativno ravnomerno rasporedjene efektivne pragove.

Da bismo ispitali pokazivanje sumpora u odnosu na druge aktivacione detektore, integralnom metodom smo pokušali da izvršimo procenu spektra i fluksa neutrona koji se dobija na izlazu horizontalnog kanala E reaktora RA u Vinči. Pri tome smo, sem $S^{32}(n,p)P^{32}$, upotrebili i $In^{115}(n,n')In^{115m}$, $Ni^{58}(n,p)Co^{58}$, $Fe^{54}(n,p)Mn^{54}$, $Mg^{24}(n,p)Na^{24}$ i $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$ reakcije. Za uspostavljanje veze izmedju aktivnosti detektora i integralnog fluksa, za $\sigma_{ef}$ i $E_{ef}$ smo koristili vrednosti prikazane u tabeli 1.

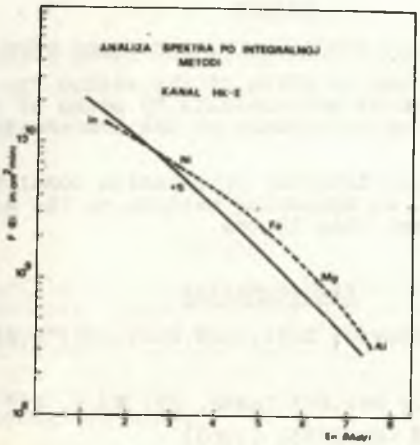
TAB.1

Neke karakteristike odabranih aktivacionih detektora

| Element | Reakcija | $\sigma_{ef}$(mb) | $E_{ef}$(MeV) |
|---|---|---|---|
| In | $In^{115}(n,n')In^{115m}$ | 250 | 1,5 |
| S | $S^{32}(n,p)P^{32}$ | 300 | 2,9 |
| Ni | $Ni^{58}(n,p)Co^{58}$ | 550 | 3,1 |
| Fe | $Fe^{54}(n,p)Mn^{54}$ | 1160 | 5,1 |
| Mg | $Mg^{24}(n,p)Na^{24}$ | 48 | 6,3 |
| Al | $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$ | 70 | 7,5 |

Dobijeni rezultati prikazani su grafički na slici 4; punom linijom izvučena kriva predstavlja integralni fluks iznad energije E za slučaj čistog fisionog spektra, a isprekidanom linijom integralni fluks koji bi, na osnovu eksperimentalnih rezultata, odgovarao realnom spektru neutrona.

Kao što se sa grafika vidi, dobijena vrednost integralnog fluksa pomoću S-detektora znatno je niža od vrednosti dobijenih drugim detektorima. Ako bi se interpolacijom podesilo slaganje rezultata, korekcije bi morale da budu i do 20%. Ova razlika je sigurno veća od greške merenja, jer je aktivnost svih




Slika 4. Analiza spektra neutrona iz HK-E po integralnoj metodi

detektora proverena pomoću odgovarajućeg standarda. Postojeći literaturni podaci za $\sigma_{ef}$ i $E_{ef}$ takodje ne omogućavaju bolje usaglašavanje rezultata. Dobijeno odstupanje je u saglasnosti sa podacima J.Moteff i E.R.Beever[8] i R.Rydin[9], a moglo bi da se objasni pretpostavkom da,u energetskoj oblasti na koju je S-detektor najosetljiviji, postoji znatna deformacija neutronskog spektra.

## Zaključak

Ispitane karakteristike sumpora ukazuju da je $S^{32}(n,p)P^{32}$ reakcija vrlo podesna za primenu u akcidentalnoj dozimetriji jer

- mogu da se izrade detektori dobrih kvaliteta
- količina $P^{32}$ može da se odredi relativno jednostavnim postupkom
- detektorom mogu da se mere doze neutrona veće od 1 rem, pri čemu se doze veće od 10 rem mogu odrediti direktnim merenjem pastila, dok je za niže doze potrebno prethodno spaljivanje.

I pored toga što mnoge laboratorije koriste S-detektore za odredjivanje akcidentalnih doza neutrona, smatramo da dobijena odstupanja u proceni integralnog fluksa ukazuju da je potrebno izvršiti dopunska ispitivanja kojima bi se dobili podaci o uzroku odstupanja.

## Resume

DETERMINATION OF FAST NEUTRON FLUX AND DOSES WITH SULPHUR

A description is given of the method for fast neutron integral flux and doses measurements by means of sulphur detector, the latter being an element of the IBK accidental neutron dosimeter.

The sulphur detector application conditions have been established as well as measuring methods of its activity for doses higher or lower than 10 rem.


## Bibliografija


1. O.Kovačević-Jovanović; Bull.Inst.Nucl.Sci."B.Kidrič" 10, 51 (1960)
2. G.S.Hurst et al.; Rev.Sci.Instr. 27, No.3, 153 (1956)
3. B.H.Parker; AERE -R- 3443, (1960)
4. C.D. Santry, J.P.Butler;Canad.J.Chem.; 41, 123 (1963)
5. L.Allen et al.;Phys.-Rev. 107, 1363 (1957)
6. M.D.Goldberg et al.; BNL - 325, 2-nd ed., No.2 (1964)
7. F.W.Reinhardt, F.J.Davis; Health Physics 1, 169 (1958)
8. J.Moteff, E.R.Beever; Selected Topics Radiation Dosimetry, 383, (1961), IAEA, Vienna
9. R.A.Rydin, N.C.Rasmussen, G.L.Brownell; AFCRL -64- 404 (1964)

# PRIKAZ RÖNTGEN - GAMMA - DOSIMETER-a VA-J-15A

Križanović D. i Tomašević M. dipl. fizičari
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS

## Rezime

U radu je dat pregled karakteristika instrumenta VA-J-15A, mogućnost njegove primene pri merenju doza zračenja kao i neka zapažanja do kojih se došlo u toku rutinskih merenja kod medicinskih rendgen aparata.

Posebna pažnja posvećena je korelaciji vrednosti koje su dobijene pri merenju doza zračenja instrumentom VA-J-15A i komorama Victoreen.

## Uvod

Sve veće korišćenje izvora jonizujućih zračenja u industriji i medicini dovelo je do naglog razvoja aparata za njihovo merenje i detekciju.

Od velikog broja ovih aparata,koji se danas koriste u dozimetriji jonizujućih zračenja,izdvojili smo za prikaz Röntgen Gamma Dosimeter VA-J-15A proizvodnje VEB Vakutronik Dresden.

## Karakteristike aparata

Röntgen Gamma Dosimeter VA-J-15A je prenosni,potpuno tranzistorizovan instrument.Namenjen je za merenje brzine doza zračenja i integralne doze zračenja X,gama i beta zračenja u energetskom opsegu od 20 KeV do 2MeV.

Jonizaciona komora prečnika 1oo mm i dužine 21o mm nije sastavni deo instrumenta već se sa njim priključuje ili direktno ili preko produžnog kabla čija maksimalna dužina može iznositi do 1oo m.Površinska gustina bočnog zida komore iznosi oko 2oo mg/cm$^2$ a čeonog oko 12 mg/cm$^2$.U njoj je ugradjen i izvor $Sr^{9o}$/ $Y^{9o}$ od oko 5 Ci,koji služi za kalibraciju instrumenta dok su korekcioni faktori za svaki instrument

posebno uneti u garantni list instrumenta.

Kao izvor električne energije koriste se 6 suvih elemenata od 1,5V ili 6 NC elemenata od 1,2V.Ovo punjenje obezbedjuje rad instrumenta u trajanju od oko 200 časova.

Posebna karakteristika ovog instrumenta je široki merni opseg,koji za merenje integralne doze iznosi:

1, 3, 1o, 3o, 1oo, i 3oomR

a za merenje brzine doze zračenja:

1, 3, 1o, 3o, 1oo, i 3oomR/h

1, 3, 1o, 3o, 1oo, i 3ooR/h

Vreme uspostavljanja odklona instrumenta prema proizvodjaču iznosi:

manje od 40s za opseg 1mR/h

manje od 20s za opseg 3mR/h

manje od 8s za ostale merne opsege.

Rutinski rad na terenu zahteva merenje i integralne doze i brzine doze zračenja.Merenje integralne doze zračenja isključivo je do sada obavljano sa Victoreen jonizacionim komorama a odredjivanje brzine doza zračenja vršeno je sa drugim instrumentima.Instrument VA-J-15A omogućava da se sa njim meri ne samo brzina doze već i integralna vrednost iste.Ovo nas je navelo da izvršimo uporedna merenja za različite uslove rada i za različite opsege instrumenta,Victoreen jonizacionim komorama i instrumentom VA-J-15A.

## Merenje integralne doze

Merenje integralne doze zračenja obavljeno je za X zračenje pri 65Kv i 3mA a kao izvor zračenja korišćen je rendgen aparat EI NIŠ MORAVA.

Rezultati ovih uporednih merenja prikazani su na grafiku br.1.Vidimo da su vrednosti integralne doze,koju je pokazao VA-J-15A,u celom mernom opsegu više za oko 16% od vrednosti koje su dobijene Victoreen jonizacionim komorama.

Drugi deo merenja obavljen je za stalnu struju od 3mA a menjan je visoki napon od 45 - 85KV.Rezultati merenja

koji su prikazani na grafiku br.2 pokazuju da su i u ovom slučaju vrednosti dobijene instrumentom VA-J-15A više za 16% od vrednosti dobijenih Victoreen jonizacionim komorama.

Merenje brzine doze zračenja

Merenje brzine doze zračenja obavljeno je samo za jedan merni opseg instrumenta i to za R/h za različite vrednosti visokog napona od 45 - 85KV a za stalnu struju od 3mA.Radi upoređivanja sa vrednostima izmerenim jonizacionim komorama izmerene vrednosti brzine doze zračenja instrumentom VA-J-15A preračunate su na vreme merenja, koje je iznosilo 1 minut.

Rezultati merenja su prikazani na grafiku br.3 iz koga se vidi da u ovom mernom opsegu instrument VA-J-15A daje vrednosti koje su za 26 - 30% veće od vrednosti dobijenih Victoreen jonizacionim komorama.

Vreme uspostavljanja

Vreme uspostavljanja određivano je za više mernih opsega ali je u grafiku br.4 prikazano samo za tri merna opsega instrumenta i to za 3, 30, 300mR/h.Iz priloženog grafika se vidi da je instrument u sva tri posmatrana slučaja pun odklon postigao tek nakon 8 sekunde.Tako na primer ako je instrument bio izložen zračenju samo dve sekunde registrovana vrednost brzine doze zračenja predstavlja samo oko 50% stvarne vrednosti.To znači da merenje brzina doza zračenja,koja traju kraće od 8 sekundi povlače u rezultatu znatnu grešku.

Zaključak

Instrument je vrlo pogodan za rutinski rad jer ima nekoliko značajnih prednosti u odnosu na ostale aparate ove vrste a to su:

Veliki merni opseg merenja brzine doze zračenja i

Mogućnost merenja integralne doze.

Pre svega treba naglasiti da drugi instrumenti ovakve vrste nisu predviđeni za merenje integralne doze već samo za određivanje brzine doze zračenja.Instrument VA-J-15A nažalost ima mali opseg merenja integralne doze (do 300mR) ali u ovom

opsegu on je vrlo praktičan,i ne samo zato što je odstupanje relativno malo (oko 16%) od stvarnih vrednosti već i zato što je tako konstruisan da zadržava izmerenu vrednost na svim opsezima.

U opsegu mR/h instrument daje dosta velike mogućnosti za rutinski rad i relativno malo odstupanje od stvarnih vrednosti (16%).To ne možemo reći za opseg merenja R/h.

Postoji takodje i ograničenje primene ovog instrumenta pri merenju doza,ako je vreme ekspozicije kraće od 8 sekundi ali i drugi slični instrumenti takodje imaju svoju inerciju pri pokazivanju vrednosti.

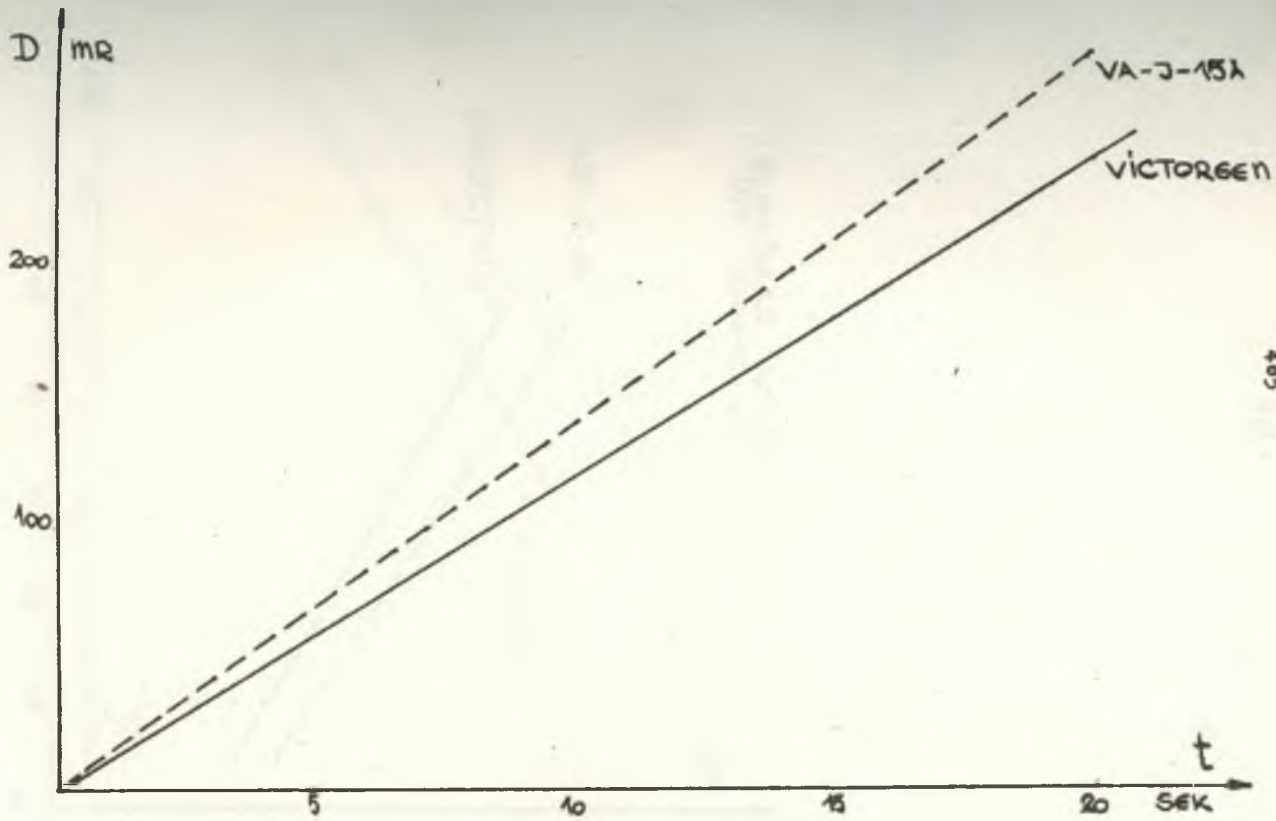
PRESENTING THE X-RAY GAMMA-DOZIMETER VA-J-15A

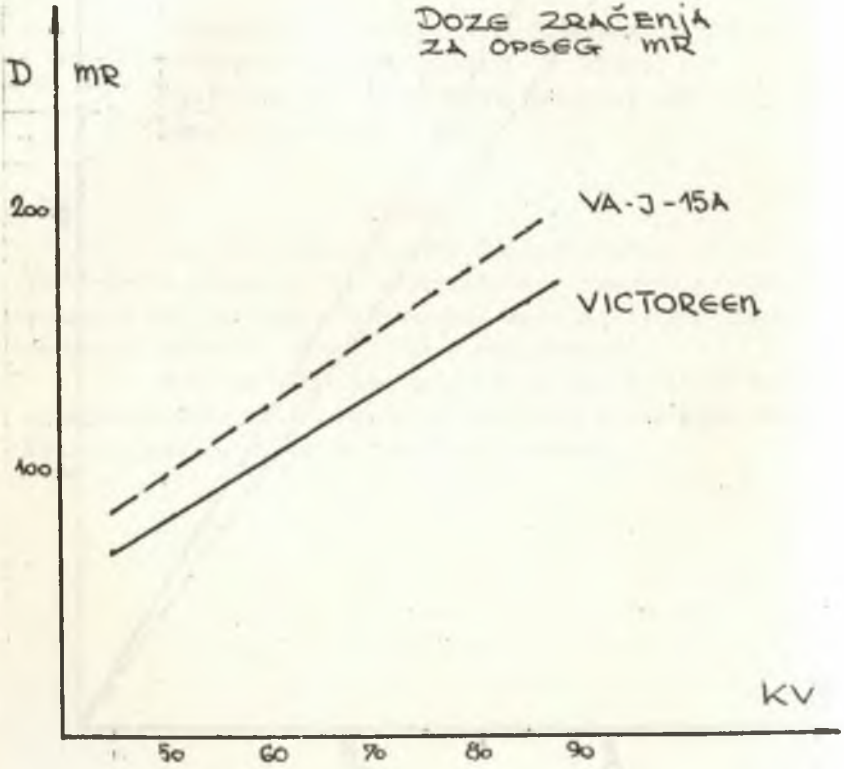
Križanović D. and Tomašević M. Phys.
Institute for occupational medicine and radiological safety SRS.

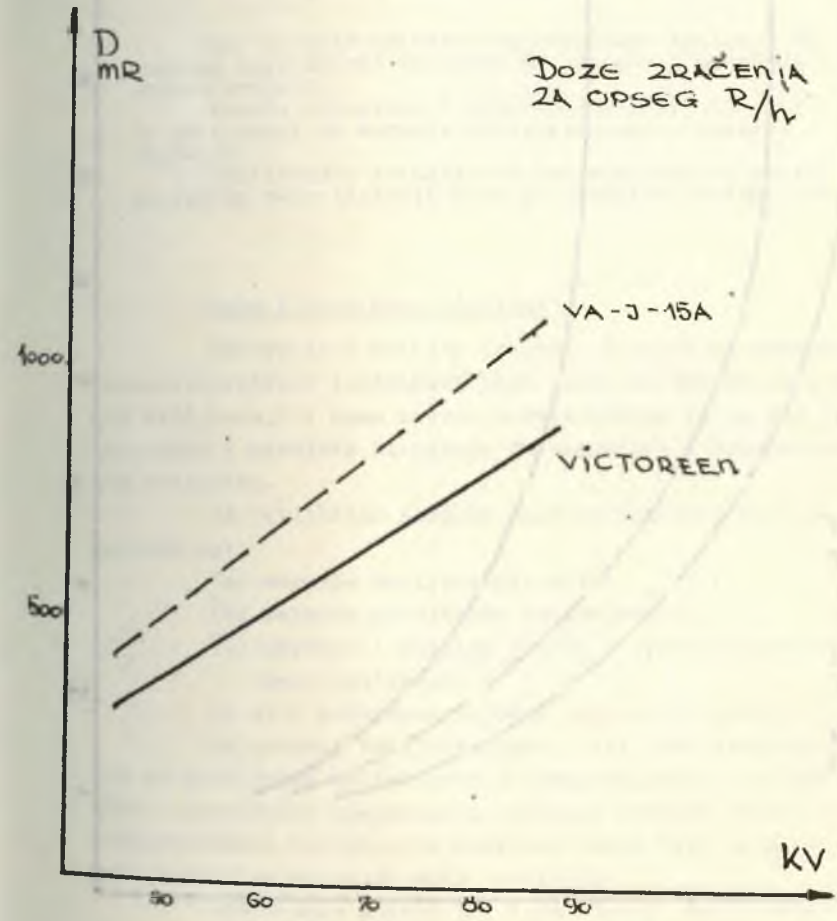
Summary

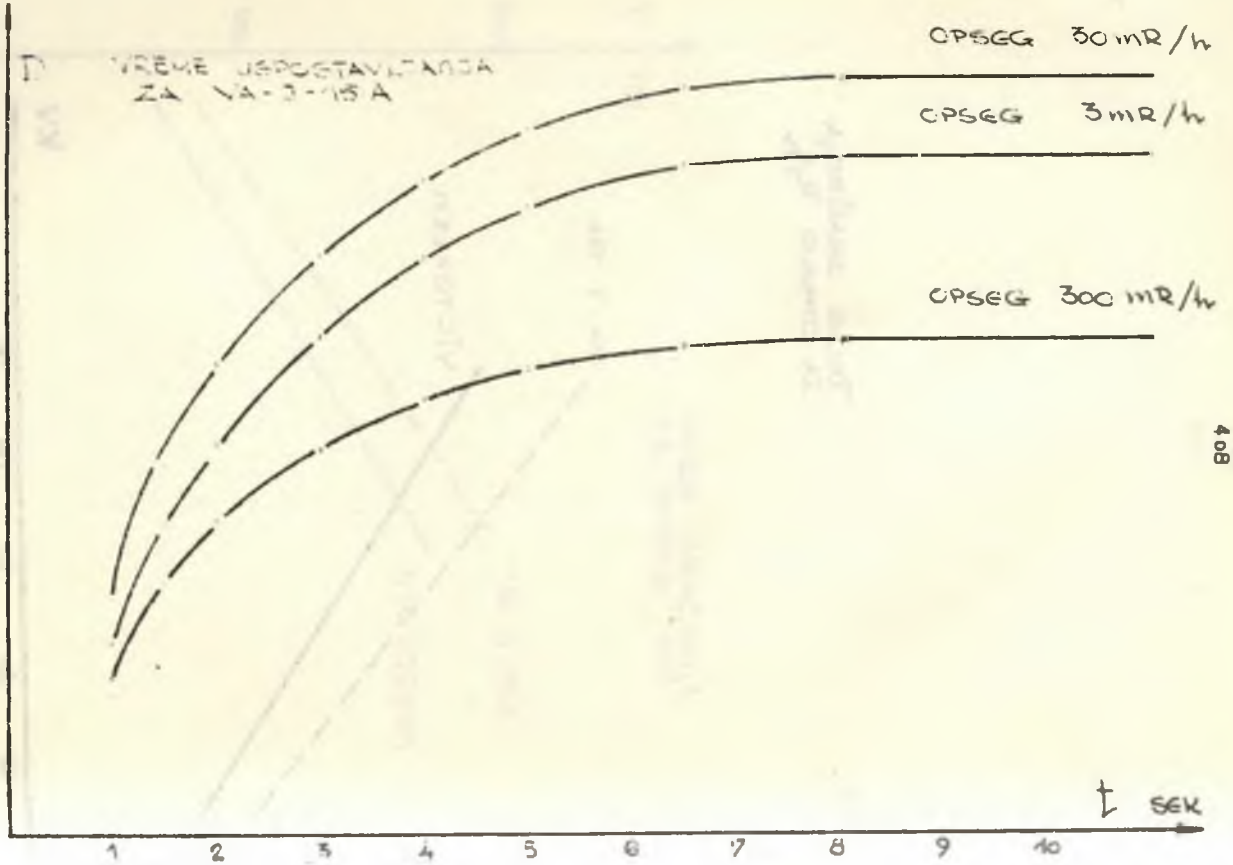
The paper presents the characteristics of the device VA-J-15A,scope for its application in measuring radiation dozes,as well as some observations made during routine measurements with the medical X-Ray apparatuses.

Special attention is given to the ratio of values obtained during measurements of radiation dozes with the VA-J-15A,device and with Victoreen chambers.


D
mR
200
100
VA-J-15A
VICTOREEN
t
5
10
15
20
SEK


DOZE ZRAČENJA
ZA OPSEG mR
D mR
200
100
VA-J-15A
VICTOREEN
KV
50
60
70
80
90


D
mR
DOZE ZRAČENJA
ZA OPSEG R/h
VA-J-15A
VICTOREEN
1000
500
KV
50
60
70
80
90


VREME USPOSTAVLJANJA
ZA VA-3-115 A
OPSEG 30 mR/h
OPSEG 3 mR/h
OPSEG 300 mR/h
t SEK
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

# UNIVERZALNI MONITOR ZRAČENJA

Muždeka S.,Damljanović D.,Ristić Dj.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

Dat je opis univerzalnog monitora zračenja sa sondama koje sadrže halogene GM brojače i proporcionalne brojače.

Pomoću dijagrama i kalibracionih krivih dat je opis sondi za merenje alfa,beta/gama i mekog X zračenja.

Korišćenjem strujnih GM brojača mogu se meriti jačine ekspozicionih doza do nekoliko stotina R/h.

## Opis i blok šema monitora

Univerzalni monitor zračenja KOMO-T3 je prenosni tranzistorizirani instrument koji služi za detekciju i merenje alfa,beta,X i gama zračenja.Prilagodjen je za rad sa impulsnim i strujnim halogenim GM brojačima i proporcionalnim brojačima.

Sa različitim sondama monitor zračenja može da se koristi za:

(a) merenje radijacionih polja,

(b) merenje površinske kontaminacije,

(c) merenje i analizu tečnih i čvrstih uzoraka na beta aktivnost.

Na sl.1 prikazana je blok šema uredjaja KOMO-T3.

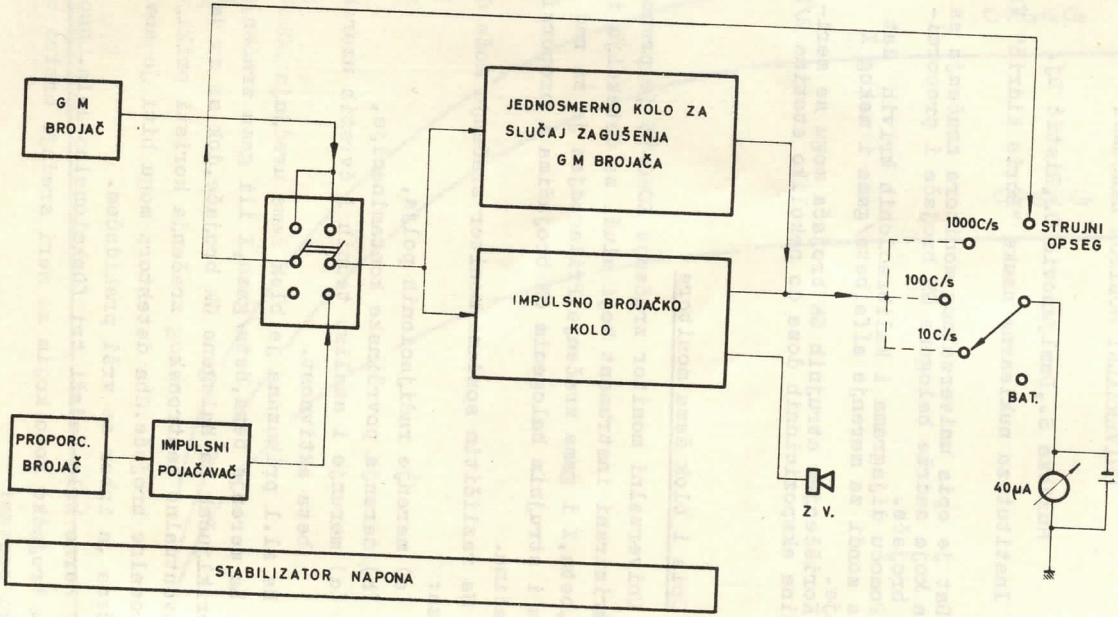
Za merenja beta,beta/gama,X ili gama zračenja koristi se priključak za halogene GM brojače,dok se za detekciju alfa i eventualno neutronskog zračenja koristi priključak za proporcionalne brojače.Oba detektora mogu biti jednovremeno priključena ,a izbor se vrši prekidačem.

Merno kolo sadrži tri funkcionalna dela. Osnovu čini impulsno brojačko kolo kojim se meri srednja brzina brojanja preko tri opsega:

0 - 10 imp/sek

0 - 100 imp/sek

0 - 1000 imp/sek.




SL. 1

BLOK ŠEMA KOMO – T 3

Da bi se sprečilo padanje mernog instrumenta na nulu u slučaju zagušenja impulsnih GM brojača u jakim poljima zračenja ugradjeno je specijalno zaštitno kolo,koje stupa u dejstvo i održava merni instrument na maksimalnom otklonu bez obzira na jačinu radijacionog polja.

U slučaju merenja radijacionih polja takve jačine gde GM brojači prestaju da rade kao impulsni detektori predvidjen je strujni opseg na kome se merenje zračenja vrši direktnim merenjem jednosmerne struje koju daje detektor u polju zračenja.

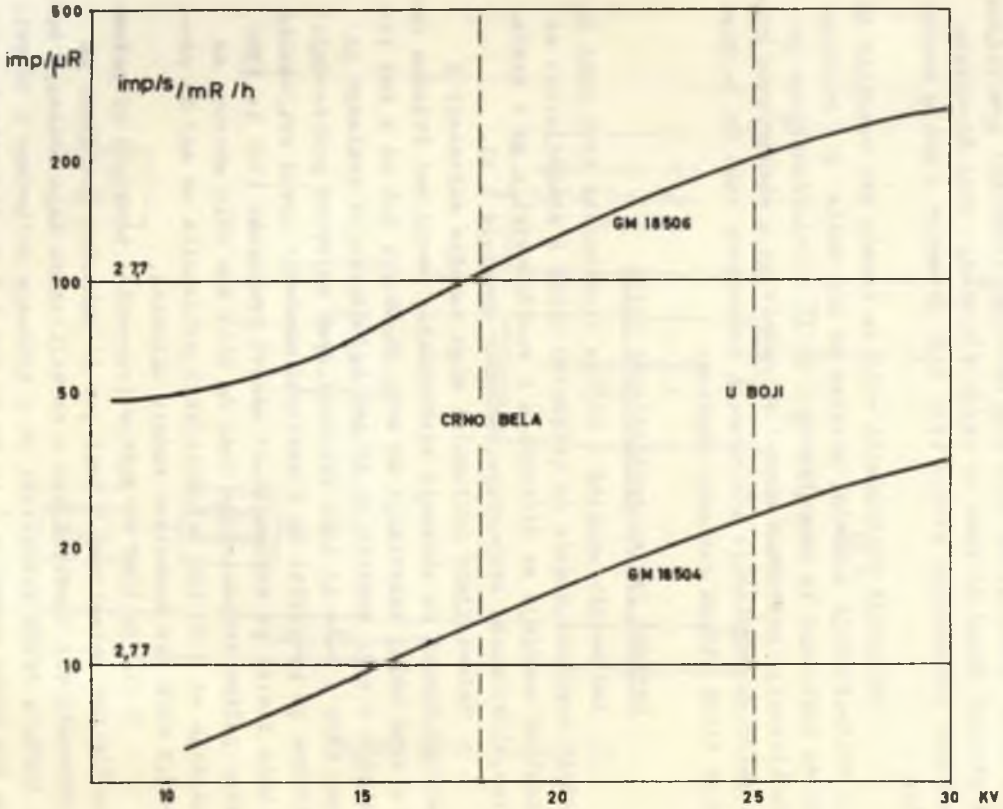
Napajanje instrumenta vrši se pomoću dve baterije od 1,5 volta.Postoji i mrežni adapter za 220 volta a i priključak za napajanje iz akumulatora 6 do 12 volta.Primenjena je stabilizacija potrebnih napona za detektore i elektronska kola na principu regulacije učestanosti konvertora tako da je omogućen visok stepen korisnog dejstva.

Merenje jačine radijacionih polja

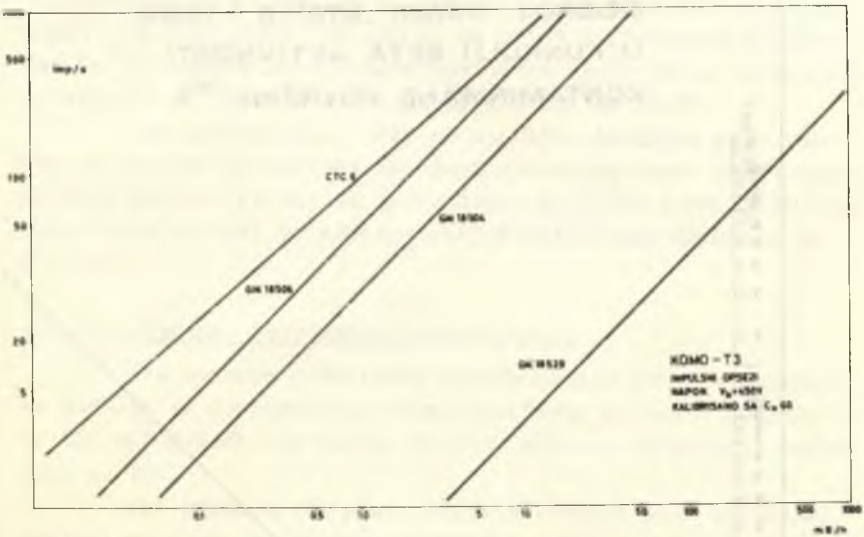
Kod mnogih aparata u kojima elektronske cevi rade sa visokim naponima,moguće je prisustvo mekih X zračenja.Ovo se odnosi na uredjaje za difrakciju i spektrometriju sa X zračenjima,elektronske mikroskope,radarske uredjaje i sl.

Televizijski prijemnici mogu takodje emitovati X zračenja.Naponi za ubrzanje elektronskog snopa kod katodne cevi u crno beloj televiziji su reda 18 kV pri o,4 mA a kod televizije u boji dostižu 25 kV pri 1,2 mA.Ovo X- zračenje je veoma meko i može se lako oslabiti.Ipak za vreme proizvodnje potrebno je proveriti da itenziteti zračenja izvan prijemnika ne budu štetni po korisnike.Na osnovu preporuka ICRP iz 1960 godine jačina ekspozicione doze na bilo kom delu aparata na udaljenju od 5 cm kod televizijskih prijemnika ne sme da predje 0,5 mR/h pri normalnim radnim uslovima.

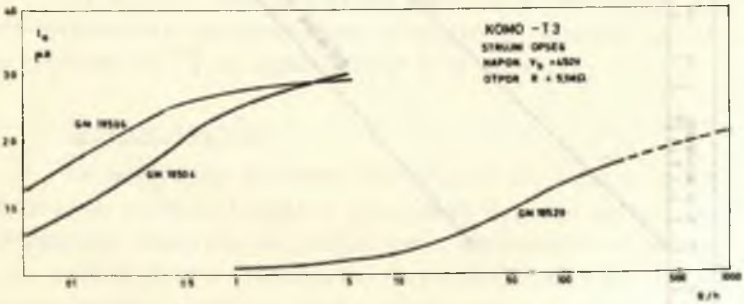
U SAD je 1966 na zahtev inspekcije povučeno od potrošača 110.000 televizora u boji jer je naknadno utvrdjeno da elektronska cev upotrebljena u stabilizatoru daje zračenje reda 600 mR/h.Ne treba zaboraviti da X zračenje emitovano u televizoru ima niske energije ( 15 do 25 keV ) i da za kontrolu aparata treba imati detektore sa tankim prozorom kalibrisane na nižim energijama.Na sl.2 data je kalibraciona kriva za sonde


500
imp/μR
imp/s/mR/h
200
100
50
20
10
2,77
2,77
GM 18506
GM 18504
CRNO BELA
U BOJI
10
15
20
25
30
KV

SL. 2

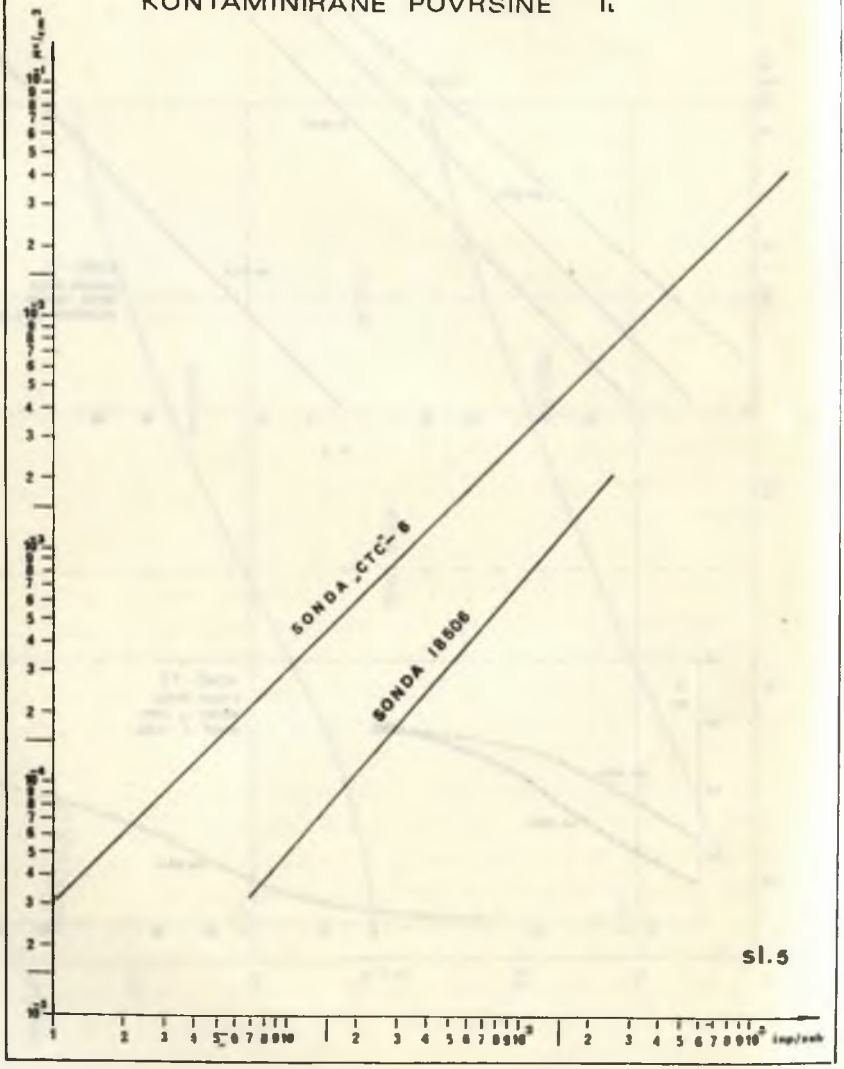



SL. 3




SL. 4

ODBROJ SONDI „CTC"– 6 i 18506
U FUNKCIJI BETA AKTIVNOSTI
KONTAMINIRANE POVRŠINE $^{204}Tl$



GM 18506 i GM 18504.

Za procenu jačine radijacionih polja mogu se koristiti halogeni GM brojači. Na sl.3 date su kalibracione krive za sonde CTC-6, GM 18504, GM 18506, GM 18529 kalibrisane sa izvorom $Co^{60}$. Maksimalna linearna zavisnost kreće se za te brojače od reda 10 do 50 mR/h do nekoliko R/h kod GM 18529.

Za jačine polja veće od nekoliko desetina mR/h, koriste se isti GM brojači na strujnom opsegu. Za svaku sondu date su kalibracione krive, na sl.4. Sonda GM 18529 u strujnom radu može da se koristi za merenje jačine polja gama zračenja do 2000 R/h.

## Merenje površinske kontaminacije

Za merenje površinske kontaminacije sa alfa emiterima koristi se proporcinalni brojač. Aktivna površina brojača je 122 $cm^2$ a debljina folije je 6,35 mikrona. Efikasnost detekcije je 16%.

Pri merenjima kontaminacije sa beta i gama emiterima koristi se sonda sa GM brojacem CTC-6. Debljina zida brojača je 40 - 50 $mg/cm^2$. Pokretljiv zastor na metalnom kućištu služi za selekciju beta emitera.

Sonda sa brojačem GM 18506 služi za detekciju i merenje beta zračenja nižih energija. Debljina prozora je 2,5 do 3,5 $mg/cm^2$ a koristan prečnik prozora 27,8 mm.

Na slici 5 date su krive koje daju vezu broja imp/sek i beta aktivnosti kontaminirane površine u $\mu Ci/cm^2$, kalibrisano sa izvorom $Tl^{204}$, za sonde CTC-6 i GM 18506.

## Merenje uzoraka

Uz određene dodatke univerzalni monitor se može koristiti za merenje tečnih i homogenih čvrstih uzoraka u akcidentalnim uslovima na ukupnu beta aktivnost. Pri ovome mogu se meriti uzorci : vode, zemlje, rastinja, poljoprivrednih prehrambenih artikala, hrane, stočne hrane, bioloških uzoraka, vazduha, padavina i drugih. Napravljeni su i propisi za pripremu i merenje uzoraka. Postupci za merenje radioaktivnosti uzoraka su prosti, jednostavni i brzi.

Za ova merenja koristi se sonda GM 18506 koja se nalazi u posebnom kućištu. Za ova merenja koristi se pro-

jač GM 18536 koji ima niži fon i debljinu prozora 1,5 do 2 mg/cm$^2$.

Za kvantitativno odredjivanje beta aktivnosti koristi se metod apsolutnih merenja uzoraka sa debelim slojem ( 10 mm ).Specifična aktivnost uzoraka izražava se u Ci/kg ili u Ci/l za tečne uzorke.


Summary

MULTIPROBE RADIATION MONITOR

A radiation monitor with probes containing halogenious GM and proportional counters is described.

Probes for the measurement of alpha,beta/gama and soft X radiations are described using diagrams and calibration curves.

Current GM tubes can be used for the measurement of exposure rates up to several hundreds of R/h.

# KONTINUALNO MERENJE RADONA

HAJDUKOVIĆ D.

Institut za medicinu rada i radiološku
zaštitu SRS "Dr.Drag.Karajović",Beograd

Rezime:Metoda je bila primenjena kod inhalacije radonom eksperimentalnih životinja .Ostvaren je protok atmosferskog vazduha bogatog radonom kroz stakleni balon od 0,5 lit sa unutrašnje strane premazan cink sulfidom a merenje je vršeno s alfa sondom sa fotomultiplikatorom i brojačkom jedinicom. Efikasnost merenja 60%.

Cilj ovog rada je bio kontinualno merenje koncentracija radona u inhalacionoj komori sa eksperimentalnim životinjama -pacovima u Niškoj Banji gde je korišćen prirodni izvor radona koji se nalazi u jamama , a ostvaren je u sklopu timskog eksperimentalnog rada (1) koji se obavlja u našem institutu.

Atmosferski vazduh obogaćen radonom dovodi se pumpama iz svog izvorišta ,provodi se kroz filtarske ćelije od aktivnog uglja,zatim kroz natrijum hidroksid i kroz vodenu zavesu i uvodi u inhalacionu komoru sa eksperimentalnim životinjama . Komora ima zapreminu oko 1 $m^3$ , a u njoj su postignuti normalni životni uslovi i stalno se kontroliše temperatura ,vlažnost,pritisak i protok vazduha-radona.

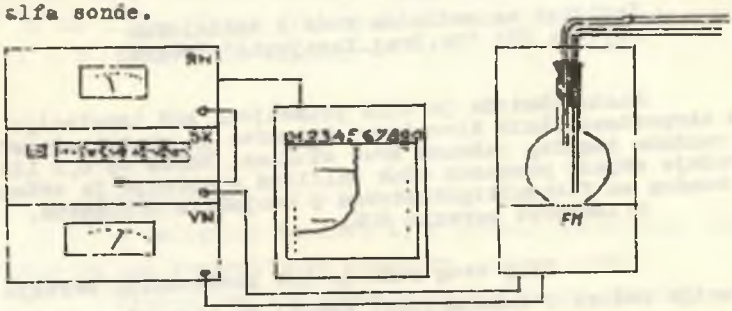
Sa izlaza iz inhalacione komore ,vakuum pumpom uzima se stalan uzorak vazduha sa radonom i dovodi do detektora i mernog uredjaja.

Kontinualno merenje radona ostvareno je protokom kroz scintilacioni 0,5 lit stakleni balon koji je sa unutrašnje strane premazan cink sulfidom .Na otvoru balona postavljen je gumeni zapušač kroz koji prolaze dve staklene cevčice koje služe za dovod i odvod radona .

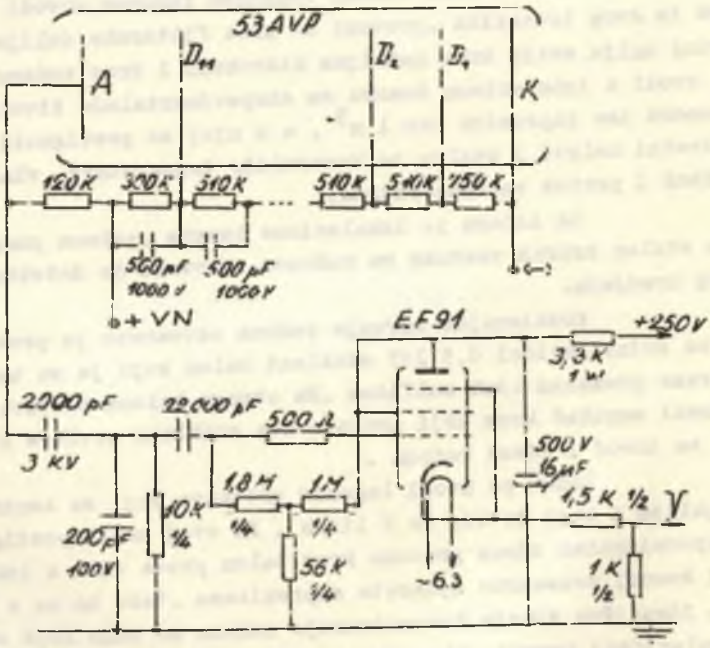
Radon se uvodi laganim protokom koji se kontroliše i reguliše a koji je bio do 2 lit/h . Na ovaj način postignut je proporcionalan odnos protoka kroz balon prema onom u inhalacionoj komori srazmerno njihovim zapreminama ,tako da se u balonu ima identično stanje koncentracije radona sa onim koje se ima u inhalacionoj komori. Zbog laganog protoka kroz scintilacioni balon ne postoji opasnost oštećenja unutrašnjeg premaza cink sulfida.

Za merenje je upotrebljena scintilaciona alfa sonda sa fotomultiplikatorom 53 AVP firme Dario kao i brojački uredjaj sastavljen od visokonaponske jedinice, skalera i ratemeter-a a za registraciju je upotrebljen pisač firme Frieseke i Hoepfner.

Na Sl.1 data je blok šema mernog uredjaja a na Sl.2 el. šema alfa sonde.




Slika 1 - Blok šema mernog uredjaja

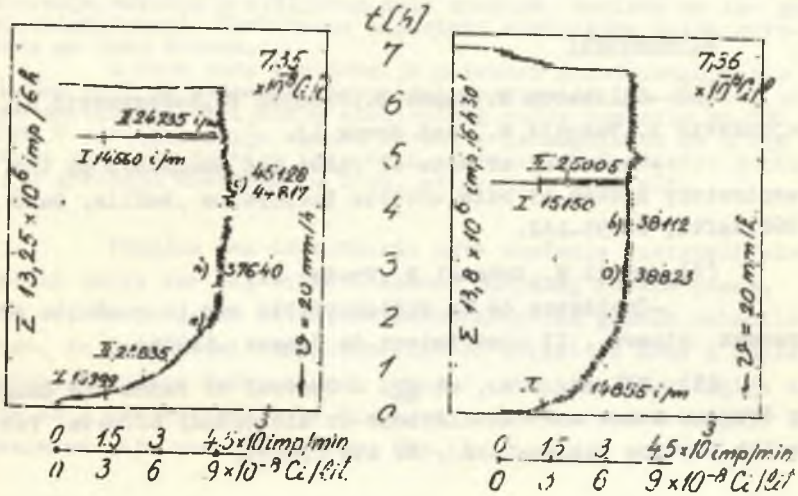



Slika 2 -Elektr.šema alfa sonde

Uredjaj za merenje je etaloniziran standardima: I - 15.000 imp/min i II-25.000 imp/min napravljenim u laboratoriji STEP-CEA Fontenay-aux-Roses a koji se upotrebljava kod diskontinuiranog merenja radona metodom čija je efikasnost 60% ( 2,3) . U toku etaloniziranja ,podešavanjem protoka ,osetljivosti i dr. parametara prilikom merenja koncentracije radona kontinualnom metodom postigli smo istu efikasnost ,što nam je omogućilo proračun koncentracije radona na isti način kao kod običnog merenja radona .

Povremeno u toku merenja vršili smo proveru standardima.

Na sl 3 i 4 dati su grafički prikazi koncentracije radona registrovani na pisaču .




Sl.3 Sl.4

Na slikama 3 i 4 , tačkama I i II obeležene su kontrolne vrednosti standarda a tačkama a - d kontrolne vrednosti koncentracije radona u balonu . Date je vreme trajanja merenja i preračunata vrednost broja imp/min na vrednost pCi/LIT.vazduha .

U toku eksperimenta brojački uredjaj registrovao je oko 40.000 imp/min . Po završetku merenja kontrolisani su baloni i imali su od 500 do 1000 imp/min a posle ispiranja čistim vazduhom 10 100 imp/min .Kod novog eksperimenta sledećeg dana uzimani su novi baloni.

Zaključak: Kao što je izneto uredjaj je korišćen kod većih koncentracija radona i pokazao je dobre rezultate u pogledu mogućnosti da se ima stalan ,kontinualan uvid u koncentracije radona u toku eksperimenta . To je bio i zahtev kada se pristupilo ovom radu.

Summary:

The metod was used at radon inhalation of experimental animals .It was realized a flow of atmospheric air rich of radon trough the 0,5 lit glass flasks internally coated with a zinc sulfide phosfor and the measurement was performed by alpha counter with photomultiplier tube and scaler assembly .

The efficience of counting was found 60%.

Literatura:

(1) -Kilibarda M.,Panov D.,Višnjić V.,Radovanović R., Hajduković D.,Vukotić M., and Novak Lj.
-Chronical effects of radon and daughters on the respiratory system of rats.-Studia Biophysica ,Berlin, Band 6, 1968,Heft2, s.155-162.

(2) -Avril R.,Duhamel F.,Pradel J.,
-Incidence de la radioactivite sur la conduite des travaux miners , II conf.intern.de Geneva ,(1958).

(3) -Holaday D.A., et al. - Control of radon and daughters in Uranium Mines and Calculations on Biological Effects- Public Health Service Publication , No 494 (1957).

# DOPRINOS ELEKTRIČNOG POLJA EFIKASNOSTI DETEKCIJE KOD GASNIH SCINTILATORA

KRIŽANOVIĆ D.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr Drag.Karajović" Beograd

Rezime: Retki gasovi, koji pod dejstvom jonizujućeg zračenja emituju u vidljivom delu spektra, koriste se kao gasni scintilatori. Ukoliko se uspostavi električno polje povećava se broj fotona.
U ovom radu korišćen je u komori scintilacioni gas Ksenon koji za najmanji potencijal jonizacije ima najveći prinos svetlosti. Varijacije električnog polja iznosile su 500 - 1500 V $cm^{-1}$.Dimenzija komore odredila je mogućnost da u nju stane ceo trag čestice koja vrši jonizaciju. Kao izvor jonizacije zračenja korišćen je S-35, aktivnosti o,ol mCi.

Pokušao sam detektovati beta zračenje koristeći električno polje kao pojačivač u komori punjenoj retkim gasom. Zna se, da je jedna od bitnih karakteristika gasnih scintilatora, da intenzitet fluoroscencije ne zavisi od mase i naelektrisanja upadne čestice nego samo od energije. Za energije manje od 1 MeV zavisnost je linearna, dok za visoke energije linearnost nije uvek proverena. (Ha-1)

## Izbor beta emitera

Principijalna teškoća sastoji se u izboru beta emitera jer su ove čestice mnogo prodornije nego alfa čestice. Trebalo bi posedovati komoru velikih dimenzija ako bi želeli detektovati beta čestice više energije. U konkretnom slučaju to nisam bio u mogućnosti. Zbog ograničenih dimenzija komore kao i zbog kratkog vremena poluraspada, morao sam eliminisati neke beta emitere: praseodim-143, fosfor-32. Isto tako nisam mogao koristiti ni tricijum koji emituje beta čestice vrlo slabe energije (18 keV). Konačno sam uzeo kriterij $R_\beta$ - zaustavna moć gasa - koja potpuno zaustavlja snop beta zračenja.

T A B E L A I

| Radioelemenat | vreme poluraspada | energija (MeV) | $R_\beta$ g/cm$^2$ |
|---|---|---|---|
| Kalcijum - 45 | 165 dana | 0,25 | 0,06008 |
| Prometeum - 147 | 2,6 godine | 0,22 | 0,05036 |
| Praseodim - 143 | 13,8 dana | 0,93 | 0,37165 |
| Fosfor - 32 | 14,45 dana | 1,707 | 0,8205 |
| Sumpor - 35 | 87 dana | 0,167 | 0,03443 |
| Tricijum | 12,26 god. | 0,018 | 0,001592 |
| Tungsten - 185 | 74 dana | 0,430 | 0,1270 |

Zna se da je za $E_{max.} < 0,8$ MeV $\quad R_\beta = 0,407\, E_{max.}^{1,33}$

a za $E_{max.} > 0,8$ MeV $\quad R_\beta = 0,542\, E_{max.}^{-0,133}$

najmanju vrednost za $R_\beta$ dobio sam za sumpor - 35.

## Izbor gasa i eksperimentalno korišćenje

Komora koja je korišćena je cilindričnog oblika od duraluminijuma. (sl. 1) Elektrode su ravne, pravougaone od aluminijuma (visina 5 cm, širina 4 cm). Površine koje se gledaju su posebno ispolirane i postavljene na rastojanje 1,5 cm. Električno polje izmedju elektroda je uniformno. Snop beta čestica je normalan na uvedeno električno polje. Nosač sa izvorom je moguće pokretati izvan komore, što omogućuje biranje željenog rastojanja izvora u osetljivoj zapremini komore. Fotoni proizvedeni u komori prolaze kroz prozor od silicija pre nego što padnu u fotomultiplikator. Oblast talasnih dužina koje može fotomultiplikator detektovati je 2200 do 5000 Å.

Gas kojim je komora punjena je ksenon. Ovaj izbor je [illegible]rat iz dva sledeca razloga:

a/ Domet beta čestica S - 35 za pomenuti gas je relativno mali (3,8 cm) pri normalnom atmosferskom pritisku i sobnoj temperaturi, za druge retke gasove, koji su u manje osetljivi, [illegible] je dvaput veći.

b/ Ksenon [illegible] retkih gasova ima najveći princes [illegible] jonizacije [illegible] manji.(12,)29 [illegible] fotoelektrokopijski čist gas. Uzeo sam

konstatan pritisak punjena - 700 tora, kako bi čestica (beta) mogla da preda svu svoju energiju u zapremini komore punjene gasom.

Detekcija zračenja S-35

Na slici 2 predstavljen je diferencijalni spektar impulsa dobijenih na anodi fotomultiplikatora pri varijaciji električnog polja i to:

kriva 1 bez električnog polja
kriva 2 $E = 500\ Vcm^{-1}$
kriva 3 $E = 1000\ Vcm^{-1}$
kriva 4 $E = 1500\ Vcm^{-1}$

Ovi spektri su dobijeni oduzimanjem osnovnog šuma (fona) fotomultiplikatora.

Analiza ovih spektara vodi sledećem zaključku:

a/ vodeći računa o energiji beta čestica koju emituje S-35, detektor funkcioniše na principu foto elektrona. Sa porastom električnog polja menja se broj fotona, dok visina impulsa $\bar{n}$ ostaje isto. (Te - 1)

za $E = 0$ $\bar{n} = 17,50$
za $E = 1500\ Vcm^{-1}$ $\bar{n} = 17,37$

b/ beta čestice mogu biti detektovane i bez električnog polja zahvaljujući:

- velikoj osetljivosti metode detektovanja fotoelektrona
- upotrebom ksenona kao najboljeg scintilacionog gasa.

c/ dejstvo električnog polja se jasno oseća. Kriva N(E) koja predstavlja broj sabranih fotona u funkciji električnog polja ima isti tok kao i kriva $\bar{n}$(E). (Te - 1)

Za pristupanje jednom daljem studiju trebalo bi izvršiti ozračivanje detektora beta zracima raznih energija. Nažalost, kako sam ranije objasnio, obavezno je povećati pritisak punjenja kako bi beta čestica izgubila svu svoju energiju u gasu. Tada, u tom slučaju stvari se komplikuju zbog promenjenog pritiska. Da bi se mogli koristiti razni radioelementi čiji domet beta čestica nije isti i da se ne promene uslovi sabiranja fotona, potrebno bi bilo koristiti jednu komoru dovoljnih dimenzija punjenu sa scintilacionim gasom.

Summary:

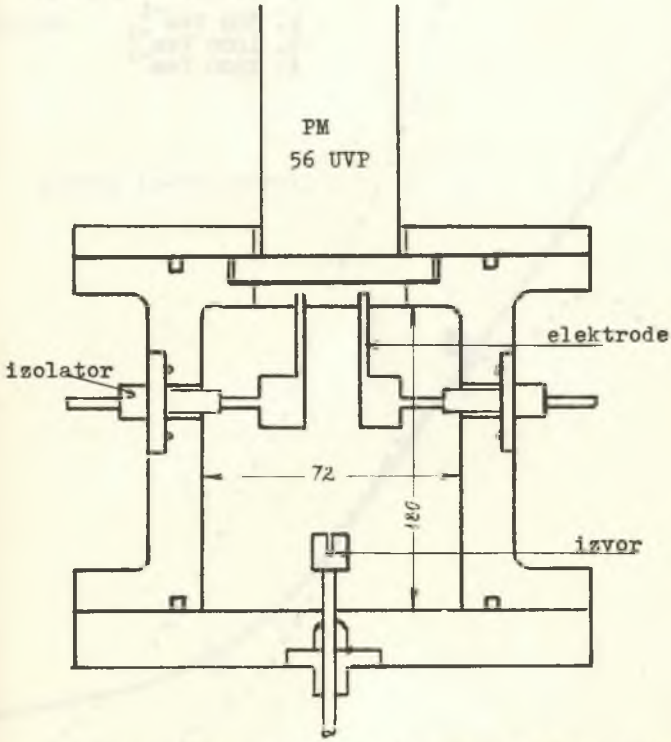
Rare gases, which under the effect of ionizing radiations emit in a visible part of the spectrum, are used as gaseous scintillators. If an electrical field can be established the number of photones will be increased. In the chamber a scintillation gas xenon who for the least potential of ionisation has the highest yield of the light was used in this paper. Variations of the electrical field amounted from 5oo - 15oo Vcm-1. Dimensions of the chamber ensured full trace of the particle who ionize to be placed in it. As an cource of ionizing radiation S-35 activity of O,cl mCi was used.

Literature

Br - 1 Brumet (H.): Thèse doctorat 3'cycle N° 342,Toulouse, 1965.

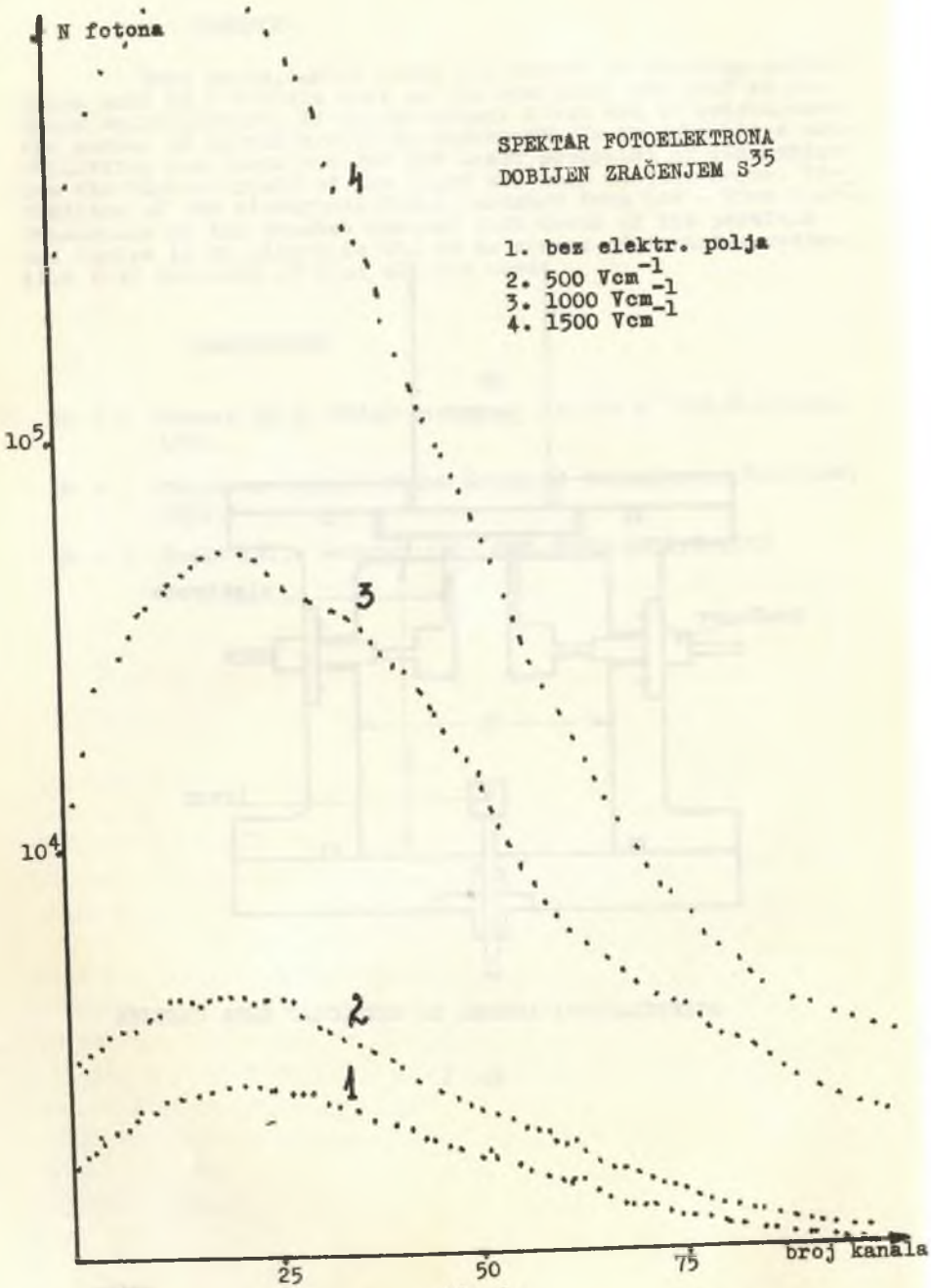
Te - 1 Teyssier (J.L.): Thèse doctorat ès-sciences,Toulouse, 1965.

Ha - 1 Hanle (W.): Schmidt (k): ANN. PHYS.1957,2o,173

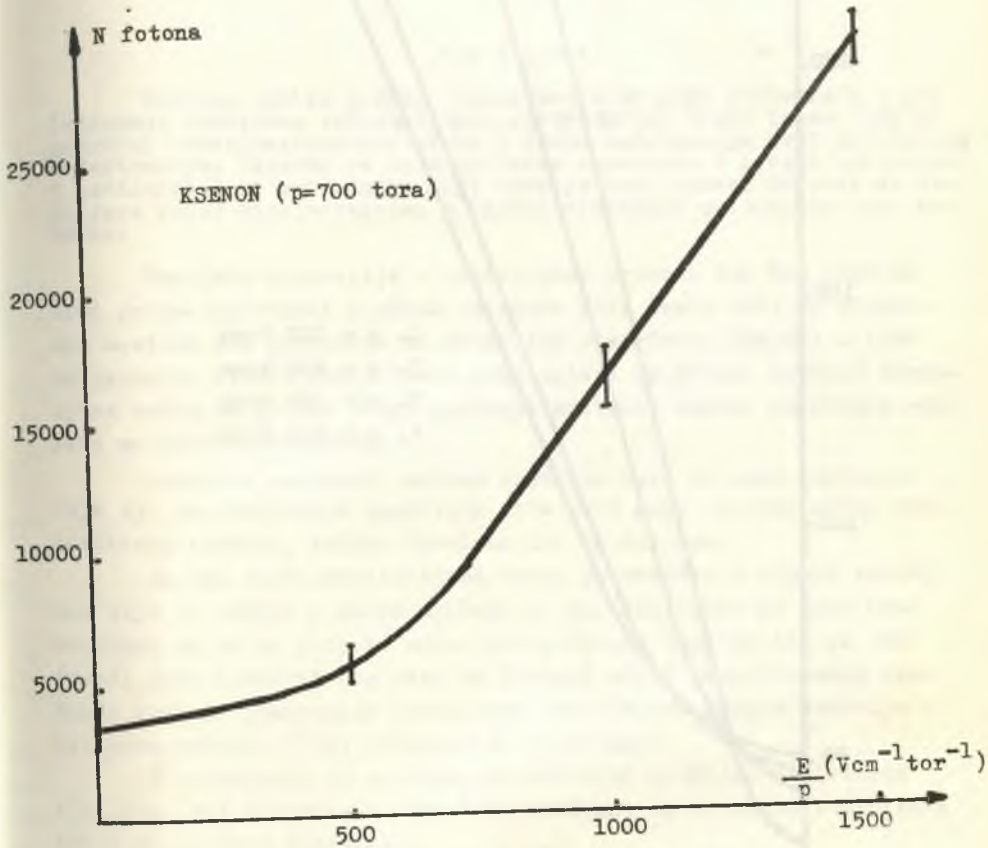



SCINTILACIONA KOMORA ZA DETEKCIJU BETA ČESTICA

SL. 1

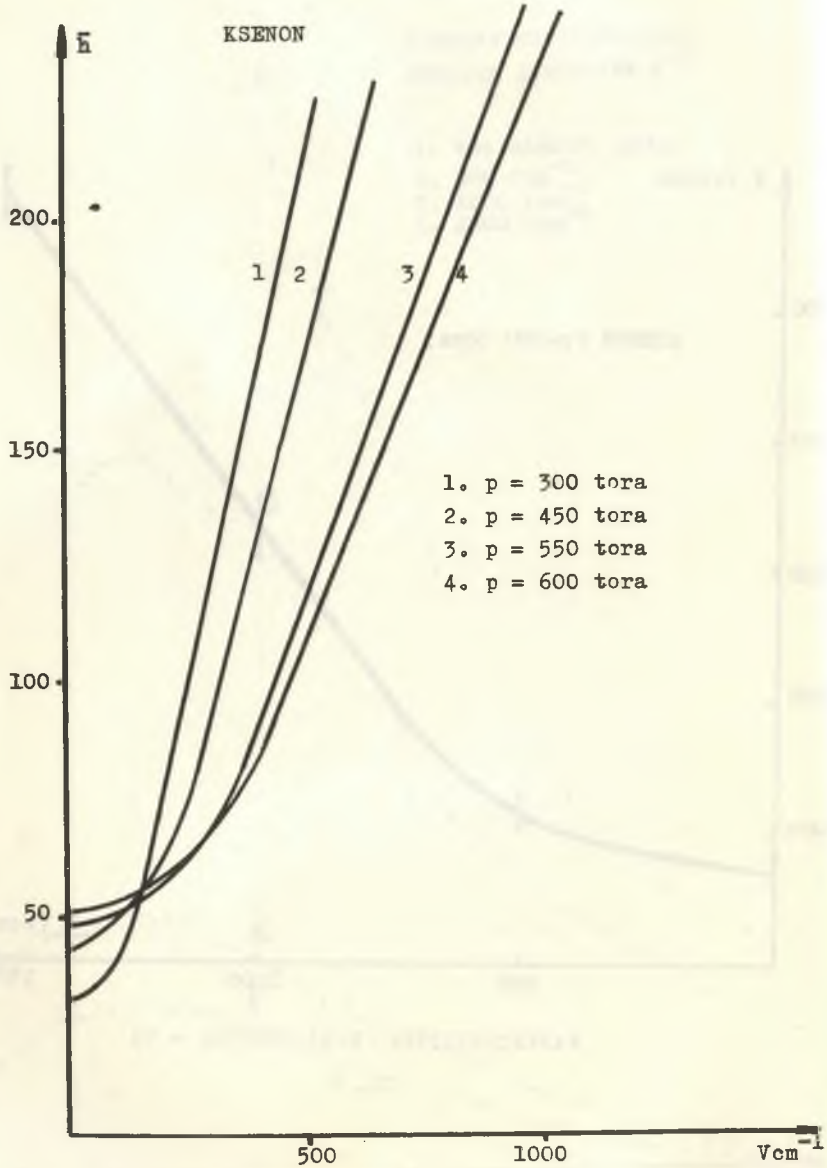

N fotona
SPEKTAR FOTOELEKTRONA
DOBIJEN ZRAČENJEM $S^{35}$
1. bez elektr. polja
2. 500 $Vcm^{-1}$
3. 1000 $Vcm^{-1}$
4. 1500 $Vcm^{-1}$
$10^5$
$10^4$
4
3
2
1
25
50
75
broj kanala

Sl. 2




KARAKTERISTIKA N(E) SUMPORA - 35

Sl. 3




SL. 4 KRIVA $\bar{h}(E)$

# DOZE ZRACENJA PRI GAMA RADIOGRAFIJI U HEMIJSKOJ INDUSTRIJI

IGNJATOVIC S.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS
"Dr Dragomir Karajović"

R e z i m e

Daje se prikaz jednog radnog mesta za gama radiografiju pri izgradnji hemijskog industrijskog postrojenja. Sledi iznos doza na površini kontejnera-defektoskopa i vreme zadržavanja kraj zatvorenog defektoskopa. Ukratko se opisuju radne operacije i izvodi zaključak o godišnjoj dozi za radnika koji obavlja ovaj posao. Referat se dopunjava kolor dijapozitivima o karakterističnim položajima tela radnika.

Hemijska industrija u tehnološkom procesu ima kao problem broj jedan-Zaptivnost sistema cevovoda koji često radi na pojedinim mestima pod pritiskom od preko 100 atmosfera. Imajući u vidu da protočni fluidi imaju često eksplozivni karakter, postaje razumljivo zašto se velika briga poklanja kontroli varova pojedinih spojeva na sistemu cevovoda.

Jedan od oprobanih metoda kontrole vara je gama radiografija tj. prozračivanje sumnjivog dela cevi gama zracima nekog radioaktivnog izotopa, obično Kobaltom ili Iridijumom.

Za ovu svrhu radioaktivni iztop je smešten u olovni kontejner čija je težina u našem slučaju 33 kg. Kontejner je tako konstruisan da se po potrebi može izotop izvući napolje ili se pak otvori samo levkasti čep tako da konusni otvor propušta snop zračenja koji se pomeranjem kontejnera kao džepnom lampom usmeruje u željenom pravcu. (Vidi fotografije u prilogu)

U kontejneru je smešten radioaktivni Iridijum aktiviteta 6 Kirija. Pri zatvorenom čepu doza zračenja na površini kontejnera imale su sledeće vrednosti:

| | |
|---|---|
| na površini čepa | 24 mR/h |
| iza kontejnera | 19 mR/h |
| na levoj strani | 24 mR/h |
| na desnoj strani | 29 mR/h |

Prilog:
Skica 1.

Pri otvorenom čepu doze zračenja su sledeće:

| | | |
|---|---|---|
| na otvoru kontejnera | 70 000 mR/h | |
| iza kontejnera | 22 mR/h | Prilog: |
| na levoj strani | 59 mR/h | Skica 2. |
| na desnoj strani | 70 mR/h | |
| na gornjoj strani | 28 mR/h | |

na 1 metru rastojanja:

| | |
|---|---|
| iza kontejnera | 4 mR/h |
| na levoj strani u ravni otvora | 115 mR/h |
| na levoj strani u ravni držača | 10 mR/h |
| na desnoj strani u ravni otvora | 130mR/h |
| na desnoj strani u ravni držača | 16 mR/h |

Radnik radiografista se nalazi u navedenim zonama zračenja pri sledećim operacijama:

Donošenje i vraćanje kontejnera iz bunkera do montažnog pogona ( 1 put dnevno ) 230 dana u godini. Ukupno veže radnika kraj kontejnera 230 x 14 min. = 3220 min.

Dizanje kontejnera na mostove vertikalnih kolona prosečno 230 dana x 3 dizanja x 1 min. 8 sec. = 790 min. Skica 3.

Fiksiranje kontejnera na mostu prosečno 230 dana x 58 sec. = 230 min.

Ukupno se radnik u toku jedne godine nalazi 4240 min.= 70,8 časova u blizini kontejnera.

Za to vreme kumulativna doza u predelu butne kosti iznosi 70,8 x 29 mR/h = 2050 mR i 1200 mR u predelu sternuma.

Radnik u toku godine snimi 7000 filmova. Za svaki snimak mora nakon fiksiranja kontejnera i filma da pridje, otvori čep kontejnera i da se povuče na moguću daljinu iza kontejnera. Ova operacija traje 4 sekunde za otvaranje i toliko za zatvaranje čepa što za godinu dana iznosi 7000 x 8 = 56 000 sekundi = 15,5 h. Uzimajući dozu iznad otvorenog kontejnera za ovo vreme radnik će primiti u predelu sternuma 15,5 x 28 mR/h = 435 mR kumulativne doze, i u predelu butne kosti 15,5 x 16 mR/h = 255 mR.

Zbirna doza koju radnik primi kraj otvorenog i zatvorenog kontejnera iznela bi u predelu sternuma 1200 + 435 = 1635 mR a u predelu butne kosti 2050 + 255 = 2560 mR. Skica 4.

# Z A K L J U Č A K

U ovom izveštaju nisu opisani specijalni slučajevi ozračivanja radnika na visokim cevima kada radnik nije mogao da se udalji već je čitavo vreme prozračivanja bio u neposrednoj blizini kontejnera.

Ako dozu zračenja u predelu butne kosti posmatramo kao genetski štetnu dozu onda je ona zabrinjavajućih razmera.

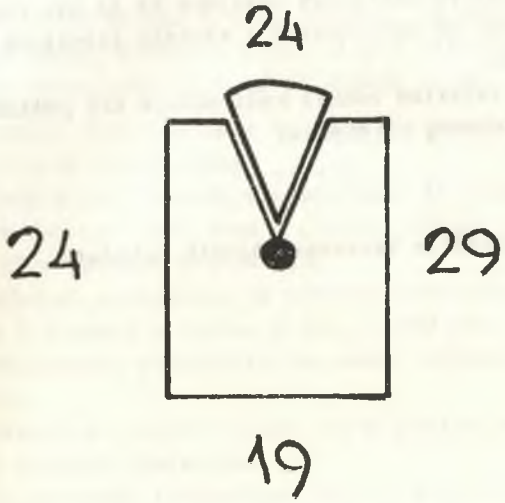
Posebno se osvrćemo na pitanja zaštite od navedenih doza zračenja. Posmatrajući komplikovanost postrojenja hemijske industrije vidimo da nema trajnog zaštitnog uredjaja te je sve prepušteno zdravstvenoj službi da interveniše u slučaju izveštaja film dozimetrijske kontrole.

Pod ovakvim uslovima radnik radi zadnje tri godine i još nema znakova radijacionog oštećenja.

---

Prilog: Fotografije karakterističnih položaja.

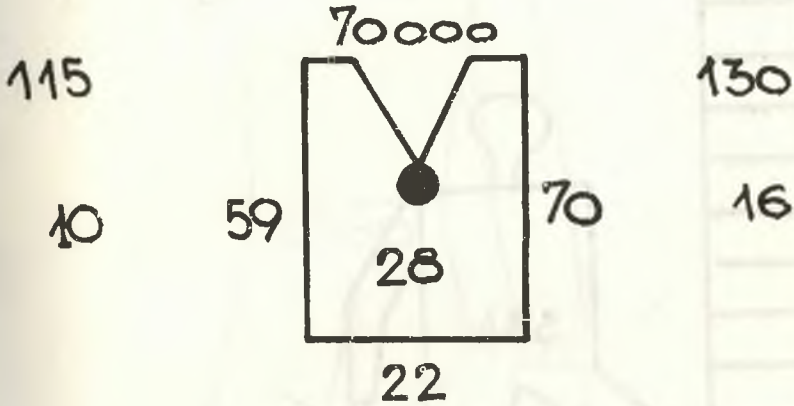
SKICA 1




mR/h

PO POVRŠINI

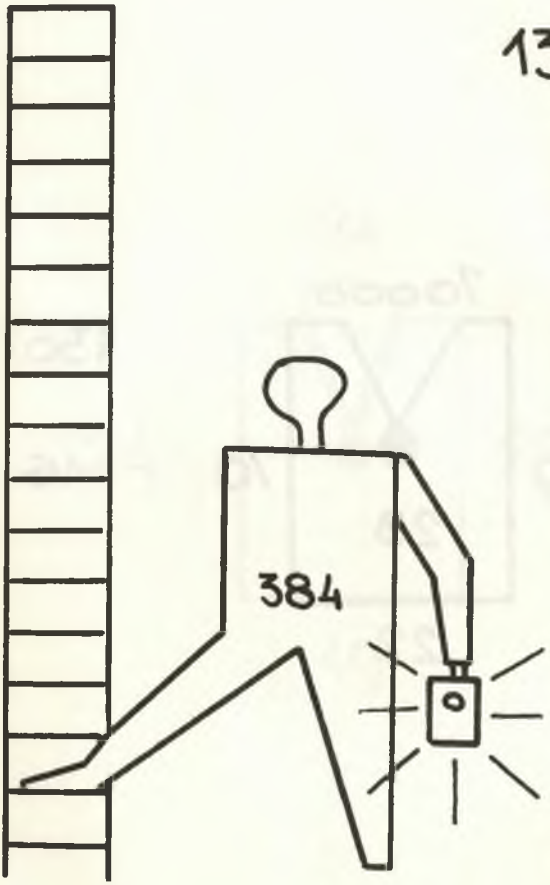
SKICA 2



SKICA 3

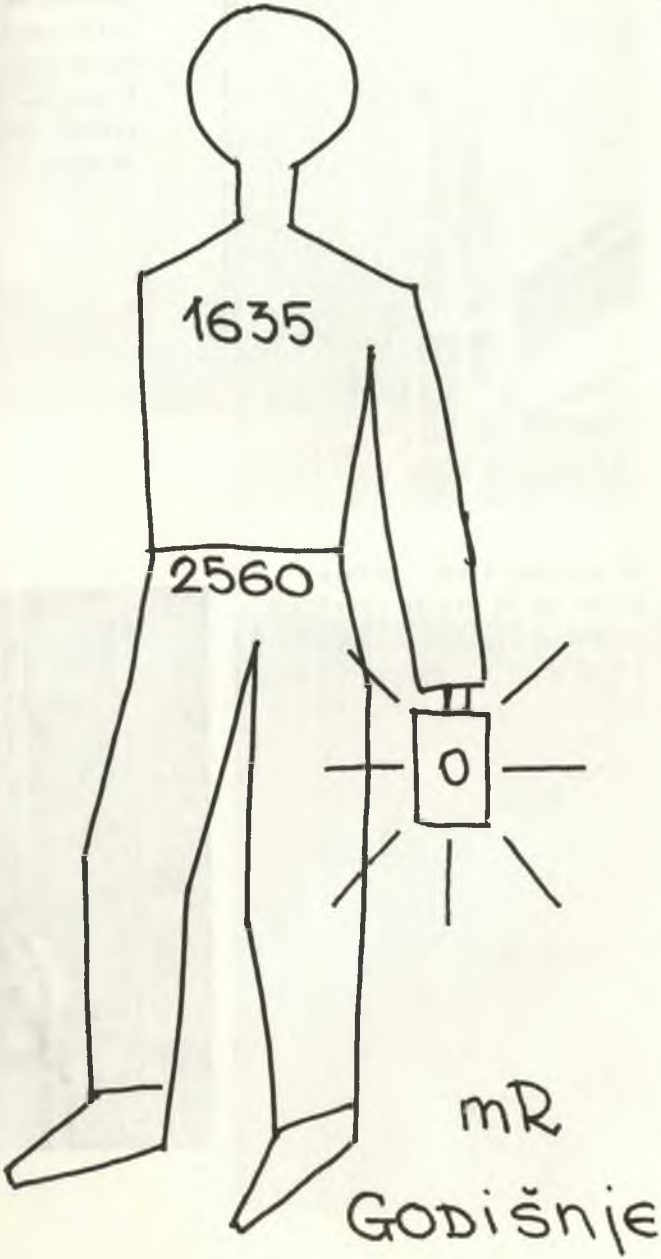
13,2 h

3



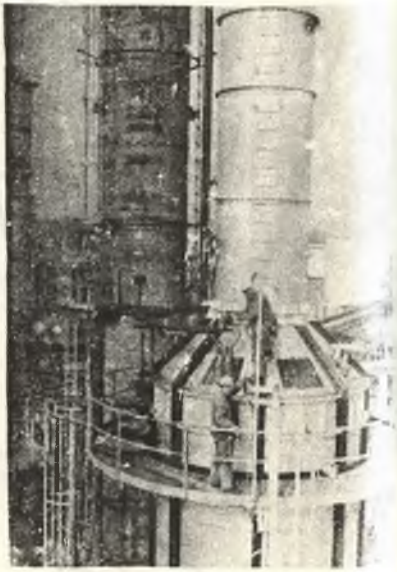

mR
GODIŠNJE

SKICA 4



Radnici nose uz vertikalne lestve defektoskop. Istovremeno se jednom rukom pridržavaju za prečke. Vreme penjanja traje do 6 minuta. Brzina doze u visini gonada iznosi 24 mR/h

Na visokom tornju radnik često po 20 minuta učvršćuje defektoskop. Ima slučajeva da se radnik i defektoskop kranom penju na nepristupačne cevovode



Radnik otvara defektoskop. Pri otvorenom snopu zadržava se 5 do 7 sekundi. Brzina doze u visini gonada iznosi 24 mR/h

Radnik podešava nagib defektoskopa i pri otvorenom snopu zadržava se do 10 sekundi. Brzina doze u visini gonada iznosi 10 mR/h

# SPEKTAR X ZRAČENJA 6 VENTILNOG SIEMENS RÖ APARATA PRI ANODNOM NAPONU OD 65,70, 80 kV

IGNJATOVIĆ S.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović"-Beograd

R e z i m e:

Prikazuje se spektar X zračenja dobijen pri analizi na Ge-Li kristalu. Uporedjuje se promena spektra pre i posle prolaska snopa zračenja kroz pojedine delove čovečijeg tela. Diskutuje se promena intenziteta pojedinih linija spektra i gubitak jednog dela spektra nakon prolaska snopa kroz čovečije telo.

Cilj ovih ispitivanja je da se utvrdi promena spektra X zračenja nakon prolaza ovog zračenja kroz pojedine delove čovečijeg tela.

Za ova ispitivanja upotrebljen je Simensov Stabilipan rentgen aparat a ozračivanja su vršena pri anodnom naponu od 65 - - 70 - 80 kV. Spektar X zračenja se dobijao posle propuštanja snopa ovog zračenja kroz Germanijum kristal. Prečnik ovog snopa je iznosio 2 mm., a kristal je bio oblika para lelepipeda dimenzija 10 x 10 x 20 mm. Rastojanje od rentgenske cevi do kristala iznosilo je 3 metara.

Prva slika daje uporedne grafike spektra pre i posle prolaza snopa kroz čovečiju glavu. Snop X zračenja je odmah po izlasku iz rendgenske cevi filtriran filtrom od 2 mm Al. Na grafiku spektra koji je prošao čovečiju glavu ne vidimo tragove energija ispod 50 keV. Takodje vidimo da je intenzitet linije od 55 keV opao 67 puta.

Druga slika daje uporedne grafike spektra pre i posle prolaza snopa kroz čovečiji stomak. I u ovom slučaju snop je odmah po izlasku iz rendgenske cevi filtriran filtrom od 2 mm Al. Na grafiku spektra snopa koji je prošao kroz čovečiji stomak ne vidimo tragove energije ispod 37 keV. Takodje vidimo da je intenzitet linije od 55 keV opao 120 puta.

Treća slika daje uporedne grafike spektra pre i posle prolaza snopa kroz čovečije grudi. I u ovom slučaju snop je odmah po izlasku iz rendgenske cevi filtriran filtrom 2 mm. Napon Rö cevi je u ovom slučaju niži i iznosi 70 kV. Na ovom grafiku ne vidimo tragove energije ispod 30 keV a intenzitet energije ispod 55 keV je opao 65 puta.

Četvrta slika daje uporedni grafik spektra pre i posle prolaza snopa kroz čovečiju butinu. Snop je takodje filtriran odmah po izlasku iz Rö cevi filtrom od 2 mm Al. a napon Rö cevi je iznosio 65 kV. Na grafikonu spektra ne vidimo tragove energije ispod 37 keV. a intenzitet linije od 55 keV je opao 44 puta.

## Z a k l j u č a k:

1. Mada je zračenje filtrirano aluminijumskim filtrom, u grafikonu spektra snopa koji još nije prošao delove čovečijeg tela nalazimo vrednosti u oblasti ispod 32 keV koje se delimično moraju pripisati deformaciji fotolinije od 32 keVa.

2. Minimalna energija sposobna je da prodre navedene delove čovečijeg tela je reda 32 keVa, mada i ovde naše sumnje idu ka pretpostavci da su na mesta spektra ustvari deformacije foto linija viših energija. Kod grafika spektra snopa koji je prošao kroz glavu prvi intenziteti se pojavljuju tek kod energije od 50 keV.

3. Učešće energije iznad 65 keV može se zanemariti jer je po intenzitetu veoma malo zastupljena.

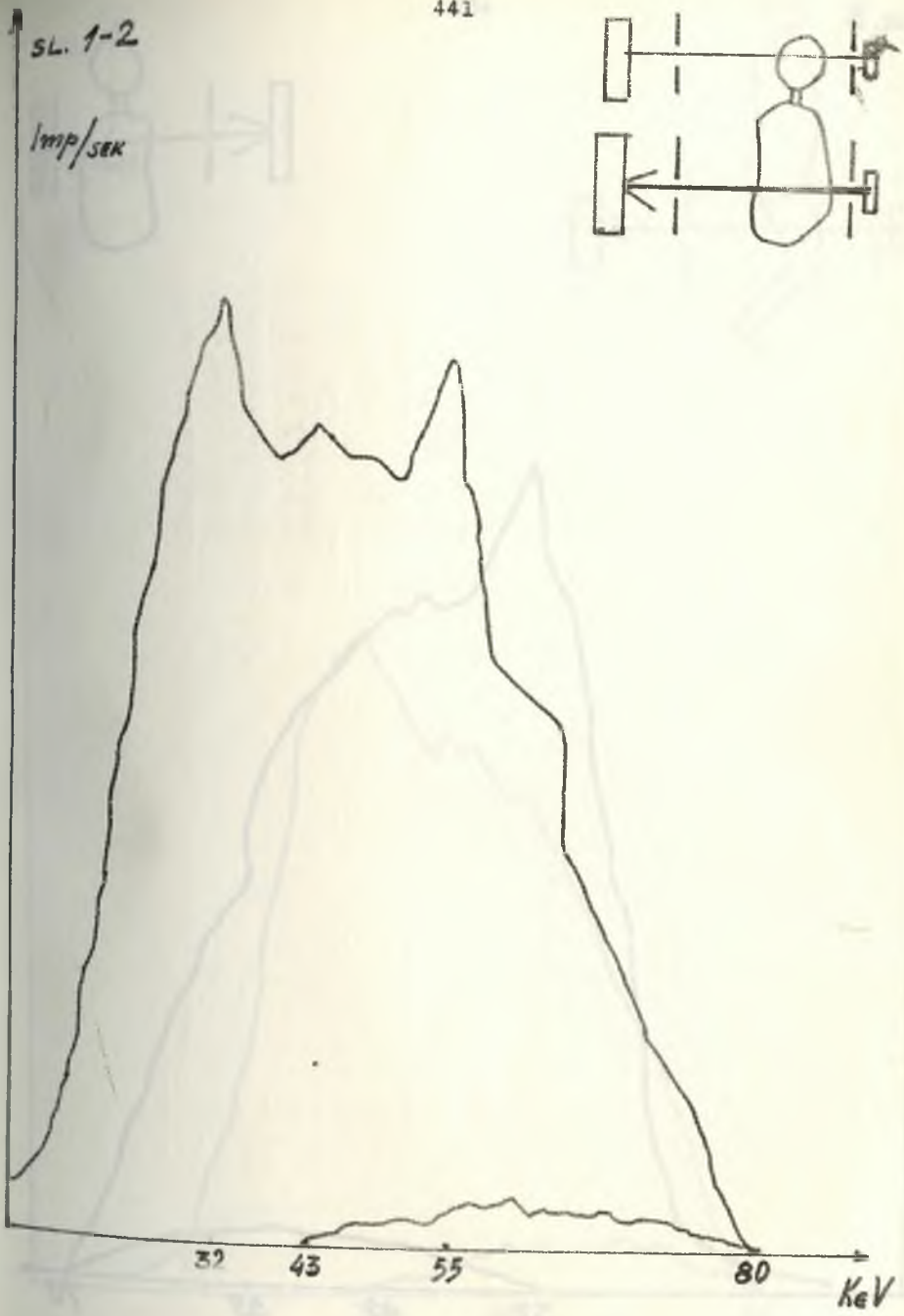
4. Najviše zastupljena energija je od 26 do 60 keV

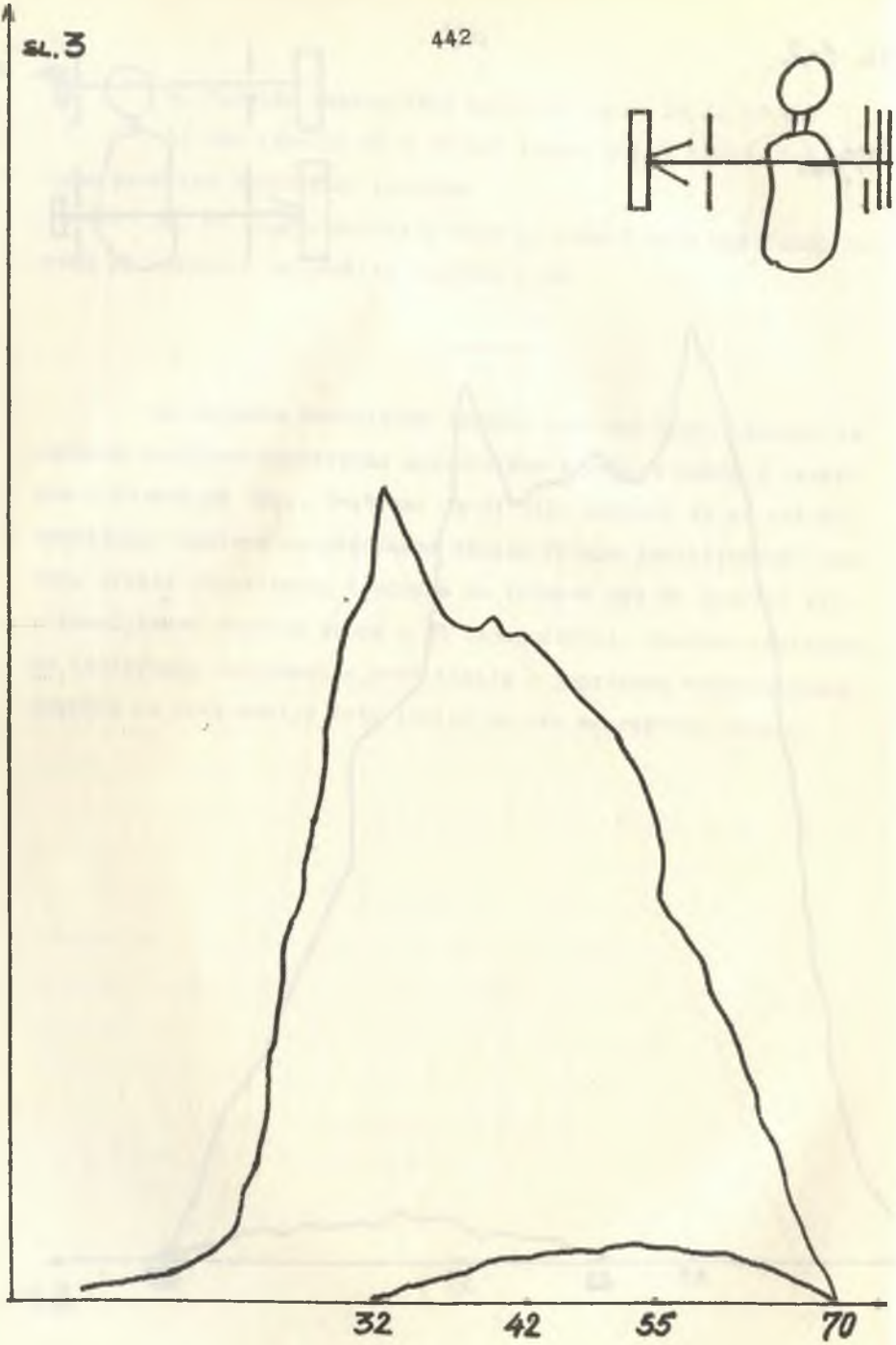
5. Deo izmedju 60 i 70 keV iznosi 5% od ukupno integrirane površine spektralno grafika.

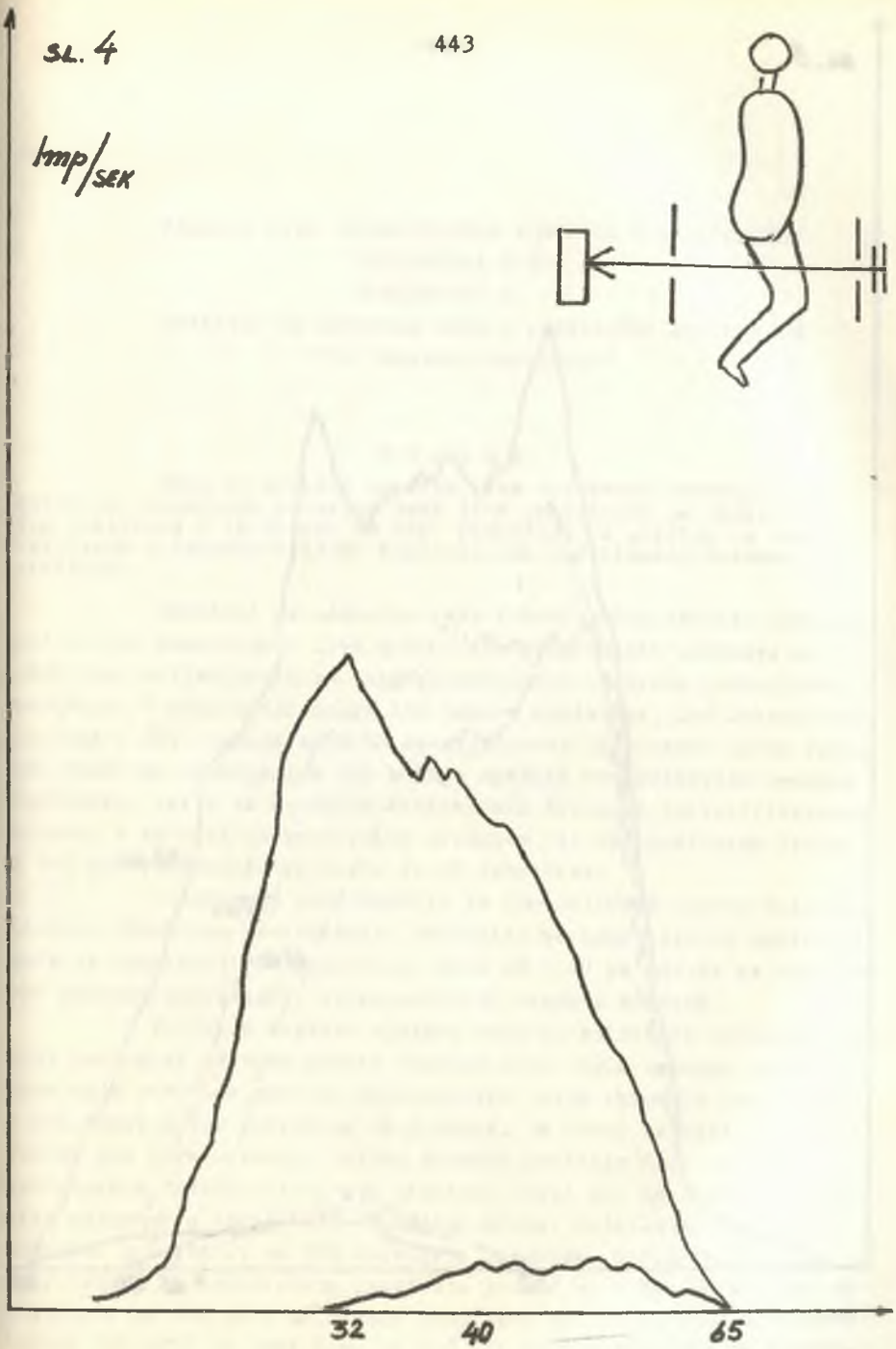
6. Od ukupne energije koja je napala telo ozračenog čoveka do kristala se probila najviše 1,5%.

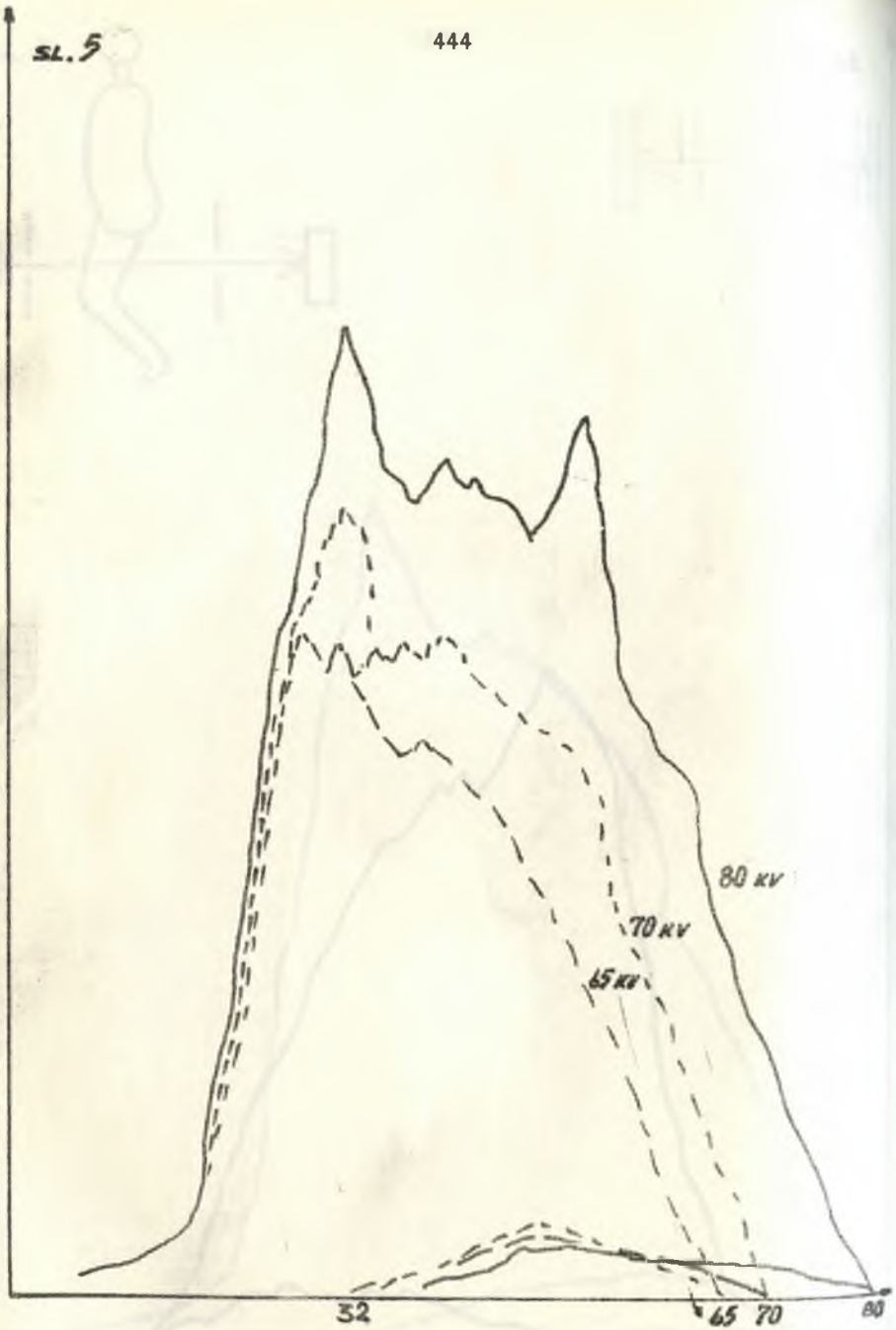
---

Sa aspekta radiološke zaštite ovi rezultati ukazuju na ogromnu količinu nepotrebno apsorbovane energije mekog X zračenja u čovečijem telu. Smatramo da bi bilo korisno da se radovi detaljnije nastave sa pojačanom ulogom filtra analizirajući uporedo efekte filtriranog zračenja na filmove pri Rö grafiji tj. primenljivost ovakvog snopa u Rö dijagnostici. Posebno naglašavamo izučavanje deformacije foto linije i doprinosa kontinuiranog spektra na deformaciju foto linije za ovu energetsku oblast.


SL. 1-2
Imp/SEK
32
43
55
80
KeV


SL. 3
32
42
55
70


SL. 4
Imp/SEK
32
40
65


sl. 5
80 kV
70 kV
65 kV
32
65
70
80

# ANALIZA FILM DOZIMETRIJSKE KONTROLE U MEDICINSKIM USTANOVAMA U SRS

IGNJATOVIC S.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr Dragomir Karajović"

R e z i m e

Daje se pregled profila lica izloženih zračenju. Posebno se uporedjuju prosečne doze lica zaposlenih na Radiološkom institutu i Institutu za TBC. Diskutuje se predlog za obustavljanje filmdozimetrijske kontrole pri medicinskoj primeni X zračenja.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu imao je pod svojom kontrolom u 1968 godini 265 medicinskih ustanova sa 1482 lica prijavljenih za filmdozimetrijsku kontrolu jonizujućeg zračenja. U ovom broju imamo 166 lekara radiologa, 187 lekara ftiziologa i 257 lekara ostalih specijalnosti ili lekara opšte prakse. Pomoćnog osoblja ima 872 u koje spadaju kvalifikovani rendgen tehničari, zatim sa srednjom medicinskom školom i dokvalifikovanim kursom, i radnici sa nepotpunom srednjom ili osmogodišnjom školom i bez dokvalifikacionog kursa za RŠ tehničare.

Izloženost ovog osoblja je kontrolisano pomoću film dozimetra KODAK-ove proizvodnje. Dozimetar se menja jednom mesečno i može sa sigurnošću da registruje doze od 1 mR pa naviše za rendgenski spektar medicinskih dijagnostičkih rendgen aparata.

Prilikom analize sistema rada pojedinih RŠ kabineta zapazili smo da se zadnjih godina forsira nova škola rendgen dijagnostike koja sve više zastupa dijagnostiku putem snimanja pacijenata a sve manje putem direktnog skopiranja. Da bismo izbegli stvaranje greške pri izračunavanju opšteg proseka godišnje doze po jednom medicinskom radniku izloženog zračenju uzeli smo za prikaz dve vodeće ustanove u korišćenju RŠ dijagnostike: Radiološki Institut u Beogradu i Institut za TBC takodje u Beogradu. Godišnja prosečna doza lekara na Radiološkom institutu je 279 mR a lekara hirurga na Institutu za TBC 1407 mR a doza tehničara na Radiološkom institutu iznosi 326 mR a na Institutu za TBC 116 mR dok tehničar na fluoro-

grafu pokratnom u autobusu prima 215 mR godišnje.

Smatramo da je potrebno dodati jedno tumačenje ovim dozama. Zapaža se petostruka doza lekara ftiziologa u odnosu na lekara radiologa. Ovu brojku smo objasnili merenjem na licu mesta kada smo ustanovili na hiruškom odeljenju Instituta za TBC svaki operativan slučaj se komisijski skopira i da su tada članovi komisije okupljeni oko rendgenskog ekrana bez zaštitne opreme i potrebne opreznosti.

Objašnjenje zašto je doza tehničara na radiološkom trostruka od doze tehničara na Institutu za TBC nalazi se u položaju tela tehničara u Institutu za TBC koji je uvek prilikom eksponaže iza zaštitnog paravana dok tehničar na radiološkom institutu mora pri kontrasnim grafijama da se približi pacijentu.

Najzad doza tehničara pri fluorografiji ima dvostruku vrednost od doze tehničara u kabinetu. Ako se potsetimo da se fluorografija obavlja u tesnom autobusu u kome je telo tehničara udaljeno svega 80 cm od RŠ cevi onda postaje jasno da se ova vrednost mora pojaviti.

Ako podjemo od činjenice da su za radiološku zaštitu ova dva Instituta najugroženije ustanove i da prosečna godišnja doza najjače eksponiranog radnog mesta iznosi 1/4 dozvoljene godišnje doze pitamo se da li je opravdano primenjivati dozimetrijsku kontrolu i dalje u medicinskim ustanovama.

Naš odgovor je da je to i dalje potrebno iz sledećih razloga

1. I sa greškom koju metoda donosi kad pogledamo film sigurni smo da se radnik nije približio ni 1/4 god. doze, a to je za zdravstvenu analizu važan činilac.

2. Materijalni izdatak od 10 din. mesečno nesme biti razlog da se otkloni sumnja navedena u gornjem stavu.

3. Pri postavljanju dozimetra na specijalno ugroženi deo tela kao na pr. čelo, šaka, lakat dobija se doza kojoj je izložen taj deo a to je u konkretnim slučajevima polazni faktor za medicinsku terapiju ozračenog lica.

4. Kad primljena doza prestane da bude uzrok doplatka onda će visoka saradnja izloženih lica i službe dozimetrije moći da izvuče tačan petogodišnji prosek za svako radno mesto i svaki deo ozračenog tela.

5. Od 1480 korisnika samo jedna četvrtina pošalje neozračene filmove i to često uz objašnjenje da nije ni nošen.

PROSECNA GODIŠNJA DOZA

| | | |
|---|---|---|
| RADIOLOŠKI INSTITUT | lekar | 279 mR |
| | tehničar | 326 mR |
| INSTITUT ZA TBC | lekar hirurg | 1407 mR |
| | tehničar | 116 mR |
| | fluorograf | 215 mR |

# POSTUPAK STANDARDIZACIJE JEDNOG RADIOAKTIVNOG RASTVORA 4pi METODOM

Hadžišehović M., Paligorić D.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

## R e z i m e

U ovom radu je opisan postupak standardizacije radioaktivnog rastvora na primeru merenja specifične aktivnosti rastvora $^{90}Sr - ^{90}Y$, koja je ovde data sa statističkom greškom od 0,18% i maksimalnom sistematskom greškom od 1,2%.

Da bi se ispitao uticaj razblaženja na srednju vrednost specifične aktivnosti osnovnog rastvora, merena su dva ista radioaktivna rastvora različite specifične aktivnosti od kojih je jedan razblaživan u više nezavisnih razblaženja a drugi direktno meren. Nadjeno je da greška razblaženja iznosi 0,31%.

Kod 4pi metode koja je ovde korišćena za odredjivanje specifične aktivnosti rastvora $^{90}Sr-^{90}Y$, apsolutno merenje obuhvata pripremu uzoraka za merenje, odredjivanje korekcija za apsorpciju zračenja i odredjivanje uslova rada detektora i korekcija koje se odnose na sam detektor.

Pri svim ovim operacijama mogu se javiti sistematske greške koje nezavisno od tačnosti merenja mogu biti uzrok odstupanja rezultata od stvarne vrednosti date u granicama statističke greške. Ove greške se najčešće javljaju kod pripremanja uzoraka za merenje i kod odredjivanja korekcionih faktora. Greške u merenju aktivnosti koje potiču od detektora uvek su manje od ovih. Da bi se uočilo poreklo sistematskih grešaka pri standardizaciji radioaktivnog rastvora više laboratorija istom mernom tehnikom meri jedan isti radioaktivni rastvor (1), a razlike u rezultatu toga merenja se onda pripisuju tehnikama pripremanja radioaktivnih uzoraka za merenje. Ovo se potvrdjuje činjenicom da su razlike rezultata raznih

laboratorija kod merenja čvrstih izvora uvek manje od razlika merenja radioaktivnog rastvora gde je uključena i priprema izvora.

Iz svih ovih razloga standardizacija jednog radioaktivnog rastvora sa visokom tačnošću mora biti izvršena vodeći računa o svakoj od naznačenih operacija i birajući optimalne uslove rada.

## Pripremanje uzoraka za merenje

Za standardizaciju, opisanu u ovom radu, dobijene su dve ampule rastvora $^{90}Sr$-$^{90}Y$ specifične aktivnosti reda 15 $\mu$Ci/g i 1 $\mu$Ci/g od laboratorije Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig. Ampule su posle otvaranja čuvane u specijalnim staklenim sudovima da bi se sprečilo isparavanje rastvora.

TAB. br. 1

Podaci o pripremanju radioaktivnih uzoraka za merenje

| Radioaktivni rastvor | $^{90}Sr$-$^{90}Y$ 15 $\mu$g/ml $Sr^{++}$ + 15 $\mu$g/ml $Y^{+++}$ + + 1 mg/ml formalina u 0,1 nHCl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Specifična aktivnost | | | | | |
| | 15 $\mu$Ci $^{90}Sr$/g | | | | 1 $\mu$Ci $^{90}Sr$/g | |
| Razblaženje | 1 | 2 | 3 | 4 | a – | b – |
| Vreme izmedju otvaranja ampula i razblaženja odnosno pripremanja izvora (min) | 13 | 15 | 10 | 17 | 1 | 80 |
| Vreme izmedju početka i kraja pripremanja izvora (h) | 3.30 | 2.20 | 4.40 | 1.00 | 1 | 3 |
| Faktor razblaženja $\frac{m_{akt} + m_{neakt}}{m_{akt}}$ | 15,343 | 15,418 | 15,146 | 15,506 | – | – |
| Masa rastvora odmerena za izvore (mg) | 46,5–49,9 | 47,5 – 49,5 | 47,1 – 48,7 | 46,9 – 51,6 | 48,6 – 50,6 | 49,0–50,4 |
| Dijametar izvora (mm) | 8–8,5 | 8–8,5 | 8–8,3 | 8,5–9 | 7,5–8 | 7–7,5 |
| Srednja debljina izvora ($\mu$g/cm$^2$) | 140 | 42 | 143 | 190 | 50 | 36 |

Od jačeg rastvora napravljena su približno ista četiri nezavisna razblaženja i od svakog 9 do 10 izvora približno iste mase rastvora a od slabijeg dve serije (a i b) bez razblaženja od 9 i 10 izvora, jedna sa tretmanom podloge kvasećim sredstvom a druga za prosto nakapavanje rastvora na podlogu. Masa razblaživača, istog hemijskog sastava, i masa osnovnog rastvora odredjena je gravimetrijski na semimikrovagi. Rastvori su čuvani i odmeravani u prostoriji na temperaturi $(+22\pm1)^{o}C$. Kratko vreme od momenta otvaranja ampula do početka razblaženja (oko 15 min., tabl. 1) odnosno početka odmeravanja mase izvora za slabiji rastvor, nije moglo uneti veću sistematsku grešku usled isparavanja od procenjene granične greške 0,01% dobijene kontrolom promene mase pod sličnim uslovima. Mase aktivnog rastvora za izvore odredjene su na mikrovagi diferencijalnim merenjem specijalne pipete u obliku V slova sa proširenjem, ukupne zapremine oko 0,2 ml. Pipeta se na jednom kraju završava kapilarom čiji je vrh šlifovan i fino podmazan tankim slojem apijezona da se poboljša otkidanje kapi i spreči podlivanje. Punjenje pipete i njeno merenje, i nakapavanje rastvora na podlogu i ponovno merenje trajalo je oko 3,5 min. za jedan izvor. Oba očitavanja na vagi vršena su posle 60 sec. od naznačenih operacija. Ovde je bila moguća sistematska greška od promene nule vage za manje od 20 $\mu g$, što za masu jednog izvora od oko 50 mg unosi grešku manju od 0,04%. Greška usled isparavanja rastvora za dati interval je manja od ove, pošto su promene mase pune i prazne pipete za 60 sec. bile iste, tako da je masa kapi dobijena kao razlika masa za iste vremenske intervale bila konstantna u granicama 0,01%. Za podloge izvora su pripremljene folije od VYNS-a srednje debljine oko 30 $\mu g/cm^2$ koje su metalizovane sa obe strane zlatom, tako da je prosečna debljina podloga nadjena diferencijalnim vaganjem njihovih nosača bila u srednjem 50 $\mu g/cm^2$.

Pre nakapavanja rastvora iz pipete na podlogu, za sva četiri razblaženja i seriju (a) od slabijeg rastvora, podloga je tretirana insulinom od 40 UI razblaženim u odnosu 1:20. Za svaki izvor naneto je po 60 $\lambda$ insulina a posle vrlo kratkog vremena vraćeno nazad prosečno 55 $\lambda$ , pa je zaostali čvrsti ostatak insulina bio

TAB. br. 2

Karakteristike aparature

| | |
|---|---|
| Tip brojača | 4pi proporcionalni protočni sa dve anode |
| Gas | Tehnički metan na atmosferskom pritisku |
| Materijal i dimenzije | a) anoda: volfram - 75 $\mu$; aktivna dužina anode 60 mm.<br>b) katoda: niklovani mesing; dužina brojača 240 mm; dijametar katode 60 mm; visina polucilindra 30 mm; rastojanje izvora od anode 15 mm |
| Plato | a) početak 4,7 kV; kraj $>$ 5 kV<br>b) nagib 0,11%/100 V<br>c) radni napon 4,9 kV |
| Gasno pojačanje na radnom naponu | $3 \times 10^5$ |
| Osnovna aktivnost | 1,3 $s^{-1}$ |
| Elektronika | Linearni pojačavač sa predpojačavačem-limiterom; pojačanje 200; moć razlaganja (10 ,0 $\pm$ 0,5) $\mu$s; diskriminacija 6 V (ili 0,4 KeV). Odbroj u 4pi geometriji dobijen ekstrapolacijom integralnih krivih od 6-24 V na nulti kanal. Integralna kriva linearna. |

manji od 25 $\mu g/cm^2$. Količina od 60 $\lambda$ insulina istovremeno je pored odlika kvasećeg sredstva poslužila za dobro definisanje površine izvora za masu aktivnog rastvora od oko 50 mg. Nezavisnim merenjima više serija izvora, sušenih na sobnim temperaturama, dobijene su debljine oko 500 $\mu g/cm^2$ koje su kasnije u toku vremena varirale i do 20%. Zato su izvori, neposredno posle pripremanja sušeni u eksikatoru pri dinamičkom vakuumu na temperaturi od 40°C. Primenom ove tehnike dobijeni su izvori srednje debljine manje od 150 $\mu g/cm^2$ (izuzev serije broj 4, tab. br. 1). Svi izvori su čuvani u eksikatoru a na detektoru su mereni nepokriveni. Posle sušenja, ponovnim merenjem izvora odredjen je čvrsti ostatak na osnovu čega je nadjena korekcija za samoapsorpciju zračenja (0,25-1,25%)

koristeći samoapsorpcionu krivu snimljenu u intervalu debljina od 20-300 $\mu g/cm^2$. Slična merenja su takodje izvršena i za odredjivanje korekcije za apsorpciju zračenja u podlogama nezavisno za svaki izvor. Ova korekcija je 0,3% do 0,5%.

## Rezultati merenja

Merenja aktivnosti izvora izvršena su na aparaturi čije su karakteristike date u tablici 2. Intenziteti izvora za sve serije su oko 3500 $s^{-1}$. Statistička greška merenja je 0,33%.

TAB. br. 3

Rezultati merenja specifične aktivnosti rastvora $^{90}Sr-^{90}Y$

| | Jači rastvor | | | | Slabiji rastvor | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Razblaženje | | | | | |
| Broj serije g | 1 | 2 | 3 | 4 | a | b |
| Broj izvora $n_g$ | 9 | 10 | 10 | 9 | 9 | 10 |
| Srednja specifična aktivnost serije $Y_g$ ($s^{-1}/mg$) | 1096 | 1088 | 1096 | 1093 | 73,2 | 73,3 |
| Standardna greška srednje vrednosti $\sigma_g$ (%) | 0,29 | 0,13 | 0,25 | 0,22 | 0,23 | 0,18 |
| Srednja vrednost specifične aktivnosti osnovnog rastvora $\bar{Y}$ ($s^{-1}/mg$) | 1093 | | | | 73,2 | |
| Standardna greška srednje vrednosti $\sigma$ (%) | 0,18 | | | | 0,23 | |
| Maksimalna sistematska greška (%) | $\sum_{j=1}^{10} B_j = 1,2$ | | | | $\sum_{j=1}^{9} B_j = 0,9$ | |

Korekcija za mrtvo vreme je približno ista za sve izvore (oko 3,4%) i primenjena je za svako merenje posebno. Izvori su prosečno mereni 2 do 3 puta u intervalu od mesec dana. Dobijeni rezultati sa

standardnom greškom srednjih vrednosti serija i ukupnom statističkom greškom srednje vrednosti jačeg i slabijeg rastvora dati su u tablici 3. Procena sistematskih grešaka, nezavisnih od vremena merenja odbroja, koje variraju nezavisno od izvora do izvora i onih koje su konstantne i ponavljaju se za svaki izvor data je u tablici 4.

TAB. br. 4

Procena sistematskih grešaka (%)

| Priroda greške | A Greške koje variraju nezavisno od izvora do izvora | B Greške koje su konstantne i koje se ponavljaju za svaki izvor (procena granične greške) |
|---|---|---|
| Osnovna aktivnost | $A_1 < 0{,}001$ | $B_1$ 0,001 |
| Mrtvo vreme | $A_2$ 0,08 | $B_2$ 0,08 |
| Samoapsorpcija | $A_3$ 0,3; 0,5 (b) | $B_3$ 0,18 |
| Apsorpcija u podlozi | $A_4$ 0,24 | $B_4$ 0,24 |
| Isparavanje | $A_5$ 0,01 | $B_5$ 0,01 |
| Odredjivanje mase | $A_6 <$ 0,04 | $B_6$ 0,04 |
| Merenje vremena | $A_7$ 0,05 | $B_7$ 0,05 |
| Stabilnost elektronskog sistema | $A_8$ 0,25 | $B_8$ 0,05 |
| Kombinovana greška | $B_9 = \left[\frac{f}{n} \sum_{j=1}^{9} A_j^2\right]^{\frac{1}{2}}$<br>f - broj serija (4)<br>n - ukupan broj izvora (38)<br>$A_9$ - Statistička greška brojanja (0,33%) | $B_9$ 0,186<br>$B_9^{(a,b)}$ 0,227 |
| Greška razblaženja | $B_{10} = \left[f\sigma^2 - B_9^2\right]^{1/2}$ | $B_{10}$ 0,31 |

Srednje specifične aktivnosti $Y_g$ (2) pojedinih serija g ($g = 1,2....f$) sa $n_g$ izvora u svakoj i faktorom razblaženja $D_g$, nadjene su na osnovu specifične aktivnosti $X_{gk}$ k-tog izvora u g-toj seriji ($k = 1,2...n_g$, $\sum_{g=1}^{f} n_g = n$) po relaciji:

$$Y_g = D_g \bar{X}_g = D_g \frac{\sum_{k=1}^{n_g} X_{gk}}{n_g} \quad (s^{-1}/mg)$$

sa standardnom greškom

$$\sigma_g = \frac{100}{\bar{X}_g} \left[ \frac{\sum_{k=1}^{n_g} (X_{gk} - \bar{X}_g)^2}{n_g(n_g - 1)} \right]^{1/2} \quad (\%)$$

Pripisujući serijama istu težinu, srednja specifična aktivnost jačeg rastvora $\bar{Y}$ je:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{g=1}^{f} Y_g}{f}$$

sa standardnom greškom

$$\sigma = \frac{100}{\bar{Y}} \left[ \frac{\sum_{g=1}^{f} (Y_g - \bar{Y})^2}{f(f-1)} \right]^{1/2} \quad (\%)$$

Pošto na standardnu grešku $\sigma$, pored grešaka $A_j$ iz tab. 4, preko srednje vrednosti serija $\bar{Y}$ utiče i razblaženje, poredjenjem $\sigma$ i $B_9$ nalazi se greška $B_{10}$, koja se može pripisati uticaju razblaženja na srednju vrednost specifične aktivnosti osnovnog rastvora $\bar{Y}$:

$$B_{10} = \left[ f\sigma^2 - B_9^2 \right]^{1/2}$$

Srednja specifična aktivnost osnovnog rastvora $\bar{Y}$ se tada daje kao

$$\bar{Y}\ (s^{-1}/mg) \pm \sigma(\%)$$

sa sistematskom greškom koja nije veća od $\sum_{j=1}^{10} B_j$

STANDARDIZATION PROCEDURES OF A RADIOACTIVE SOLUTION BY A 4-pi METHOD

Hadžišehović M., Paligorić D.

"Boris Kidrič" Institute of Nuclear Sciences, Vinča

A b s t r a c t

The paper describes a procedure for the standardization of a radioactive solution in the case of specific activity measurement of the solution $^{90}Sr$ - $^{90}Y$ given here with a statistical error of 0.18% and maximum systematic error of 1.2%.

To investigate the influence of dilution techniques on the mean value of the specific activity of the initial solution, two identical radioactive solutions of different specific activities were measured. One of them was diluted in several independent solutions and the other was directly measured. The error of dilutions was found to be 0.31%.

L i t e r a t u r a

1. Cavallo M. L. and Mann B. W., Metrology of Radionuclides - Proceedings, p. 117, International Atomic Energy Agency, Vienna (1960).

2. Ščigoljev M. B. Matematičeskaja obrabotka nabljudenij; Gosudarstvennoe izdateljstvo fiziko-matematičeskoj literaturi, Moskva (1962).

# OBRADA SPEKTARA GAMA ZRAČENJA NA DIGITALNOJ RACUNSKOJ MASINI

Slavić I.A.,Bingulac S.P.
Institut "Boris Kidrič" - Vinča

Rezime

Opisan je metod analize spektara gama zračenja na digitalnoj računskoj mašini.Odgovarajući program,napisan u FORTRAN IV jeziku,omogućava obradu pikova (foto,SEP i DEP) pri čemu se kao izlazne veličine mogu dobiti amplitude,položaji centroida,širine i površine pikova sa odgovarajućim greškama.Vreme obrade je 5 - 10 sek po piku.

Prednosti ovog programa u poredjenju sa postojećim sličnim programima su: poboljšana tačnost fitovanja,veća osetljivost u izdvajanju pikova iz fona i mogućnost prilagodjavanja programa za obradu većeg broja ulaznih podataka bez bitnih zahteva u pogledu povećanja memoriskog kapaciteta računske mašine.

## U v o d

Savremena gama spektrometrija zahteva korišćenje Ge/Li detektora sa visokom moći energetskog razlaganja (oko 3 KeV za linije $^{60}$Co).Optimalni rezultati dobijaju se ako je prateća elektronika odgovarajućeg kvaliteta sa analizom impulsa na višekanalnom analizatoru uz visoku disperziju spektra (npr. 1 KeV po kanalu).Tada se na analizatoru dobija veliki broj podataka koje treba crtati pa tražiti centroide,odvajati od fona,odredjivati visine, poluširine i površine sa odgovarajućim greškama za sve aktuelne pikove (foto i one od par efekta,tj. sa nedetektovanim jednim - "Single Escape Peak",odn. dva anihilaciona kvanta - "Double Escape Peak").Kako je broj podataka,uključujući i kalibracione spektre,više hiljada,jasno je da se nameće potreba njihove obrade automatski na računskoj mašini.

Detaljan opis metode za obradu na digitalnoj računskoj mašini dat je u radu /1/ kao i u radu Mariscotti-a /2/.

Program se sastoji iz dva dela - a) procene broja i parametara pojedinih pikova uporedjivanjem drugih diferencija sa standardnom devijacijom,i - b) fitovanja (identifikacije) pojedinih pikova poboljšanim algoritmom metode najmanjih kvadrata.

## Kratak opis metode

a) Za procenu broja pikova i parametara pojedinih pikova polazi se od sledećeg: pretpostavlja se da se jedan pik može pretstaviti jednom gausovom funkcijom a da se fon ispod pika može dati kao linearna funkcija u njegovoj najbližoj okolini. Tada se za realan diskretan spektar daje sledeća forma:

$$N_i = A \exp\left[-(i-i_o)^2/(2\sigma^2)\right] + B + C\,i \qquad (1)$$

gde je: A - visina pika, i - kanali (apscisa), $i_o$ - položaj centroida a parametar $\sigma$ je povezan sa poluširinom $\Gamma$ (FWHM) relacijom $\Gamma = 2.355\,\sigma$.

Ako se naprave druge diferencije

$$S_i = N_{i+1} - 2N_i + N_{i-1} \qquad (2)$$

vidi se da otpada linearni deo jedn.(1), tj. fon tako da bi, u idealnom slučaju (kontinuirana - "glatka" kriva), samo ispitivanje da li je $S_i$ nula ili ne bilo dovoljno da se kaže da u toj oblasti nema ili ima pika. Zbog statističke i diskretne prirode merenja, $S_i$ mora da se poredi sa svojom standardnom devijacijom:

$$F_i = (N_{i+1} + 4N_i + N_{i-1})^{1/2} \qquad (3)$$

Pokazuje se da druga diferencija nadmaša primetno svoju standardnu devijaciju samo ako visina pika znatno nadmaša visinu fona i poluširinu pika. Da bi se analizirali i slabiji pikovi vrši se gladjenje funkcije $S_i$ u z-iterativnih usrednjavanja nekoliko sukcesivnih vrednosti (broj ovih vrednosti neka je w, tkz. "prozor"). Praktično se pokazalo da je optimalan izbor ovih parametara:

$$z_o = 5 \quad \text{i} \quad w_o = 0.6 \qquad (4)$$

Za izračunavanje standardne devijacije $F_i$, radi poredjenja sa već usrednjenom funkcijom $S_i(z,w)$ koristi se, prema /2/ :

$$F_i(z,w) = \left\{\varphi(z,w)\, N_i\right\}^{1/2} \qquad (5)$$

Ovo je jednostavno a dobro uprošćenje sa tabuliranim vrednostima faktora $\varphi(z,w)$ - do toga faktora se dolazi primenom na podatke jednog operatora sa osobinama koje verno odražavaju funkciju druge diferencije /1/.Taj faktor raste sa brojem iteracija z i širinom prozora w,što je razumljivo jer raste i nivo usrednjene funkcije $S_i(z,w)$.

Analiziranjem forme funkcije $S_i(z,w)$ za jedan opštiji slučaj,kada imamo dublet sa najmanjim razmakom izmedju centroida $\Gamma\cdot\sqrt{2}$,nalaze se uslovi koje treba da ispune redom nekoliko tačaka u posmatranoj oblasti da bi se otkrio pik i procenili grubo njegovi osnovni parametri.

b) Za fitovanje (identifikaciju) u jednoj oblasti - segmentu spektra (koji obuhvata npr. 21 kanal) uzima se matematički model:

$$Y(i,b) = b_1\exp\left\{-\left[(i-b_2)/b_3\right]^2\right\} + b_4+b_5(i-b_2)+b_6(i-b_2)^2 + +b_7\exp\left\{-\left[(i-b_8)/b_3\right]^2\right\} \qquad (6)$$

gde je: i - nezavisno promenljiva (kanali) a b kratko označava parametre korespondentno onima u jedn.(1).Vidi se da za singlet imamo $b_7 = b_8 = 0$,inače je dublet.Jasno je da su $b_1$ i $b_7$ visine, $b_2$ i $b_8$ pozicije centroida,$b_4$ i $b_5$ parametri fona a $b_6$ je parametar asimetrije gausove krive koji je obično mali.

Gornju,teorisku krivu treba odrediti tako da je što više približimo eksperimentalnim vrednostima $Y_{exp}(i)$,tj. da imamo minimalnu grešku:

$$E(i,b) = Y(i,b) - Y_{exp}(i) \qquad (7)$$

Ova greška menja znak pa se kao merilo približnosti uzima jednoznačna funkcija zbira kvadrata (7) u oblasti pika normiranih sa eksperimentalnim podacima,tj.:

$$F(b) = 0.5 \sum_{i_o-M}^{i_o+M} \left[E(i,b)\right]^2/Y_{exp}(i) \qquad (8)$$

gde je 2M+1 širina posmatranog segmenta.

Problem fitovanja sveden je na traženje minimuma funkcije F(b).Do minimuma se dolazi iterativnim računanjem parametara preko modifikovanog Gauss-Newton-ovog gradijentnog algoritma, tj. dajući nove vrednosti parametrima posle svake p-te iteracije:

$$b^{(p+1)} = b^{(p)} + \Delta b^{(p)} \tag{9}$$

gde je priraštaj parametara:

$$\Delta b^{(p)} = - k^{(p)} \cdot G^{(p)} \nabla_b F \left[ b^{(p)} \right] \tag{10}$$

tu je

$$\nabla_b F(b) = \left\{ \partial F(b) / \partial b_n \right\} \tag{11}$$

gradijent,vektor svih parametara (n); $G^{(p)}$ - matrica transformacije a $k^{(p)}$ - konstanta,tj. korak za koji je pokazano /3/ da treba da bude :

$$k^{(p)} = \begin{Bmatrix} 1 \text{ za konvergentan proces} \\ 0.5k^{(p-1)} \text{ za diverg. proc.} \end{Bmatrix} \tag{12}$$

Proces iteracije ide sve dok suma priraštaja parametara ne postane manja od nekog unapred zadatog broja $e_b$:

$$\left[ \sum_{n=1}^{N} (\Delta b_n)^2 \right]^{1/2} \leq e_b \tag{13}$$

Pored ovoga uslova korisno je imati i sledeći uslov:

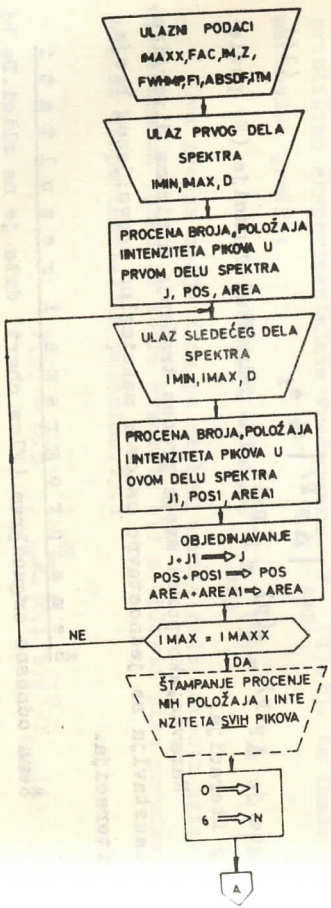
$$\left| \Delta F^{(p)} \right| \leq e_f \tag{14}$$

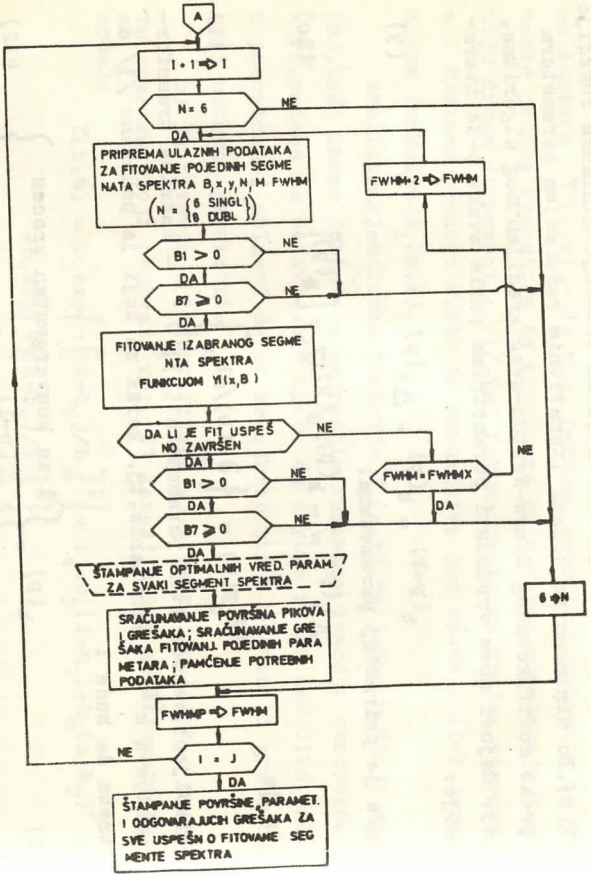
gde je $\Delta F^{(p)} = F^{(p)} - F^{(p-1)}$,tj. priraštaj funkcije (8) posle p iteracija.

Naravno,ako pored svega proces traženja minimuma divergira, zaustavlja se jednostavno uslovom maksimalno dozvoljenog broja iteracija.

## Šema programa i rezultati

Šema odnosno organigram (Flow chart) data je na slici.Da bi se ekonomisalo sa memoriskim kapacitetom mašine spektar se uzima u nekoliko delova koji se malo preklapaju (da se ne bi preskočio


ULAZNI PODACI
IMAXX,FAC,IM,Z,
FWHMP,FI,ABSDF,ITM
ULAZ PRVOG DELA SPEKTRA
IMIN,IMAX,D
PROCENA BROJA,POLOŽAJA I INTENZITETA PIKOVA U PRVOM DELU SPEKTRA
J, POS, AREA
ULAZ SLEDEĆEG DELA SPEKTRA
IMIN,IMAX,D
PROCENA BROJA,POLOŽAJA I INTENZITETA PIKOVA U OVOM DELU SPEKTRA
J1, POS1, AREA1
OBJEDINJAVANJE
J+J1 ⟹ J
POS+POS1 ⟹ POS
AREA+AREA1 ⟹ AREA
IMAX = IMAXX
NE
DA
ŠTAMPANJE PROCENJENIH POLOŽAJA I INTENZITETA SVIH PIKOVA
0 ⟹ I
6 ⟹ N
A


A
I+1 ⟹ I
N = 6
NE
DA
PRIPREMA ULAZNIH PODATAKA ZA FITOVANJE POJEDINIH SEGMENATA SPEKTRA B,x,y,N,M FWHM
(N = {6 SINGL, 8 DUBL})
FWHM+2 ⟹ FWHM
B1 > 0
NE
DA
B7 ≥ 0
NE
DA
FITOVANJE IZABRANOG SEGMENTA SPEKTRA FUNKCIJOM Y1(x,B)
DA LI JE FIT USPEŠNO ZAVRŠEN
NE
DA
B1 > 0
NE
DA
B7 ≥ 0
NE
DA
FWHM = FWHMX
NE
DA
ŠTAMPANJE OPTIMALNIH VRED. PARAM. ZA SVAKI SEGMENT SPEKTRA
SRAČUNAVANJE POVRŠINA PIKOVA I GREŠAKA; SRAČUNAVANJE GREŠAKA FITOVANJ. POJEDINIH PARAMETARA; PAMĆENJE POTREBNIH PODATAKA
6 ⟹ N
FWHMP ⟹ FWHM
I = J
NE
DA
ŠTAMPANJE POVRŠINE, PARAMET. I ODGOVARAJUĆIH GREŠAKA ZA SVE USPEŠNO FITOVANE SEGMENTE SPEKTRA

eventualni pik na prelazu).Zato se,po učitavanju: IMAXX (poslednji kanal u celom spektru),FAC - faktora potrebnog za izračunavanje jedn.(5),IM - broja koji odredjuje "prozor" w po relaciji $w = 2M + 1$, z - broja iterativnih usrednjavanja,jedn.(4),FWHMP - početne vrednosti poluširine,Fl - unapred zadatog malog broja $e_b$ (13), ABSDF - unapred zadatog malog broja $e_f$ (14) i ITM - maksimalno dozvoljenog broja iteracija,

učitavaju IMIN i IMAX - granice pojedinih delova spektra i eksperimentalni podaci D.

Tada se nalazi,po a): J - broj pikova,POS - kanali procenjenih centroida (pozicije) i AREA - relativan odnos visina pikova uzev najveći kao "1" (ovo se po želji štampa - crtičast blok).

Poslednji blok prvog dela daje indeksu I nula vrednost da bi u prvom bloku drugog dela taj indeks krenuo sa vrednošću $I = 1$,tj. pristupa se fitovanju prvog segmenta spektra.Fitovanje svakog segmenta spektra započinje pripremom ulaznih podataka, što podrazumeva sračunavanje početnih vrednosti parametara $b_1$,... ..$b_8$, sa kojima će se započeti fitovanje.Za slučaj kada su dva susedna pika dovoljno bliska,oni se tretiraju kao dublet i tada broj parametara koji se podešavaju iznosi $N = 8$; u drugom slu - čaju je $N = 6$ a $b_7 = b_8 = 0$.

Početne vrednosti parametara sračunavaju se na osnovu procene broja,položaja i intenziteta pikova,obavljenih u prvom delu programa.Posle toga se pristupa fitovanju izabranog segmenta spektra.Fitovanje se smatra uspešno završenim ako se u okviru unapred zadatog broja iteracija postigao jedan od uslova (13) ili (14).U protivnom,početna vrednost za $b_3$ odnosno FWHM se povećava za 2 i pristupa se ponovnom sračunavanju početnih vrednosti parametara i fitovanju tog segmenta spektra.

Ukoliko se za početne ili optimalne vrednosti parametara $b_1$ ili $b_7$ dobiju negativne vrednosti,prekida se fitovanje tog segmenta spektra i prelazi na sledeći.Po završetku fitovanja svakog segmenta mogu se po želji štampati neki od medjurezulta-

ta fitovanja tog segmenta.Pre prelaza na novi segment spektra pamte se parametri $b_1, b_2, b_3, b_7, b_8$ tog segmenta i sračunavaju se greške fitovanja tih parametara.Na osnovu tako dobijenih podataka računaju se površine ispod pikova po relaciji

$$P = 1.064\ b_3\ (b_1 + b_7)$$

pa se i greška odredjivanja površine odredjuje kao greška proizvoda /4/.

Takodje se,pre prelaza na fitovanje sledećeg segmenta spektra,promenljivoj FWHM koja odredjuje parametar $b_3$ daje vrednost FWHMP koja odgovara početnoj vrednosti i time se ostvaruje mogućnost za započinjanje fitovanja sledećeg segmenta spektra.

Po završetku fitovanja svih segmenata spektra (svih pikova koji su u prvom delu programa detektovani ) pristupa se definitivnom štampanju željenih rezultata za svaki uspešno fitovani segment spektra.

Program je testiran uporedjujući rezultate sa rezultatima koje je za iste ulazne podatke dao program Mariscotti-a /2/ ; greške fitovanja su manje ma da su na isti način odredjivane. Takodje postoji i razlika u broju uspešno fitovanih segmenata : od 44 detektovana segmenta ovde opisani program uspešno je završio fitovanje 31-og segmenta (od kojih 8 dubleta) dok je po /2/ uspešno završenih 28 segmenata (od kojih 5 dubleta).

# ANALYSIS OF GAMMA-RAY SPECTRA ON A DIGITAL COMPUTER

Slavić I.A.,Bingulac S.P.
Institute "Boris Kidrich" - Vincha

## Abstract

The method of gamma-ray spectra analysis on a digital computer is described.The corresponding program written in FORTRAN IV can be used for the analysis of spectral peaks (i.e. photo,SEP and DEP),in which case the following output results can be obtain: peak heights,centroid positions,FWHM and surfaces of the peaks and respective errors.The analysis takes 5 - 1o sec per peak.

The advantages of the program compared with the present similar programs are: improved fitting accuracy,higher sensitivity in peak separation from the background and the possibility of applying the program in the analysis of more input data without essential requirements for increasing the computer memory capacity.

## R e f e r e n c e

/1/ IBK publikacija 1969

/2/ Mariscotti M.A.,Nucl.Instr.& Meth., 50 (1967) 3o9

/3/ Bingulac S.P.,Parametar Optimization on Digital Computers,III Medjunarodni simpozium o obradi podataka,Ljubljana 1967

/4/ Zimmermann W.,Rev.Sci.Instr., 32 (1961) 1o63

# PRENOSNI INSTRUMENTI ZA MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE X I GAMA ZRAČENJA

Muždeka S., Mirić P., Šobajić M., Blagojević R.,
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Opisani su razvijeni prenosni instrumenti namenjeni za merenje jačine ekspozicione doze X i gama zračenja. Kao detektori zračenja upotrebljene su jonizacione komore.

Instrument za merenje gama zračenja ima šest linearnih mernih opsega: 10 mR/h, 100 mR/h, 1 R/h, 10 R/h, 100 R/h i 1000 R/h. Instrument za merenje X zračenja ima prozor debljine 12 mgr/cm$^2$ i merne opsege 20 mR/h,200 mR/h, 2 R/h i 20 R/h

## U v o d

Instrumenti koji kao detektore zračenja koriste jednosmerne jonizacione komore zahtevaju upotrebu stabilnih jednosmernih pojačavača sa visokom ulaznom impedancom. Kod prenosnih instrumenata problemi koje treba rešiti su naročito teški jer se mere struje reda $10^{-12}$ do $10^{-14}$ A a mogućnosti u pogledu izvora napajanja i kompleksnosti elektronskih kola zbog malo raspoloživog prostora, odnosno male dozvoljene težine, prilično su ograničene. Većina prenosnih instrumenata za merenje jačina ekspozicionih doza zračenja koji se u svetu danas nalaze u upotrebi koriste u jednosmernim pojačavačima kao aktivne ulazne komponente elektrometarske cevi. Tranzistori sa izolovanim gejtom imaju dimenzije i potrošnju električne energije slične običnim bipolarnim tranzistorima, ulaznu impedancu reda $10^{15}$ Ohma i nulti temperaturni koeficijent. Ove osobine čine ih veoma pogodnim za upotrebu kao ulaznih aktivnih komponenata u instrumentima za merenje jačine ekspozicione doze zračenja jer omogućavaju projektovanje elektronskih kola koja zauzimaju malo prostora, troše malo električne energije i odlikuju se dobrom stabilnošću.

U ovom radu opisana su dva tipa razvijenih prenosnih instrumenata namenjenih za merenje jačine ekspozicione doze X i gama zračenja. Kao ulazne aktivne komponente u pojačavaču sa jakom negativnom povratnom spregom primenjeni su tranzistori sa izolovanim gejtom. Naponi za pojačavač i jonizacionu komoru dobijaju se preko pretvarača napona iz baterija 2x1,5 V.

Instrument za merenje gama zračenja PD-6F namenjen je za rad u terenskim uslovima. Omogućava merenja jačine ekspozicione doze zračenja u opsegu od 1 mR/h do 1000 R/h. Ovako širok opseg merenja obično se pokriva instrumentom sa logaritamskom skalom. To dovodi do velikih grešaka u očitavanju rezultata merenja usled komprimovanosti logaritamske skale, odstupanja od logaritamskog zakona samoga logaritamskog elementa, kao i zbog uticaja temperature i vremena. U razvijenom instrumentu usvojena je koncepcija da se sva merenja vrše sa linearnom skalom koja omogućava tačnost bolju od 10%. Instrument ima šest linearnih mernih opsega: 10 mR/h, 100 mR/h, 1 R/h, 10 R/h i 1000 R/h.

Instrument za merenje jačine ekspozicione doze X i gama zračenja PDX-4F namenjen je za laboratorijske svrhe. Omogućava merenja X zračenja energija većih od 30 keV. Ima četiri linearna opsega: 20 mR/h, 200 mR/h, 2 R/h i 20 R/h.

## Prenosni dozimetar PD-6F

### Princip rada

Princip rada instrumenta objašnjen je preko blok šeme prikazane na slici 1.

Kao detektori zračenja koriste se dve jonizacione komore. U polju zračenja dolazi do jonizacije vazduha u komorama i pod uticajem električnog polja stvara se jednosmerna struja srazmerna jačini ekspozicione doze i zapremini komore. Struja je odredjena relacijom:

$$I = \frac{V \times R \times 10^{-16}}{1,06} \quad (A)$$

gde je:

V - zapremina komore u $cm^3$

R - jačina ekspozicione doze u mR/h.

Osetljivi opsezi merenja zahtevaju jonizacione komore velike zapremine da bi se dobile struje koje se mogu meriti. Kod grubljih opsega zbog relativno velikih struja da bi se sakupili svi proizvedeni joni treba primeniti velike napone ili koristiti male komore.

U realizovanom instrumentu pokriven je opseg od šest dekada pomoću dve jonizacione komore $K_2$ i $K_1$ čije se zapremine nalaze u odnosu 99:1. Pri merenju malih jačina ekspozicionih doza zračenja koriste se obe jonizacione komore paralelno vezane. Pri merenju većih jačina ekspozicionih doza zračenja veća komora se isključuje pomoću prekidača $R_{1k}$ kratkim spajanjem centralne elektrode ove komore na masu. Dioda D obezbedjuje dovoljno veliku ulaznu otpornost od ulaza u pojačavač prema masi.

Merenje struje se vrši pomoću jednosmernog pojačavača sa velikom ulaznom impedancom i malom odvodnom strujom. U negativnoj povratnoj sprezi pojačavača na visokoomskom otporu $R_p$ stvara se pad napona proporcionalan struji iz jonizacione komore. Napon se meri na niskoj impedanci mikroampermetrom postavljenim na izlazu pojačavača. Skretanje mikroampermetra srazmerno je jačini ekspozicione doze zračenja.

Instrument se napaja iz baterija koje posredstvom pretvarača napona daju potrebne stabilisane niske napone za pojačavač i visoki napon za jonizacionu komoru.

Š e m a

U ulaznom kolu pojačavača, slika 2, u prvom diferencijalnom stepenu koji služi za transformaciju impedance koriste se tranzistori sa izolovanim gejtom. Radne tačke oba tranzistora postavljene su u područje malog temperaturnog koeficijenta. Drugim diferencijalnim stepenom dobija se naponsko pojačanje. Ukupno pojačanje pojačavača je veće od 500. Potenciometrom $P_1$ reguliše se nula izlaza pojačavača.

Naponi od - 6V i + 12V stabilisani su pomoću Zener dioda. Dobijaju se iz baterije 2x1,5 V preko pretvarača napona. Napon na jonizacionoj komori od - 300 V stabilisan je preko maksimalne vrednosti fluksa u jezgru transformatora.

Stabilnost nule instrumenta bolja je od 5% pune skale za osam časova rada.

O p s e z i  m e r e n j a

Opseg merenja je odredjen zapreminom jonizacione komore, vrednošću visokoomskog otpora u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača i naponskom osetljivošću mernog instrumenta. Odgovarajućom promenom ovih elemenata pokriven je široki domen od šest linearnih mernih opsega.

Upotrebljene su jonizacione komore $K_2$ zapremine 990 $cm^3$ i $K_1$ zapremine 10 $cm^3$. Za opseg merenja do 10 R/h koriste se obe u paralelnom radu. Pri korišćenju opsega od 100 R/h i 1000 R/h prekidačem $r_{13}$ isključuje se veća komora i ukupna zapremina smanjuje za faktor 100. Dioda baza emiter tranzistora 2N 2484 ima malu inverznu struju zasićenja reda $10^{-12}$ A. Ovo obezbedjuje pri merenju velikih jačina ekspozicionih doza zračenja dovoljnu izolacionu otpornost od ulaza u pojačavač prema masi.

U negativnoj povratnoj sprezi pojačavača stalno je vezan otpornik od $3x10^{11}$ Ohm. On se koristi kada su uključene obe jonizacione komore za opsege merenja 10 mR/h i 100 mR/h. Prebacivanje izmedju ova dva opsega merenja vrši se na izlazu pojačavača promenom za faktor 10 naponske osetljivosti mernog instrumenta. Opsezi merenja 1 R/h i 10 R/h ostvareni su na analogan način upotrebom obe jonizacione komore i uk-

TAB. br. 1

| Opseg merenja (R/h) | Zapremina komore ($cm^3$) | Struja (A) | Merni otpor (Ohm) | Izlazni napon (V) |
|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 1000 | $10^{-12}$ | $3.10^{11}$ | 0,3 |
| 0,1 | 1000 | $10^{-11}$ | $3.10^{11}$ | 3 |
| 1 | 1000 | $10^{-10}$ | $3.10^{9}$ | 0,3 |
| 10 | 1000 | $10^{-9}$ | $3.10^{9}$ | 3 |
| 100 | 10 | $10^{-10}$ | $3.10^{9}$ | 0,3 |
| 1000 | 10 | $10^{-9}$ | $3.10^{9}$ | 3 |

ljučenjem u negativnu povratnu spregu pojačavača posredstvom relea $r_{12}$ otpornika od $3x10^9$ Ohm paralelno otporniku $3x10^{11}$ Ohm. Opsezi merenja od 100 R/h i 1000 R/h ostvareni su isključenjem releom $r_{13}$ komore od 990 $cm^3$ i upotrebom samo komore od 10 $cm^3$ uz zadržavanje istog mernog otpora od $3x10^9$ Ohm. U tabeli 1 date su za sve merne opsege vrednosti zapremine komore, struje, mernog otpora i izlaznog napona.

Predvidjeno je da se instrument može podesiti na nulu i pri vrlo velikim jačinama ekspozicione doze zračenja, većim od 1000 R/h, uključenjem u negativnu povratnu spregu pojačavača releom $r_{11}$ otpornika od $10^4$ Ohm.

## Prenosni dozimetar PDX-4F

Instrument je izradjen u obliku pištolj dozimetra. Namenjen je za merenja ekspozicionih doza X i gama zračenja. Kao detektor zračenja koristi se cilindrična jonizaciona komora zapremine 0,5 litara sa tankim prozorom koji omogućava merenja X zračenja energija većih od 30 keV. Elektronsko rešenje je slično rešenju primenjenom u dozimetru PD-6F. Napaja se iz baterije 2x1,5 V.

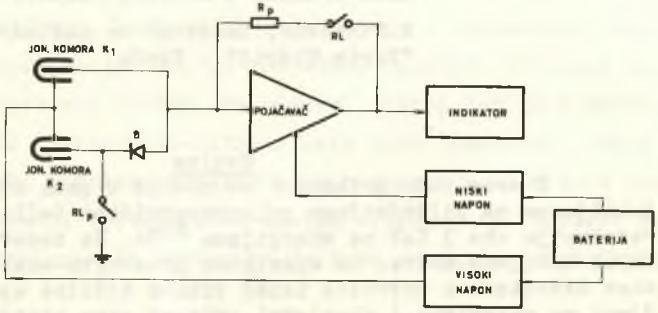
Instrument ima četiri linearna merna opsega od 2o mR/h 200 mR/h, 2 R/h i 20 R/h. Lako se može prilagoditi sa istom komorom za integraciono merenje doza zračenja od 2 mR/h do 20 R/h a sa komorom manje zapremine i za merenje većih doza zračenja.


## Summary

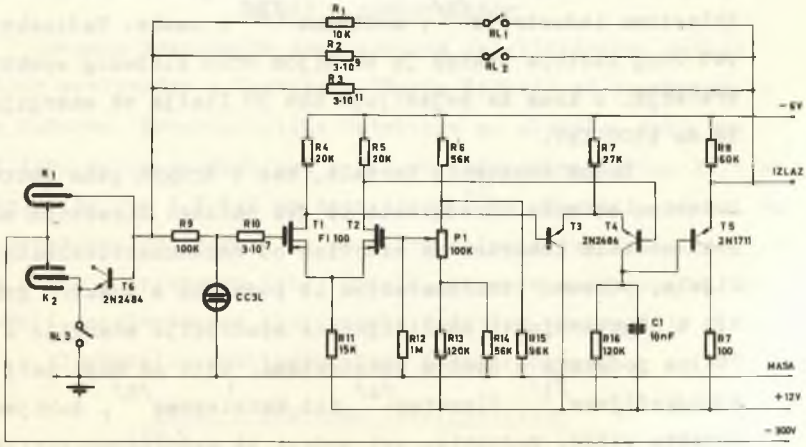
PORTABLE EXPOSURE RATE METERS FOR X AND GAMMA RADIATIONS

Portable instruments for measuring the exposure rate of X and gamma radiations are desrribed. Ionization chambers were used as radiation detectors.

The instrument for gamma radiation measurement has six linear measuring ranges: 10 mR/h, 100 R/h, 1 R/h, 10 R/h, 100 R/h, and 1000 R/h. The instrument for X radiation measurement has a window 12 $mg/cm^2$ thick and measuring ranges of 20 mR/h, 200 mR/h, 2 R/h, and 20 R/h.


Rp
RL
JON. KOMORA K1
POJAČAVAČ
INDIKATOR
B
JON. KOMORA K2
NISKI NAPON
RLp
BATERIJA
VISOKI NAPON

SL. 1


R1 10K
RL 1
R2 3·10^9
RL 2
R3 3·10^11
-6V
R4 20K
R5 20K
R6 56K
R7 27K
R8 60K
IZLAZ
K1
R9 100K
R10 3·10^7
T1 FI 100
T2
P1 100K
T3
T4 2N2484
T5 2N1711
K2
T6 2N2484
CC3L
RL 3
R11 15K
R12 1M
R13 120K
R14 56K
R15 96K
C1 10nF
R16 120K
R17 100
MASA
+12V
-300V

SL. 2

# GAMA SPEKTAR I DOZNA KONSTANTA $^{182}$Ta

M.Ninković, Institut za nuklearne nauke
"Boris Kidrič" - Vinča

## Rezime

U ovom radu prikazani su podaci o gama spektru $^{182}$Ta, snimljenom na cilindričnom poluprovodničkom Ge(Li)-detektoru, rezolucije oko 3 KeV na energijama $^{60}$Co. Na osnovu eksperimentalno dobijene krive, za apsolutnu prostorno-energetsku efikasnost detektora i površina ispod pikova totalne apsorpcije, odredjeni su relativni i apsolutni prinosi gama linija u spektru.

Korišćenjem najnovijih literaturnih podataka, za koeficijente transfera energije gama zračenja u vazduhu i dobijenih vrednosti za apsolutne prinose, izračunate su parcijalne, grupne i totalna dozna konstanta.

## Uvod

Izotop tantala sa masenim brojem 182 i vremenom poluraspada od 115 dana, koristi se kao izvor gama zračenja u raznim oblastima industrije /1/, medicine /2/ i nauke. Radioaktivni raspad ovog izotopa praćen je emisijom vrlo složenog spektra gama zračenja, u kome se pojavljuje oko 30 linija sa energijama od 30 do 1500 KeV.

Dozna konstanta tantala, kao i drugih gama emitera, u principu se može odredjivati na dva načina: direktnim merenjem jonizacionim komorama sa zidovima od vazduhoekvivalentnog materijala, odnosno izračunavanjem iz podataka o spektru gama zračenja i odgovarajućih koeficijenata apsorpcije energije u vazduhu. Većina podataka o doznim konstantama, koji se mogu naći u raznim monografijama /3/, člancima /4/ ili katalozima /5/, dobijeno je računskim putem. Medjutim, ovi podaci se medjusobno razlikuju i za 50 %, uglavnom zbog nedovoljno tačnih podataka o prinosima gama linija u spektru, koji su korišćeni u proračunu.

Spektar gama zračenja $^{182}$Ta, ranije je odredjivalo niz

autora[6-14], koristeći razne metode i tehnike, kao što su: kristalna difrakcija[6,7], komptonovski spektrometar[8], magnetni spektrometar, preko interne[9,10] i eksterne[11] konverzije, scintilacioni spektrometar[23] i konačno poluprovodnički [13,14]. Medjutim, kada se uporede podaci o prinosima, zapažaju se znatna neslaganja, što je posledica uglavnom izvesnih nepogodnosti pojedinih metoda. Na primer, podaci dobijeni merenjima na magnetnim i kristalno-difrakcionim spektrometrima, imaju zadovoljavajuću tačnost u domenu niskih energija, dok su u domenu viših odstupanja znatna usled manjih efikasnosti. Osnovni nedostatak scintilacionih detektora je loša energetska rezolucija, itd.

Za razliku od pomenutih tipova spektrometara, poluprovodnički Ge(Li), čija energetska rezolucija već dostiže vrednosti manje od 2 KeV na energijama $^{60}$Co, pružaju, kao što je već rečeno, znatno povoljnije mogućnosti za detaljnije upoznavanje složenih spektara.

## Eksperimentalna tehnika

### Ge(Li) - spektrometar

Osnovna komponenta ovog spektra je cilindrični Ge(Li) - detektor proizveden u Institutu "Boris Kidrič" od monokristala firme Hoboken. Karakteristike detektora su sledeće: debljina osetljivog sloja po radijusu - 7,7 mm, aksijalna dužina 32,6 mm, i rezolucija oko 3,5 KeV na energijama $^{60}$Co. Spektri snimani na ovom detektoru odlikovali su se malom asimetrijom fotopikova prema nisko energetskom delu. Ostale elemente spektrometra sačinjavali su:standardne elektronske jedinice proizvodnje firme ORTEC u višekanalni analizator tipa Nuclear Data.

### Izvor i aranžman izvor-detektor

Izvor $^{182}$Ta dobijen je katodnim raspršivanjem neaktivnog materijala na Al-foliji, debljine 2 mg/cm$^2$, koja je zatim ozračivana u fluksu termalnih neutrona reda $10^{13}$ n/cm$^2$.sec.Iz folije su potom isecani uzorci za merenje veličine približno 2x1,5 mm i pričvršćivani na specijalni nosač od pleksiglasa.

Nosač je bio tako izveden da je obezbedjivao maksimalnu reproduktivnost geometrije. Svi mereni izvori, uzorci tantala i kalibracioni, postavljani su pomoću nosača, sa prednje strane detektora u pravcu ose na rastojanju od 12 cm.

## Kalibracija energetske efikasnosti detektora

Za kalibraciju energetske efikasnosti detektora kombinovana su dva postupka. Prvo, dobro poznata metoda sa nekoliko standardnih izvora gama zračenja različitih energija i apsolutno izmerene aktivnosti /15/. Tačnost ovog postupka iznosi obično nekoliko procenata, zavisno od tačnosti sa kojom su odredjene aktivnosti izvora i naročito prinosi gama linija. Takodje na grešku utiče i lošija reproduktivnost geometrije u procesu sukcesivnog merenja više izvora. Kao apsolutni izvori korišćeni su: $^{241}Am$, $^{57}Co$, $^{203}Hg$, $^{22}Na$, $^{137}Cs$, $^{54}Mn$, $^{60}Co$ i $^{88}Y$, iz serije /16/.

Druga metoda kojom se odredjuje kriva relativne energetske efikasnosti zasniva se na korišćenju izvora sa kaskadnim ili dobro poznatim intenzitetima gama zračenja. Najpre je primenjena kod scintilacionih detektora /17/, a u zadnje vreme sve češće se koristi pri kalibraciji poluprovodničkih /18,19/. Tačnost ovog postupka je veća i kreće se u granicama od 1 %, ali samo u oblasti energija iznad 500 KeV, gde je konkurencija interne konverzije gama emisiji slabije izražena. Kao izvori sa kaskadnim prelazima korišćeni su izotopi: $^{180m}Hf$, $^{22}Na$, $^{46}Sc$, $^{60}Co$.

Snimljena kriva prostorno energetske efikasnosti našeg detektora data je na slici 4.

## Eksperimentalni rezultati

U toku celokupnog rada na $^{182}Ta$ ukupno su izvedena tri kompletna snimanja na dva detektora različitih osetljivih zapremina i kvaliteta. Svi snimci su kompletno obradjeni, tako da su za svaku liniju dobijena najmanje tri podatka. Konačne vrednosti prinosa odabrane su uzimanjem u obzir uslova snimanja i kvaliteta detektora. Praktično većina podataka citiranih u tabeli 1. predstavlja prinose koje smo izračunali iz

spektara datih na slikama 1 i 2, koji su snimljeni pod najpovoljnijim uslovima na detektoru čije su karakteristike navedene u ovom izveštaju. Ostali podaci poslužili su uglavnom kao kontrolni, održavajući uticaj uslova snimanja i kvaliteta detektora (rezolucija, veća asimetrija linija) na tačnost odredjivanja prinosa.

Na osnovu površine ispod pikova totalne apsorpcije i efikasnosti detektora (slika 4) odredjeni su apsolutni intenziteti gama linija u spektru. Dobijeni podaci navedeni su u tabeli I.

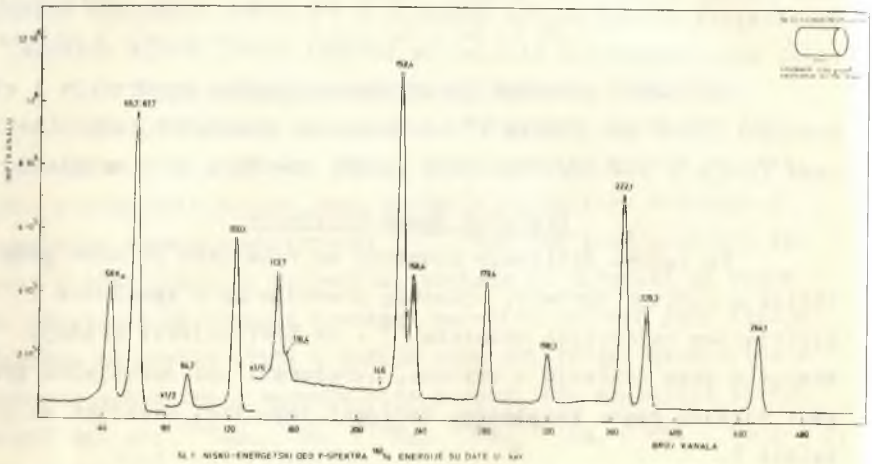
## Proračun dozne konstante

Na osnovu dobijenih podataka za relativne prinose gama linija u spektru tantala, njihovog prevodjenja u apsolutne i korišćenjem najnovijih podataka /20/, za koeficijente predaje energije gama zračenja u vazduhu, izračunali smo parcijalne grupne i totalnu doznu konstantu. Dobijeni rezultati navedeni su u tabeli I.

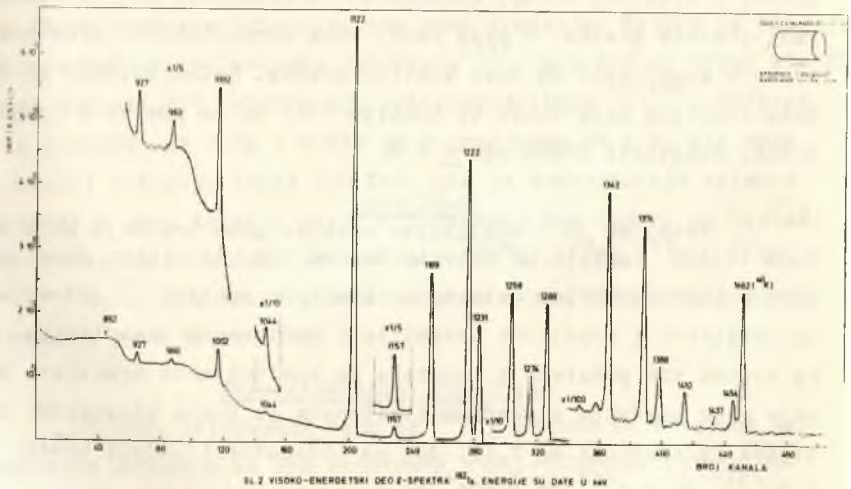
Pored podataka za vrednosti doznih konstanti u tabeli se daje i procentualno učešće parcijalnih, odnosno grupnih konstanti u totalnoj doznoj konstanti. Te vrednosti su interesantne radi procene greške. U ovom radu, zbog ograničenosti prostora, nismo u mogućnosti da damo analizu greške. Zadovoljićemo se samo konstatacijom koja sledi iz analize /21/ da se greška u totalnoj doznoj konstanti kreće oko ± 5 %.

## Zaključak

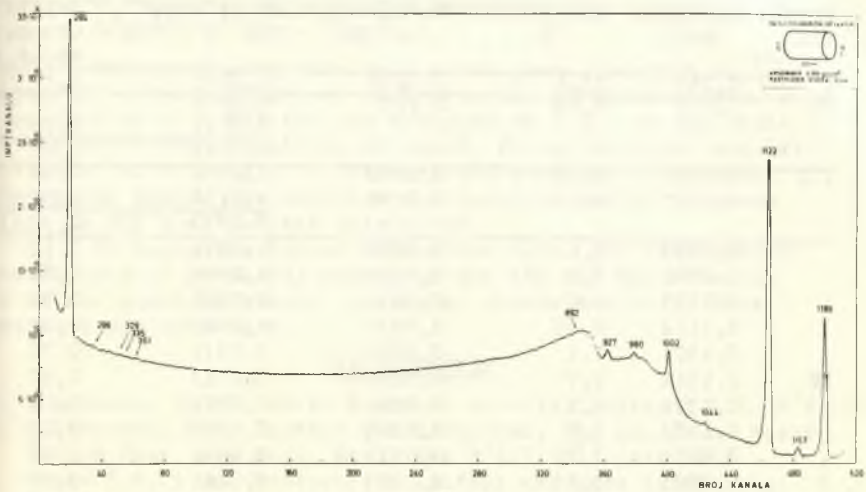
Snimljen je i analiziran spektar gama zračenja koje emituje izotop tantala sa masenim brojem 182, na visoko rezolucionom poluprovodničkom detektoru. Analizom spektra /22/ odredjeni su relativni i apsolutni intenziteti emitovanih gama linija. Na osnovu tih podataka i podataka za koeficijente transfera energije gama zračenja u vazduhu izračunata je dozna konstanta. Dobijena je vrednost od 7,11, dok se literaturni podaci kreću od 4,3 /23/ do 7,6 /4/ /$Rh^{-1}$ $mCi^{-1}cm^2$/.



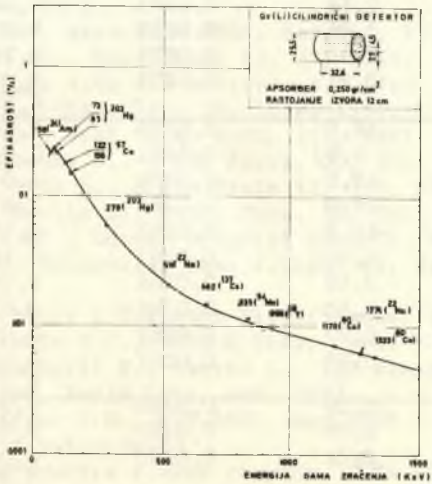

SL. 1 NISKO-ENERGETSKI DEO γ-SPEKTRA $^{182}$Ta. ENERGIJE SU DATE U keV




SL. 2 VISOKO-ENERGETSKI DEO γ-SPEKTRA $^{182}$Ta. ENERGIJE SU DATE U keV




SL.3 SREDNJI DEO γ-SPEKTRA $^{181}$Ta ENERGIJE SU DATE U keV




SL.4 APSOLUTNA PROSTORNO-ENERGETSKA EFIKASNOST POLUPROVODNIČKOG Ge(Li) DETEKTORA

TAB.I. Podaci za izračunavanje i konačne vrednosti parcijalnih, grupnih i totalne dozne konstante $^{182}Ta$

| Grup. lin. | Energija /MeV/ | Aps.prinos /%/ | Koef.tran. /$cm^2$/gr/ | Dozna konst. /$Rh^{-1}mCi^{-1}cm^2$/ | Doprinos ukupnoj konst. /%/ |
|---|---|---|---|---|---|
| I | 0,058 | 33,4 | 0,0298 | 0,1155 | 1,62 |
| II | 0,032 | 0,46 | 0,121 | 0,0036 | 0,05 |
| | | | | 0,0011 | 0,02 |
| | | | | 0,0047 | 0,07 |
| III | 0,0657 | 11,0 | 0,0262 | 0,0379 | 0,54 |
| | 0,0677 | 40,9 | 0,0256 | 0,1418 | 1,99 |
| | | | | 0,1797 | 2,53 |
| IV | 0,0847 | 2,4 | 0,0232 | 0,0094 | 0,13 |
| | 0,1001 | 13,0 | 0,0230 | 0,0598 | 0,84 |
| | 0,1137 | 1,8 | 0,0234 | 0,0096 | 0,14 |
| | 0,1164 | 0,36 | 0,0235 | 0,0020 | 0,03 |
| | 0,1524 | 7,1 | 0,0250 | 0,0539 | 0,76 |
| | 0,1564 | 2,7 | 0,0252 | 0,0213 | 0,30 |
| | 0,1794 | 3,1 | 0,0260 | 0,0292 | 0,41 |
| | 0,1983 | 1,5 | 0,0265 | 0,0160 | 0,23 |
| | 0,2220 | 7,72 | 0,0272 | 0,0932 | 1,31 |
| | 0,2293 | 3,68 | 0,0273 | 0,0461 | 0,65 |
| | 0,2641 | 3,59 | 0,0280 | 0,0531 | 0,75 |
| | | | | 0,3936 | 5,54 |
| V | 0,892 | - | 0,0284 | - | - |
| | 0,927 | 0,55 | 0,0283 | 0,0289 | 0,41 |
| | 0,960 | 0,36 | 0,0281 | 0,0194 | 0,27 |
| | 1,002 | 1,90 | 0,0279 | 0,1081 | 1,52 |
| | 1,044 | 0,21 | 0,0277 | 0,0122 | 0,17 |
| | | | | 0,1685 | 2.37 |
| VI | 1,122 | 36,0 | 0,0273 | 2,2046 | 31,01 |
| | 1,157 | 0,93 | 0,0271 | 0,0583 | 0,82 |
| | 1,189 | 17,0 | 0,0270 | 1,0887 | 15,32 |
| | 1,222 | 28,0 | 0,0268 | 1,8346 | 25,80 |
| | 1,231 | 11,6 | 0,0268 | 0,7654 | 10,77 |
| | 1,258 | 1,50 | 0,0267 | 0,1028 | 1,45 |
| | 1,274 | 0,69 | 0,0266 | 0,0468 | 0,66 |
| | 1,289 | 1,50 | 0,0265 | 0,0997 | 1,40 |
| | 1,342 | 0,27 | 0,0262 | 0,0190 | 0,27 |
| | 1,374 | 0,25 | 0,0261 | 0,0179 | 0,25 |
| | | | | 6,2378 | 87,73 |
| VII | 1,388 | 0,09 | 0,0260 | 0,0065 | 0,09 |
| | 1,410 | 0,05 | 0,0260 | 0,0037 | 0,05 |
| | 1,454 | 0,04 | 0,0258 | 0,0030 | 0,04 |
| | | | | 0,0132 | 0,18 |
| | | Totalna konstanta | | 7,11 | 100,0 |

## Abstract

GAMMA SPECTRUM AND DOSE CONSTANT $^{182}Ta$

M.Ninković, Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Vinča

The paper gives the data about gamma spectrum of $^{182}Ta$, measured on the cylindrical semiconductor Ge(Li)-detector, with a resulution of 3 KeV for the energies of $^{60}Co$. At the basis of the curve experimentally obtained, for an apsolute spacial-energetic efficiency of a detector and surfaces under total absorption peaks, the relative and absolute yields of gamma lines in the spectrum are determined.

By using the latest literature data, for the transfer coefficient of gamma-ray energy in the air and the obtained value for absolute yields, partials, groups and total dose constant are calculate.


## Bibliografija


1. E.Labusca, Et al. Revue Roumaine de metallurgie, T VII, N°2,1963
2. K.Kettunen, P.I. Tuovien and E Vauramo, The Am. J. of Roentg, Radium Ther, and Nucl. Med., Vol XCIII, N1, Jan, 1965
3. Gusev N.G. i dr. Radioktivie izotopi kak gama izlučatelji, M., Atomizdat, 1964.
4. W.Marth, Atompraxis 12, 8, 1966.
5. The Radiochemical Manual 2 nd Edition. The Radioshemical centre, Amersham, 1966.
6. Sumbayev J.O., Izv. Akad.Nauk SSSR, Ser.Fiz. 21,987, 1957.
7. Edwards F.W., et al., Nucl.Phys. 63, 97, 1965.
8. Vitman D.V.,Voinova A.Na and Dzelepov S.B.,Jad. Fiz. 2, 383,1965.
9. Fowler C., et al., Phys. Rev. 94, 1082, 1954.
10. Nilsson O., et al., Nucl.Phys. A100, 351, 1967.
11. Ryde H. and Sujkowsky Z., Arkiv Fysik, 20, 289, 1962.
12. Fröman P.O. and Ryde H., Arkiv Fysik 12, 399, 1957.
13. Korkman K. and Bäculin A., Nucl. Phys. 82, 561, 1966.
14. Voinova A.N., et al., Dubna, Preprint PG-2979, 1966.
15. G.T.Ewan and A.J. Tavendale, Can. J.Phys. 42, 2286, 1964.
16. IAEA Rep., 1968.
17. Vartanov A.N; Pribory i Tekhnika Eksperimenta, 2, 48, 1965.
18. Freeman M.J., Jenkin G.J., AERE-R 5142, 1966.
19. Stojanović M., Ninković M., Slavić I., III simpozijum za radiološku zaštitu, Banja Luka, okt. 1967.
20. Hubbell H.J., Berger J.M., NBS-8681, may,1965.
21. Ninković M., biće publikovano
22. Detaljna analiza spektra i šema raspada $^{182}Ta$ biće publikovana.
23. Katalog: Izotopi V/O, "Sojuzhim eksport", SSSR, Moskva.

# APSOLUTNO MERENJE EKSPOZICIONE DOZE GAMA ZRAČENJA VAZDUŠNOEKVIVALENTNOM KOMOROM

Novković D. i Bek-Uzarov Đ.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Beograd

R e z i m e

Prikazana je metoda merenja ekspozicione doze pomoću komore "naprstak" čiji su zidovi napravljeni od vazdušnoekvivalentnog materijala. Dat je pregled potrebnih korekcionih faktora, koje je neophodno odrediti, bilo računskim putem, bilo merenjem, da bi merenje bilo apsolutno.

## U v o d

Za apsolutno merenje ekspozicione doze rentgenskog i gama-zračenja energije veće od nekoliko stotina keV-a, koriste se pored normalnih jonizacionih komora i komore "naprstak" napravljene od čistog grafita. U nekim zemljama grafitne komore služe kao primarni standardni uredjaji za merenje ekspozicione doze (1,2). Ovaj rad opisuje merenje ekspozicione doze pomoću vazdušnoekvivalentne komore, tj. od komore čiji su zidovi napravljeni od materijala koji ima maseni apsorpcioni koeficijent približno isti kao i vazduh u energetskom opsegu od 10 keV-a do 3 MeV-a, i teorijski, u skladu sa Fano-ovom teoremom (3), trebalo bi da predstavlja bolje rešenje za merenje ekspozicione doze od merenja grafitnom komorom.

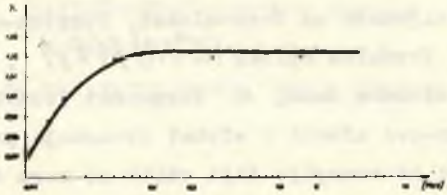
## Proračun vazdušnoekvivalentnog materijala

Prema definiciji, neki materijal biće ekvivalentan vazduhu, ako ima isti maseni apsorpcioni koeficijent i istu zaustavnu moć kao i vazduh. Joyet i dr. (4) su proračunali nekoliko sastava materijala čiji je maseni apsorpcioni koeficijent približno isti kao

i kod vazduha, upotrebljavajući eksperimentalne podatke za masene apsorpcione koeficijente iz (5). Drugi metod proračuna (6,7), koji je korišćen u ovom radu, zasnovan je na aproksimaciji masenih apsorpcionih koeficijenata za foto-efekat, Compton-ov efekat i efekat stvaranja parova formulom oblika $(Z^{a}/A)f(E_{\gamma})$, gde je $Z$ atomski broj, $A$ - atomska masa, $a$ eksponent jednak 4, 1 i 2 za fotoefekat, Compton-ove efekat i efekat stvaranja parova, respektivno, a $f(E_{\gamma})$ funkcija od energije čiji oblik ne mora da se poznaje prilikom proračuna. Upotrebom ovih aproksimativnih formula, proračun se svodi na rešavanje sistema od četiri linearne jednačine, gde su nepoznate procenti elemenata koji su uzeti u obzir prilikom proračuna a koeficijenti uz nepoznate su $Z^4/A$, $Z/A$, $Z^2/A$ i $1$. Na osnovu ovoga metoda proračuna dobijen je sledeći sastav vazdušnoekvivalentnog materijala: 0,3578 polistiren + 0,4772 grafit + 0,1402 $Al_2O_3$ + + 0,0248 Al.

Materijal gornjeg sastava dobija se presovanjem. Komponente vazdušnoekvivalentnog materijala u finom prahu dobro se izmešaju i stavljaju u kalup, koji se zagreva do temperature 180°C, na kojoj se smeša presuje pod pritiskom od 1000 kg/cm$^2$. Posle hladjenja kalupa dobija se čvrst komad, dobrih mehaničkih karakteristika, koji može da se obradjuje.

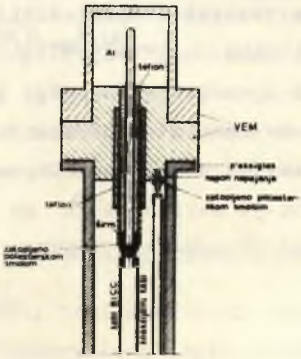
Proveravanje ekvivalentnosti dobijenog materijala izvršena je izračunavanjem količnika $\lambda = (\mu_a)_{VEM}/(\mu_a)_v$ ($(\mu_a)_{VEM}$ i $(\mu_a)_v$ su maseni koeficijenti apsorpcije energije za proračunati materijal i vazduh respektivno) na osnovu eksperimentalnih podataka o masenim apsorpcionim koeficijentima koje je publikovao G.R. White-Grodstein (5). Na sl. 1 prikazana je zavisnost $\lambda$ od energije gama-zračenja u energetskom opsegu od 10 keV-a do 3 MeV-a.



Sl. 1 - Zavisnost $\lambda$ od energije gama-zračenja

## Konstrukcija komore sa zidovima od vazdušnoekvivalentnog materijala

Komora korišćena u ovom radu je cilindričnog oblika sa dimenzijama šupljine Ø 2 x 2 cm. Prilikom konstruisanja komore (sl. 2) uzeta su u obzir tri važna faktora koji mogu smanjiti tačnost merenja. Prvo, zapremina komore mora da bude tačno definisana, što se postiže tačnim definisanjem linearnih dimenzija šupljine.




PRESEK KOMORE

Sl. 2 - Presek komore

Drugo, rasejanje od držača komore mora biti malo, a to se postiže stavljanjem vazdušnoekvivalentne mase izmedju držača komore i unutrašnje zapremine komore. Treće, ni jedna šupljina (napr. na spoju kabla sa sabirnom elektrodom) osim merne zapremine komore, ne sme da postoji, pošto bi davala parazitnu jonizaciju.

## Veza izmedju brzine ekspozicione doze i struje jonizacije u komori

Na osnovu definicije rentgena i teorije jonizacije u šupljini, dobija se sledeća relacija izmedju brzine doze $P(r/s)$ i merene struje jonizacije $i(A)$ za komoru naprstak:

$$P = \frac{1}{\lambda f} 3 \cdot 10^{9} \frac{i}{V}, \qquad (1)$$

gde je $f$ odnos apsorbovanih energija po gramu vazduha u šupljini i gramu materijala od koga je zid napravljen, $V$ zapremina komore u $cm^3$. $f$ se izračunava po Bragg-Gray-ovoj ili Spencer-Attix-ovoj teoriji jonizacije u šupljini. Na sl. 3 data je zavisnost $\lambda f$ od energije gama-zračenja, izračunata po Bragg-Gray-ovoj i po Spencer-Attix-ovoj teoriji. $\lambda f$ je u granicama 0,5% nezavisno od energije gama-zračenja u energetskom opsegu 0,2 do 3 MeV-a. Prema podacima koji

Sl. 3 - Zavisnost $\lambda f$ od energije gama-zračenja

mogu da se nadju u (8), u energetskom opsegu od 0,441 do 1,25 MeV-a $\lambda f$ se menja za grafitnu komoru za 1%.

Obe krive na sl. 3 korigovane su na efekat gustine prema Sternheimer-u (9).

## Korekcioni faktori

Realni uslovi merenja ne ispunjavaju idealizovane pretpostavke Bragg-Gray-ove ili Spencer-Attix-ove teorije jonizacije u šupljini, a takodje ni uslove pri kojima je rentgen definisan, zbog čega je neophodno uvesti nekoliko korekcionih faktora u relaciju (1):

$$P = \frac{1}{\lambda f} K_p K_r K_i K_g K_z K_\rho K_v \, 3\,10^9 \frac{i}{V}, \qquad (2)$$

u kojoj je:

$K_p$ - korekcioni faktor za eliminisanje slabljenja primarnog zračenja u zidu komore,

$K_r$ - korekcioni faktor za eliminisanje doprinosa rasejanog zračenja od držača komore,

$K_i$ - korekcioni faktor koji uzima u obzir nejednakost intenziteta primarnog zračenja u zidu komore,

$K_g$ - korekcioni faktor koji uzima u obzir nepoklapanje geometrijskog centra sa centrom jonizacije,

$K_z$ - korekcioni faktor zbog nedostizanja struje zasićenja,

$K_\rho$ - korekcioni faktor na gustinu vazduha,

$K_v$ - korekcioni faktor zbog vlažnosti vazduha.

Svi ovi faktori su izmereni ili izračunati za vazdušno-ekvivalentnu komoru za zračenje Co-60 i Cs-137. Nažalost, većina od ovih korekcionih faktora nisu konstante aparature, već zavise od geometrijskih uslova merenja, energije zračenja, atmosferskih uslova, i moraju se odredjivati prilikom svakog merenja ekspozicione doze. Prema A. Rakow-u i W. Will-u (1, 10) odredjeni su svi

navedeni korekcioni faktori za zračenje Co-60 i Cs-137. Merenja sa vazdušnoekvivalentnom komorom pokazala su da korekcioni faktor koji uzima u obzir nepoklapanje geometrijskog i jonizacionog centra $K_g$ jednak je jedinici u granicama eksperimentalne greške. Greška merenja dozvoljava odstupanje geometrijskog od jonizacionog centra do 0,5 mm. Ovaj eksperiment nije u skladu sa eksperimentom A. Rakow-a i W. Will-a (1, 10), koji su dobili na grafitnoj komori, da je odstupanje geometrijskog od jonizacionog centra jednako 1,25 cm.

Vrednosti ostalih korekcionih faktora slažu se u razumnim granicama sa merenjima A. Rakow-a i W. Vill-a.

## Greške koje unose korekcioni faktori

Većina od spomenutih korekcionih faktora moraju se odredjivati prilikom svakog merenja ekspozicione doze, zbog čega se vrednosti grešaka koje unose ti faktori (tabl. 1) moraju da shvate kao orijentacione.

Za apsolutno merenje ekspozicione doze, neophodno je napraviti uredjaj za apsolutno merenje struje (elektrometar vezan u Townsend-ovo kolo), što kod nas nije uradjeno. Bez većih teškoća struja u ovakvim uredjajima može da se meri sa greškom $\pm$ 0,5%. Greška u merenju unutrašnje zapremine komore je $\pm$ 0,5%, tako da će ukupna greška u merenju brzine ekspozicione doze biti oko 3%.

TAB. br. 1

Greške koje unose korekcioni faktori

| Korekcioni faktor | Greška (%) |
|---|---|
| $\lambda f$ | 0,6 (za Co-60) |
| $K_p$ | 0,3 (za Co-60) |
| $K_r$ | 0,3 (za Co-60) |
| $K_i$ | 0,05 (za Co-60) |
| $K_g$ | 0,1 (na rast. 50 cm) |
| $K_z$ | 0,04 (za $P$ = 100 r/h) |
| $K_\rho$ | 0,6 |
| $K_v$ | 0,01 (rel.vlažnost = 50% |

Ukupna greška 2%


A b s t r a c t

AIR-EQUIVALENT IONIZATION CHAMBER MEASUREMENTS OF GAMMA-RADIATION EXPOSURE DOSES

Dušan Novković, Đorđe Bek-Uzarov

Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Vinča-Beograd

A method is described for the measurement of absolute exposure doses of gamma-radiation applying a cavity ionization chamber whose walls are made of air-equivalent material. In order to provide absolute measurements, a review of the necessary correction factors, which should be determined either by calculation or by measurement, is given.

## L i t e r a t u r a


1. Rakow A., Will W., Kernenergie, 6, 496 (1963)
2. Barnard G.B., Axton E.J., Phys. in Med. Biol., 3, 366 (1959)
3. [illegible]no U., Rad. Reser., 1, 237 (1954)
4. Joyet G., Hugentoblerand E., Mysyrowicz A., H.P.A. 34, 414 (1961)
5. White-Grodstein G.R., Nat. Bur. Stand. Circ. 583 (1957)
6. Vančetović P., Diplomski rad, Vinča (1961)
7. Novković D., Magistarski rad, IBK-392, Vinča (1965)
8. Burlin T.E., Br. J. Radiol., 39, 727 (1966)
9. Sternheimer R.M., Phys. Rev., 88, 851 (1952)
10. Rakow A., Will W., Kernenergie, 10, 546 (1963)

# UTICAJ SAMOAPSORPCIJE NA TAČNOST MERENJA NISKOENERGETSKIH BETA-EMITERA 4pi METODOM

Paligorić D., Hadžišehović M., Bek-Uzarov Dj.,
Vujisić B., Močilnik I.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

R e z i m e

U ovom radu pokazan je uticaj primenjene korekcije za samoapsorpciju na rasturanje rezultata merenja specifične aktivnosti radioaktivnog rastvora sumpora-35.

Primenom korekcije za samoapsorpciju iz samoapsorpcione krive u intervalu debljina od 200-2000 $\mu g/cm^2$ dobijene su niže vrednosti specifične aktivnosti za 3,5% i veliko rasturanje rezultata zbog čega je za srednju vrednost uzeto u obzir samo 8 izvora od 19. Zato je snimljena samoapsorpciona kriva u intervalu od 20-2000 $\mu g/cm^2$, pri čemu je dobijen oštar pad na početku samoapsorpcione krive. Primenom korekcije iz ove krive dobijeno je rasturanje rezultata od srednje vrednosti od 0,1% uključujući 18 izvora.

Kako se u metrologiji radioaktivnih izotopa provera metoda i mernih tehnika koje se koriste vrši samo u medjunarodnim interkomparacijama u kojima sa istim metodama i mernim tehnikama učestvuje veliki broj laboratorija iz celog sveta, svakoj laboratoriji je po definitivno izdatom biltenu organizatora interkomparacije od interesa da ponovo detaljno analizira svoje rezultate i otkrije uzroke mogućih odstupanja. Teškoće u apsolutnom merenju aktivnosti niskoenergetskih beta emitera, kao što je $^{35}S$, su zbog velike apsorpcije i samoapsorpcije zračenja naročito velike, te otuda i medjunarodna interkomparacija radioaktivnog rastvora $^{35}S$, organizovana 1962. godine od Medjunarodnog biroa za mere i tegove u Sevru, nije mogla da definiše jednu srednju vrednost specifične aktivnosti u granicama greške koja bi se očekivala za apsolutna merenja (1).

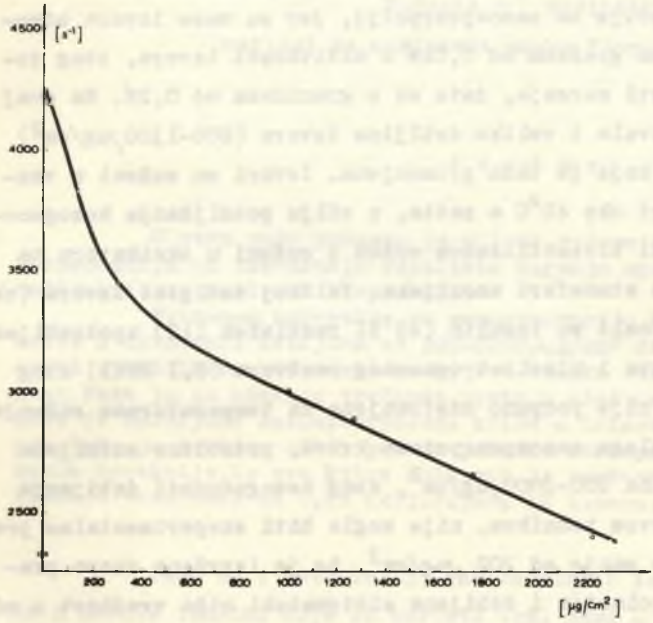
U ovoj interkomparaciji koristili smo 4pi proporcionalni brojač, i za standardizaciju dobijenog radioaktivnog rastvora $^{35}S$ pripremljeno je 19 izvora na metalizovanim podlogama od VYNS smole debljine 40-50 $\mu g/cm^2$. Zbog velikog rasturanja rezultata za obračun srednje vrednosti uzeto je u obzir samo 8 izvora odabranih po Chauvenet-ovom kriterijumu.

Ovo rasturanje rezultata potiče od sistematske greške u odredjivanju korekcije za samoapsorpciju, jer su mase izvora odmerene sa maksimalnom greškom od 0,04% a aktivnosti izvora, zbog dobre reproduktivnosti merenja, date su u granicama od 0,2%. Na ovaj zaključak je ukazivala i velika debljina izvora (600-1300 $\mu g/cm^2$) dobijena tehnikom koja je tada primenjena. Izvori su sušeni u vazduhu na temperaturi oko 40°C a zatim, u cilju poboljšanja homogenosti, rekristalisani bidestilisanom vodom i sušeni u eksikatoru na temperaturi 35°C u atmosferi amonijaka. Velikoj debljini izvora (oko 200 $\mu g/cm^2$) doprineli su insulin (40 UI razblažen 1:2) upotrebljen kao kvaseće sredstvo i kiselost osnovnog rastvora (0,1 NHCl) zbog čega prisutna HCl nije potpuno odstranjena na temperaturama sušenja izvora. Iz tog razloga samoapsorpciona kriva, prvobitno snimljena u intervalu debljina 200-2000 $\mu g/cm^2$, zbog nemogućnosti dobijanja tanjih izvora ovakvom tehnikom, nije mogla biti eksperimentalno proverena za debljine manje od 200 $\mu g/cm^2$, te je izvršena skoro pravolinijska ekstrapolacija i dobijena sistematski niža vrednost u odbroju za nultu debljinu izvora. Ovo je, s obzirom na veliki interval debljina izvora, moralo doprineti nižoj vrednosti specifične aktivnosti i velikom rasturanju rezultata pojedinih izvora.

S obzirom da za standardizaciju $^{35}S$ koristimo samo 4pi metodu, koja se inače najčešće primenjuje za merenje $^{35}S$, izvedeni su naknadni eksperimenti radi provere primene korekcije za samoapsorpciju i poboljšanja postupka za dobijanje tankih izvora, što je u ovom slučaju preduslov za primenu 4pi metode s obzirom na nisku energiju $^{35}S$ (167 KeV).

Naši eksperimenti opisani u (2), pokazali su da se sa insulinom kao kvasećim sredstvom mogu dobiti zadovoljavajuće homogenosti izvora i pri razblaženju 1:20, kada on u srednjem doprinosi

samo oko 20 $\mu g/cm^2$ debljini izvora. Isto tako nadjeno je da se tanki i homogeni izvori (ispod 150 $\mu g/cm^2$) mogu dobiti prethodnim uklanjanjem HCl jačim zagrevanjem u vakuumu (dinamički vakuum). Na ovaj način dobijeni su tanki izvori debljine ispod 20 $\mu g/cm^2$ te je nova samoapsorpciona kriva snimljena u intervalu debljina od 20-2200 $\mu g/cm^2$.




Sl. 1 - Samoapsorpciona kriva $^{35}S$

Kao što se vidi sa sl. 1 potvrdjen je oštar pad krive kod malih debljina izvora te je tako izbegnuta skoro pravolinijska ekstrapolacija činjena ranije počev od 200 $\mu g/cm^2$. Na ovaj način je, osim veće vrednosti u odbroju za nultu debljinu izvora, dobijeno i veće procentualno povećanje korekcije za manje debljine što je doprinelo dobrom grupisanju vrednosti 18 od 19 izvora oko srednje vrednosti. Tako je srednja vrednost specifične aktivnosti dobijena iz 18 izvora sa standardnom greškom 0,1% i ukupnom greškom merenja 3%. Ova vrednost je za 3,5% veća od vrednosti dobijene u interkomparaciji 1962. godine, koja je bila data na osnovu 8 izvora sa

ukupnom greškom od 6%. Medjutim, i ova vrednost specifične aktivnosti ulazi u interval vrednosti koje daju laboratorije za 4pi beta metodu (oko 10%).

## INFLUENCE OF SELF-ABSORPTION ON THE ACCURACY OF ACTIVITY MEASUREMENTS OF LOW-ENERGY BETA EMITTERS BY 4pi METHOD

Paligorić D., Hadžišehović M., Bek-Uzarov Dj., Vujisić B., Močilnik I.

"Boris Kidrič" Institute of Nuclear Sciences, Vinča

A b s t r a c t

This work discusses the influence of self-absorption correction on the deviation of the results obtained from measurements of the specific activity of $^{35}S$ radioactive solution.

The application of self-absorption correction from a self-absorption curve that covers the range of 200-2000 $\mu g/cm^2$, gave rise to a 3,5% lower specific activity and great fluctuations in results; because of this reason eight sources, in the average, had to be selected out of ninteen measured ones. The self-absorption curve has been plotted to cover the range of 20-2000 $\mu g/cm^2$ which shows a rapid fall in its begining. Using corrections obtained from curve, the deviation in the obtained results has been found to be 0,1%, including eighteen sources.

### Literatura

1. Roy J. C., Rytz A., Analyse des resultats de la comparaison internationale de $^{35}S$, BIPM (1965)

2. Hadžišehović M., Paligorić D., Postupak standardizacije jednog radioaktivnog rastvora 4pi metodom, (rad u štampi za IV Simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, "Zaštita pri medicinskoj i industrijskoj primeni izvora jonizujućeg zračenja", 28-30 maja (1969).

# KVALITATIVNA I KVANTITATIVNA ANALIZA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA GAMA SCINTILACIONIM SPEKTROMETROM

Vujisić B. i Dobrilović Lj.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

R e z i m e

Razvijena je metoda za kvalitativnu i kvantitativnu analizu $\alpha-\gamma$ , $\beta-\gamma$ , $EC-\gamma$ , $EC\beta^{+}-\gamma$ radioaktivnih izotopa gama scintilacionim spektrometrom sa greškom $\pm 5\%$.

Za matematičku obradu gama spektra, tj. pretstavljanje odgovora detektora polinomom dat je bazis ortogonalnih vektora i način izračunavanja koeficijenata proizvoljnog vektora u tom prostoru metodom najmanjih kvadrata.

Sve veća primena radioaktivnih izotopa u raznim oblastima nauke i industrije zahteva korišćenje čitavog spektra radioaktivnih izotopa različitih šema raspada, hemijskog oblika i agregatnog stanja. Ovo nameće problem zaštite ljudstva i radnog mesta od eventualne kontaminacije radioaktivnim izotopima. Uspešna zaštita ljudi i primena izotopa zahteva identifikovanje izvora zračenja. Primena radioaktivnih izotopa takodje i u ostalim naučnim disciplinama strogo postavlja pitanje njihove radiohemijske čistoće. U ovom radu koristeći široki spektar radioaktivnih izotopa po šemi raspada dat je postupak za kvalitativnu i kvantitativnu gama spektralnu analizu radioaktivnih izvora metodom najmanjih kvadrata.

## Matematička obrada gama spektra

Postupak za kvalitativnu i kvantitativnu gama spektralnu analizu radioaktivnih izotopa sastoji se u nalaženju odgovora detektora NaJ/(Tl) za dati radioaktivni izotop i njegovim pretstavljanjem polinomom čiji su koeficijenti odredjeni eksperimentalno iz gama spektra datog radioaktivnog izotopa.

Neka je f(x) funkcija odgovara kristala NaJ(Tl) na neku energiju i neka je ona neprekidna funkcija u intervalu 0-2L. Pretstavimo ovu funkciju polinomom

$$P(x) = \frac{a_o}{2} + b\left[(x-L)^2 - \frac{L^2}{3}\right] + \sum_{k=1}^{N} b_k \sin\frac{k\pi x}{L} . \qquad (1)$$

Mera odstupanja P(x) od f(x) data je kao kvadrat odstupanja

$$\int_0^{2L} \left[f(x) - P(x)\right]^2 dx. \qquad (2)$$

Koeficijenti polinoma P(x) ($a_o$, b i $b_k$) izračunavaju se dva do tri puta brže u ortogonalnom bazisu /1/, koji je ovde dat izrazom (1). Postupak za njihovo izračunavanje /2/ daje krajnje obrasce koji su pretstavljeni izrazom

$$a_o = \frac{1}{L} \cdot \int_0^{2L} f(x)\, dx , \qquad (3)$$

$$b = \frac{45}{28L^5} \cdot \int_0^{2L} f(x)\left[(x-L)^2 - \frac{L^2}{3}\right] dx , \qquad (4)$$

$$b_k = \frac{1}{L} \int_0^{2L} f(x).\sin\frac{k\pi x}{L}\, dx . \qquad (5)$$

$$k = 1, 2 \ \ldots \ N$$

Funkcija f(x) se odredjuje eksperimentalno. Neka su date tačke $x_i$ (i = 1,2 ... n) i vrednost f(x) u tim tačkama $f_1 \ldots f_n$, tada primenjujući metod pravougaonika na približno izračunavanje

integrala izraza (3), (4), (5) daje

$$a_o = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n} f_i \tag{6}$$

$$b = \frac{45}{14L^4} \sum_{i=1}^{n} f_i \left[(x_i - L)^2 - \frac{L^2}{3}\right] \tag{7}$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n} f_i \sin \frac{k\pi x_i}{L} . \tag{8}$$

Za odredjivanje sadržaja smeše od m radioaktivnih izotopa označenih indeksima 1,..., j,.., m, koristi se gama scintilacioni spektrometar sa višekanalnim analizatorom od n kanala označenih 1, ..., i,..., n, čiji je odgovor poznat u "i"-tom kanalu od standarda $a_{ij}$, a odbroj od smeše $b_i$. Ako je odnos nepoznate aktivnosti prema njegovom odgovarajućem standardu $X_j$ može se pisati

$$b_i = \sum_{j=1}^{m} a_{ij} \cdot X_j + Z_i , \tag{9}$$

gde je $Z_i$ greška.

Vrednosti za $X_j$ dobijaju se metodom najmanjih kvadrata

$$\sum_{i=1}^{n} \left[b_i - a_{ij} X_j\right]^2 = \text{minimum.} \tag{10}$$

Na taj način dobija se jednačina sa m nepoznatih

$$\sum_{j=1}^{m} X_j \sum_{i=1}^{n} a_{ik} a_{ij} = \sum_{i=1}^{n} a_{ik} b_i . \tag{11}$$

$k = 1 \ldots m$

Varijacija od $X_j$ (srednja standardna devijacija) daje

$$VAR(X_j) = \frac{R}{n-m} [e_{ff}]^{-1}, \qquad (12)$$

gde je $e_{ff}$ odgovarajući dijagonalni element inverzne matrice sistema (11), a $R = \sum Z_i^2$.

## Aparatura i kalibracija aparature

Kao gama scintilacioni spektrometar korišćen je kristal NaJ/(Tl) sa šupljinom (45x50,19x37 mm) Tesla type 63-1279 sa fotomultiplikatorom DUMONT type 6992, Vajtovim katodnim pojačavačem i 512 kanalnim analizatorom NTA-512 (KFKI). Energetska rezolucija ovakvog gama spektrometra za $E_\gamma$ = 0,661 MeV iznosi 8,2%.

Za kalibraciju spektrometra korišćeni su standardni rastvori radioaktivnih izotopa $^{241}Am$, $^{141}Ce$, $^{131}J$, $^{137}Cs$, $^{54}Mn$, $^{65}Zn$ i $^{60}Co$ standardisani $4\pi\beta$ i $4\pi\beta-\gamma$ koincidentnom metodom sa greškom od 1-3%.

"Standardni" uzorci preparirani su u epruvete istog prečnika kao i šupljina korišćenog NaJ/(Tl) kristala. Zapremina tečnih uzoraka bila je identična i iznosila je 0,5 ml. Svi standardni rastvori odmeravani su na mikro vagi type Mettler B-6, a maksimalna greška preparacije iznosila je 0,5%.

Ispitana je zavisnost amplitude impulsa od energije gama zračenja u intervalu od 59 KeV-a do 1,33 MeV. Promena energetske rezolucije za ispitivani interval energije iznosi od 30 do 8,2%. Postupak za odredjivanje položaja foto pika opisan je u ranijem radu /3/.

Odredjena efikasnost u foto piku u funkciji energije gama zračenja (sl. 1) za ispitivani interval energije kreće se od 90,2% do 5%.

Promena efikasnosti u funkciji zapremine uzorka u intervalu 0,5-5 ml za razne energije gama zračenja prikazana je na sl.2 Maksimalna promena efikasnosti za ovaj interval zapremine iznosi 21%. Za isti interval zapremina maksimalna razlika za opseg energ-

gija od 0,145 - 1,330 MeV iznosi 7,4%

## Kvalitativna i kvantitativna analiza smeše izotopa metodom najmanjih kvadrata

Za proveru postavljene metode izvršena je kvalitativna i kvantitativna analiza poznate smeše izotopa $^{241}Am$, $^{54}Mn$, $^{60}Co$ i $^{22}Na$ čiji je spektar prikazan na sl. 3. Izvršena je identifikacija svih komponenata smeše. U slučaju $^{60}Co$ i $^{22}Na$ koji imaju bliske energije identifikacija se mogla izvršiti računskim putem.

Odredjivanje odnosa nepoznate aktivnosti izotopa smeše prema aktivnosti njegovog standarda vršena je metodom najmanjih kvadrata. U Tabeli 1 date su eksperimentalno dobijene vrednosti za $X_j$ i njihovi odnosi apsulutne aktivnosti.

TAB. 1

Odnos apsolutnih aktivnosti komponenata smeše i standarda

| Komponente smeše | $X_j$ eksperimentalno | $X_j$ izračunato |
|---|---|---|
| $^{241}Am$ | 0,342 | 0,400 |
| $^{54}Mn$ | 0,582 | 0,500 |
| $^{22}Na$ | 0,899 | 0,847 |
| $^{60}Co$ | 0,476 | 0,458 |

Iz Tabele 1 se vidi da eksperimentalno dobijeni rezultati kvantitativne analize pojedinih komponenti smeše sa stvarnim vrednostima pojedinih komponenata smeše slažu se u granicama od $\pm 5\%$.

# QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF RADIOACTIVE ISOTOPES USING A GAMA-SCINTILLATION SPECTROMETER

Vujisić B. and Dobrilović Lj.

Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Vinča-Beograd

A b s t r a c t

A method has been developed for qualitative and quantitative analysis of $\alpha - \gamma$, $\beta - \gamma$, EC $- \gamma$, EC$\beta^+ - \gamma$ radioactive isotopes using a gama - spectrometer with an error of $\pm$ 5%.

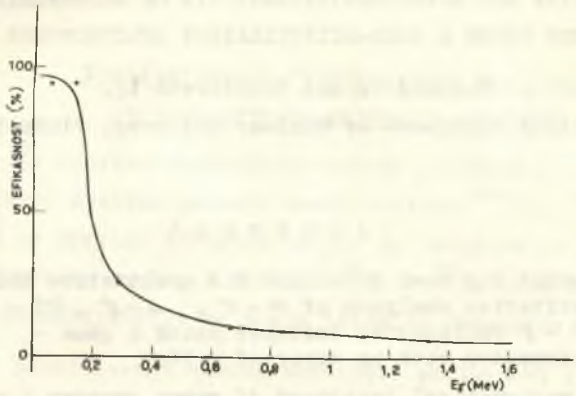
For mathematical treatment of gamma spectra i.e., assuming the detector response to be a polynomial function, the basis of orthogonal vectors and the mode of calculating the coefficients of the arbitrary vector in this space, have been given by the method of least squares.

L i t e r a t u r a

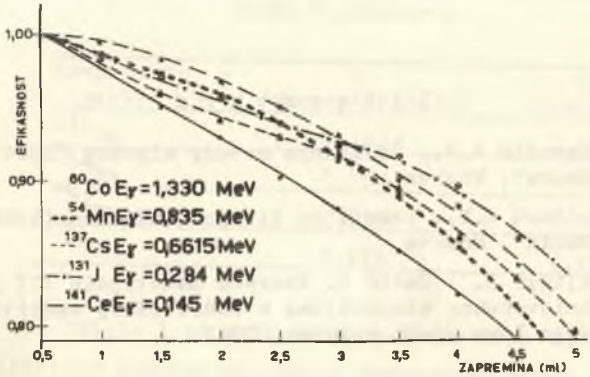
1. Voevodin V.V., Čislennye metody algebry (1966), "Nauka", Moskva

2. Gelfand I.M., Lekcii po linejnoj algebre (1966), "Nauka", Moskva

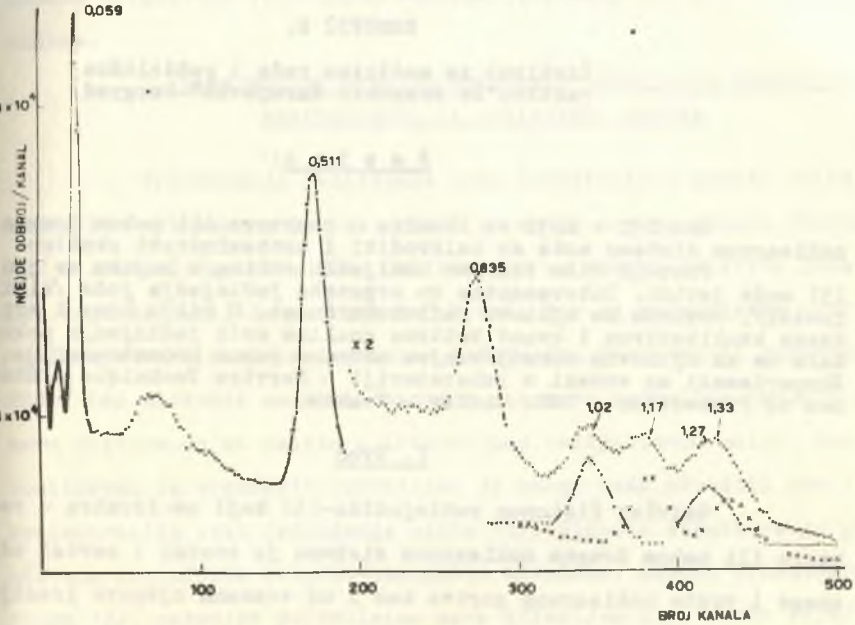
3. Vujisić B. i Čavić V. Zbornik materijala III jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka 23-26 oktobar, 1967.




Sl. 1. Efikasnost detekcije u foto piku u funkciji energije gama zračenja




Sl. 2. Efikasnost detekcije u funkciji zapremine uzorka




Sl. 3. Spektar energija gama zračenja smeše $^{241}Am$, $^{54}Mn$, $^{22}Na$ i $^{60}Co$

# IDENTIFIKACIJA NEKIH ALKIL JODIDA U GASNIM EFLUENTIMA METODOM GASNE HROMATOGRAFIJE

BRNOVIĆ R.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu"Dr Dragomir Karajović"-Beograd

R e z i m e:

Jod-131 - koji se formira u reaktoru ili nekom drugom nuklearnom sistemu može se osloboditi i kontaminirati okolinu.

Postoji više fizičko hemijskih oblika u kojima se jod 131 može javiti. Interesantna su organska jedinjenja joda /alkil jodidi/, obzirom na njihovu radiotoksičnost. U cilju brze i efikasne kvalitativne i kvantitativne analize ovih jedinjenja pokušalo se sa njihovim odredjivanjem metodom gasne hromatografije. Eksperimenti su vršeni u laboratoriji - Service Technique d'Etudes de Protection - CEN. Saclay - France.

## 1. Uvod

Sadržaj fisionog radiojodida-131 koji se formira u reaktoru ili nekom drugom nuklearnom sistemu je znatan i zavisi od snage i vrste nuklearnog goriva kao i od vremena njegove iradijacije. U slučaju akcidenta stvorene količine joda-131 kao i drugih fisionih produkata mogu se osloboditi u varijabilnim količinama, što je funkcija fizičkih i hemijskih uslova goriva i okolnog fluida.

Tako može doći do kontaminacije životne sredine: vazduha, vode, životnih namirnica kao i čoveka koji može direktono ili indirektno da se kontaminira jodom-131. Kod intenzivnih zagadjenja atmosfere i biosfere uopšte jodom-131 veliki značaj se polaže na analizu ovog izotopa.

Obzirom na različita fizička i hemijska stanja joda-131 različiti su i načini njegove identifikacije.

U skorije vreme veliki broj autora u svetu insistira na proučavanju organskih formi radiojoda ukazujući na njihovu radiotoksičnost i na znatnu količinu ovih jedinjenja stvorenih u gasnim efluentima fisibilnog sistema ozračenog urana ili plutonijuma.

## 2. Literaturni pregled organskih jedinjenja joda-131 oslobodjenih iz nuklearnih goriva

Proučavanja jedinjenja joda formiranih u gasnim efluentima oko nuklearnog goriva vršili su medju prvima autori Perkins /1/ i Atkins, Eggleton /2/. Oni ukazuju na znatnu količinu joda-131 koji se javljaju u organskoj formi, jer se molekularni jod kombinuje sa slobodnim organskim radikalima formirajući organojodide. Ovi slobodni radikali nastaju procesom radiolize okolnih gasova obzirom da se nalaze u intenzivnom radijacionom polju. Jod kombinovan sa organskim radikalima je mnogo teže odrediti jer je koncentracija ovih jedinjenja niska /3/. Njihova struktura je proučavana različitim fizičko-hemijskim metodama, gasnom hromatografijom /2/, merenjem molekularne mase difuzijom kroz otvor /2,4/, masenom spektrografijom /5/ itd. Medju identifikovanim jedinjenjima zabeleženi su:

- metil jodid /2,4,5/
- etil jodid /5/
- jodid molekularne mase 150 koji bi mogao biti vinil jodid, i drugi jodidi koji idu do butil jodida /4/
- jodidi molekularne mase koja varira izmedju 296 i 320, čiji je difuzioni koeficijent oko 0,05 $cm^2$/sec, koji bi mogao biti jodid dodecil i tridecil /5/
- jodidi nastali od nezasićenih ugljovodnika napr. $C_6H_{12}J_2$, molekularne mase 388 i difuzionog koeficijenta 0,05 $cm^2$/sec.

Metil jodid je najznačajnije jedinjenje koje se formira kao i ostali homolozi uglavnom u neoksidantnoj atmosferi. On predstavlja do 50% totalnog joda u atmosferi $CO_2/CO$, pri povišenoj temperaturi, a nekoliko procenata u atmosferi $CO_2$/vazduh u istim uslovima. Ukoliko totalna koncentracija joda raste, procenat metil jodida opada /6/.

Metil jodid se ne kaptia u srebru, rdjavo se fiksira na uglju /na 100°C se adsorbuje,zatim se desorbuje/. Na 200°C posle oksidacije suvim vazduhom i fiksacije u uglju zapaža se vrlo mala desorpcija.

Za separaciju i identifikaciju gasovitih jedinjenja joda, naročito organskih jodida mnogi autori koriste metodu gasne hromatografije /4,6,7/. Ova tehnika rada je pogodna obzirom na visoku osetljivost metode u odnosu na halogene derivate ugljovodonika.

## 3. Eksperimenti analize gasnih produkata nakon formiranja radioaktivnog metil jodida, metodom gasne hromatografije

U cilju adekvatne kvalitativne i kvantitativne analize gasnih reaktorskih efluenata, izvršeni su u prvoj fazi eksperimenti formiranja radioaktivnog i neaktivnog metil jodida i njegova identifikacija metodom gasne hromatografije. Eksperimenti su vršeni u laboratoriji - Service Technique d'Etudes de Protection-CEN Saclay-France.

Gasno hromatografska analiza ostvarena je na bazi eluranja odnosno adsorpcije i desorpcije gasa na čvrstoj podlozi. Ova adsorbtivna podloga naziva se "fiksna" ili "stacionarna" faza, a gas koji cirkuliše je mobilna faza nazvana gas "nosač" u koji se uvodi gasna smeša nepoznatog kvalitativnog i kvantitativnog sastava.

Dok gas nosač prolazi kroz ćeliju za detekciju, registrujući sistem ucrtava jednu kontinualnu liniju nazvanu osnovnom linijom /sl. 1/. Na njoj se tačka uvodjenja uzorka smatra kao početak merenja i počev od nje računaju se veličine retencije tog gasa u kolonama od momenta uvodjenja do detekcije njegove maksimalne količine.

Koncentracija analiziranog gasa detektovana je u obliku pika koji je pri odredjenim uslovima karakterističan za taj gas, obzirom na specifično vreme retencije odnosno zapreminu retencije.

Mi smo koristili hromatograf tipa "Aerograph" 204-1B. Eksperimentalni uslovi su bili sledeći:

1. Kolone od nerdjajućeg čelika dužine 3,05 m i prečnika 3,2 mm; podloga stacionarne faze chromosorb W; stacionarna faza dinonylphtalate.
2. Detektori: plameno jonizacioni, sa kaptacijom elektrona i radioaktivni detektor-scintilator.

Radni uslovi eksperimenata separacije i detekcije metil jodida bili su sledeći:

- konstantna temperatura; a/ kolone 50°C, b/ sistem za uvodjenje gasne smeše 120°C, c/ detektor 125°C.
- kao gas nosač služio je azot sa protokom 25 $cm^2$/min. u kolonama i detektoru.

U navedenim uslovima prvo se pristupilo kalibraciji hromatografa u odnosu na metil sulfat i metil jodid koji su bili rastvoreni u različitim rastvaračima: etru, benzolu i ugljentetrahloridu. Za etar i metil jodid konstatovano je blisko vreme retencije tako da se pikovi u izvesnim momentima poklapaju. Za metil jodid se pokazao kao najpogodniji nosač benzol koji navode i autori /7/.

Kalibracija aparata pokazuje da se plameno-jonizacionim detektorom mogu identifikovati količine metil jodida reda $10^{-6}$gr. Da bi se povećala osetljivost detekcije korišćen je detektor sa kaptacijom elektrona koji omogućava merenje koncentracije metil jodida do $10^{-10}$gr.

Proizvodnja neaktivnog i radioaktivnog metil jodida zasnovana je na reakciji:

$$NaJ + NaJ\text{-}131 + /CH_3/_2\ CO_4 \rightleftarrows CH_3J + CH_3J\text{-}131 + Na_2\ SO_4$$

Eksperimenti su vršeni u sledećem sistemu vezanom u seriju:

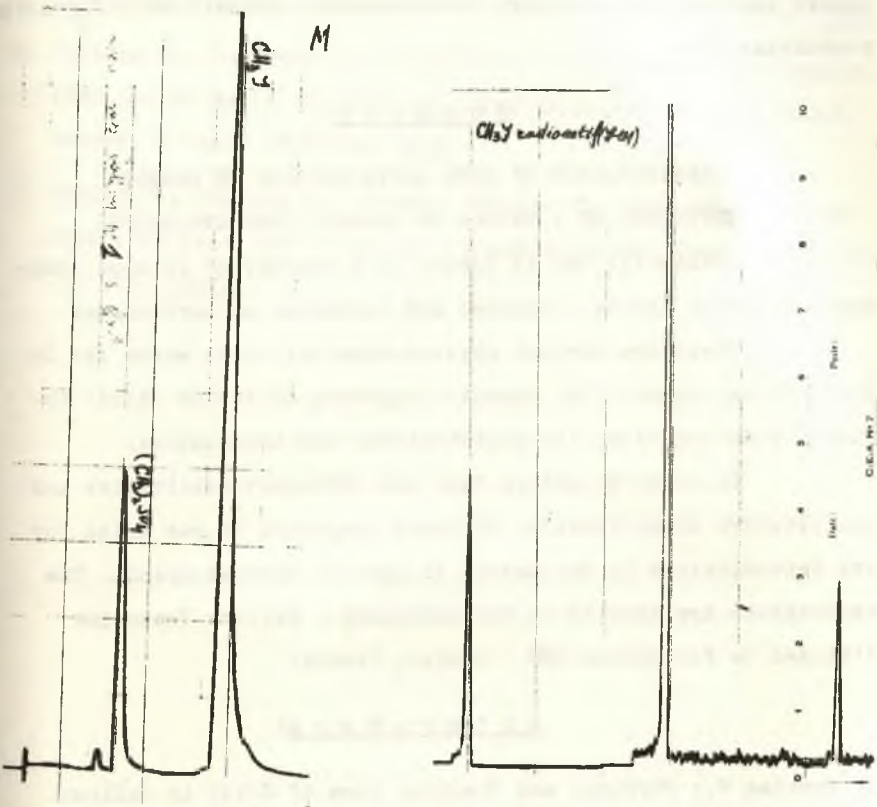
- reakcioni balon;
- U cev sa $CaSO_4$ za apsorpciju vodene pare;
- ampula sa beta naftolom koji vezuje višak metil sulfata,
- 3 evakuisana balona u koje se pumpom povlači gasoviti neaktivni i radioaktivni metil jodid nastao nakon navedene reakcije.

Analiza gasne smeše iz balona vršena je gasnim hromatografom sa simultanom plameno jonizacionom detekcijom /radioaktivni metil jodid/, i detekcijom gama zračenja pomoću kristala scintilatora /radioaktivni metil jodid/.

Oni evidentno ukazuju na mogućnost dobre separacije i detekcije kako neaktivnih tako i radioaktivnih alkil jodida navedenom metodom gasne hromatografije što konstatuju i drugi autori /2,4,5,7,/.

Eksperimenti u prvoj fazi bili su uglavnom kvalitativnog karaktera i odnosili su se na metil jodid, dok bi sledeća ispitivanja bila usmerena na identifikaciju viših radioaktivnih alkil jodida koji se takodje nalaze u gasnim efluentima nuklearnog goriva.

Dobijeni hromatogrami prikazani su na slici 1. i 2.




Sl. 1. Hromatogram metil jodida

Sl. 2. Hromatogtam radioaktivnog metil jodida/$CH_3J$-131/

## Z a k l j u č a k

Metoda gasne hromatografije pokazala se kao efikasna i brza za detekciju radioaktivnog metil jodida /$CH_2J$-131/. U toku daljeg ispitivanja trebalo bi izvršiti analizu gasne smeše ostalih alkiljodida /etil, propil, butil jodida itd./.

Eksperimenti proizvodnje i analize markiranog metil jodida i viših homologa, vrše se u cilju ispitivanja uslova i mogućnosti ventilacije atmosfere kontaminirane radioaktivnim organskim produktima joda.


## S u m m a r y:

IDENTIFICATION OF SOME ALKYL-IODIDES IN GASEOUS EFFLUENTS BY A METHOD OF GASEOUS CHROMATOGRAPHY

Iodine-131 who is formed in a reactor or in some other nuclear system may be liberated and contamine an environment.

There are several physico-chemical forms where the Iodine-131 may appear. The organic compounds of Iodine /alkyl-iodides/ with regard to its radiotoxicity are interesting.

In order to attein fast and efficient qualitative and quantitative identification of these compounds it was tried for its determination by the method of gaseous chromatography. The experiments are carried in the laboratoy - Service Technique d'Etudes de Protection CEN - Saclay, France.


## L i t e r a t u r a:


1. Perkins R.: Physical and Chemical form of J-131 in fallout. Health Physiecs, 9 1113, /1963/
2. Atkins D., Eggleton A.: Jodine compounds formed on release of carrier - free iodin 131, AERE-M-1211, /1963/
3. Smith M.And al: The properties of some Jodine Adsorbens at Elevated temperatures.
   Conference on Aerosol Problems of Nuclear Reactor Harwell, dec 1960

4. Chamberlain A: Physical Chemistry of Jodine and removal of Jodin from gas streams. AERE - R - 4286, /1963/

5. Browining W. and al: Behaviour of Radioiodine ORNL 3591, 1964

6. Collins R., Eggleton A.: Contrôle de la radioactivité transportée par le gaz à la suite de défaillance de réacteur. Conf. Genève, A/conf. 28/P/186, 1964

7. Haller W., Perkins R.: Organic Jodine-131 compounds released from a nuclear fuel chemical processing plant. Health Physics, 13, 733, /1967/

# PRIMENA METODE INTERNOG GASNOG BROJANJA NA MERENJE UKUPNE I SPECIFIČNE RADIOAKTIVNOSTI RAZLIČITIH POLAZNIH MATERIJALA

Hadžišehović M., Bek-Uzarov Dj., Močilnik I.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

R e z i m e

U radu su iznete mogućnosti odredjivanja ukupne i specifične radioaktivnosti neorganskih i organskih supstanci koje sadrže $^{3}H$ i $^{14}C$. Kako na tačnost ovakvog merenja utiču veličine specifične za ovu metodu, koje se u najopštijem slučaju mogu izraziti da zavise od prirode i čistoće polaznog materijala, od načina i kvantitativnosti prevodjenja u gasni oblik,preciznog odredjivanja zapremine sistema i parcijalnog pritiska mernog gasa kao i efektivne brojačke zapremine sistema brojača svakog pojedinačno,to se sadržaj ovog rada bazira na tretiranju gornjih zahteva kao osnovnih koji utiču na mogućnost primene opisanog sistema za ovakvu vrstu merenja.

Zbog velike rasprostranjenosti vodonika i ugljenika u materijalima organskog i neorganskog porekla veoma često se kao radioaktivni indikatori uzimaju izotopi $^{14}C$ i $^{3}H$. Pošto ovi izotopi emituju meko beta zračenje (156 KeV, 18 KeV), tačnost merenja koja se postiže u odredjivanju aktivnosti polaznih materijala usko je vezana sa mogućnošću metoda koje se za to koriste. Za razliku od 4pi beta metode i metode odredjenog prostornog ugla koje u ovom slučaju imaju ograničenu primenu zbog znatne apsorpcije zračenja, metoda internog gasnog brojanja,koja se bazira na principu unošenja radioaktivnog uzorka u gasnom obliku u brojački sistem, ima veće mogućnosti u prvom redu kako zbog visoke energetske efikasnosti i odsustva apsorpcije tako i zbog šireg opsega u izboru polaznih materijala.

Iz opštih jednačina za odredjivanje aktivnosti mernih uzoraka ovom metodom (relacije 1 i 2), očigledno je da pouzdanost podataka, pored konstanti za dati polazni materijal, zavisi od ta-

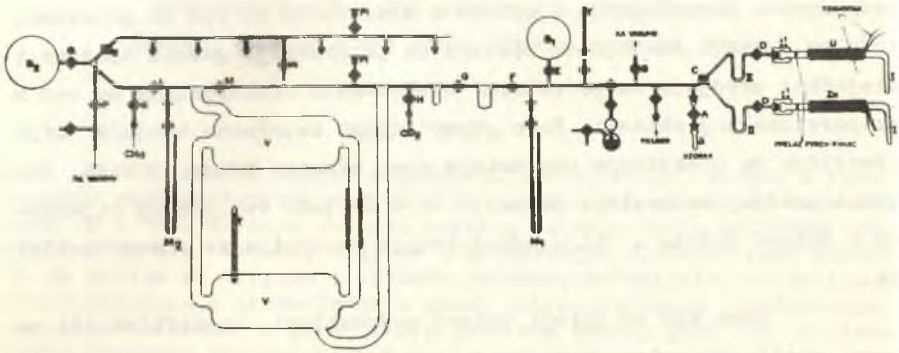
čnosti odredjivanja zapremina i parcijalnog pritiska aktivnog gasa u njima, kao i od tačnosti merenja mase uzetog uzorka i poznavanja hemijskog prinosa dotične reakcije prevodjenja u gasno stanje.

Zato merenje aktivnosti metodom internog gasnog brojanja podrazumeva raspolaganje kompletnom aparaturom za rad sa gasovima, koja se ustvari sastoji iz sistema za pripremanje gasnih uzoraka i brojačkog uredjaja sa potrebnom niskošumnom elektronikom za rad u proporcionalnoj oblasti. Kako geometrijska zapremina brojača nije identična sa efektivnom zapreminom zbog efekata kraja i zida, brojački uredjaj se sastoji najmanje od 4 brojača različitog dijametra i dužine katode u cilju odredjivanja korekcija za pomenute efekte.

Samo ako su gornji uslovi zadovoljeni, specifična ili ukupna aktivnost polaznog materijala tada se mogu odredjivati preko dva različita postupka, što sa svoje strane daje vrlo široku mogućnost u izboru polaznih materijala u odnosu na njihove hemijske osobine i čistoću.

## Sistem za pripremanje gasnih uzoraka

Ovaj sistem prikazan na sl. 1 je staklena aparatura izradjena od Pyrex-a i kvarca sa mogućnošću postizanja statičkog vakuuma reda $10^{-3}$ mm Hg. On se sastoji iz dela gde se pripremaju gasni uzorci vodonika sa sadržajem tritijuma (U, Zn) i $^{14}CO_2$, i mernog dela poznate zapremine (levo od Teplerove pumpe prema sl. 1) u kome se meri pritisak oslobodjenog radioaktivnog gasa, priprema radni gas i pune brojači. Višestruka primenljivost sistema postignuta je zahvaljujući činjenici da osim delova naznačenih na sl. 1 postoji mogućnost pripajanja i dodatnih, u kojima se vrši razlaganje materijala organskog porekla. To su razni specijalni sudovi za reakciju sa mogućnošću zagrevanja do 600°C, u koje se mogu unositi i zatopljene probe ako se radi sa lako isparljivim supstancama. Nastali aktivni gasovi ($CO_2$, $H_2$, $CH_4$ i dr.) se posle prečišćavanja mogu direktno uvoditi u merni deo zapremine, a tritinirana voda po-



Sl. 1 - Sistem za pripremanje gasnih uzoraka

moću trapova I na temperaturi tečnog vazduha dovodi se u prostor za redukciju na metalnom uranijum (U) ili cinku (Zn), po izboru, gde se na temperaturama od 600°C i 400°C redukuje do vodonika. U trapovima II koji se hlade tečnim vazduhom eventualno neizreagovana voda, koja bi otišla zajedno sa razvijenim vodonikom u merni sistem, zadržava se i pomoću trapa I se može ponovo vratiti u prostor za redukciju. Oslobodjeni vodonik prebacuje se Teplerovom pumpom u deo mernog sistema (balon $B_1$ i dovodi do slavine G). Ovim se istovremeno stvara podpritisak u prostoru za redukciju čime se olakšava dolaženje para iz trapa I u grejnu zonu. Razvijanje gasa i merenje njegovog pritiska prati se manometrom $M_1$ a kraj reakcije kontroliše se pomoću Mc LEOD-a.

S druge strane, polazni materijali karbonatnog porekla ($Na_2CO_3$, $BaCO_3$) se u posudama standardnog tipa razlažu kiselinama

do $CO_2$, koji se po čišćenju od primesa (voda, $SO_3$ i dr.) takodje dovodi u isti deo merne zapremine. Zapremine delova za pripremanje aktivnih gasova su oko 1% od ukupne zapremine sistema (12 $\ell$ ) koja se kalibriše pomoću poznate zapremine suda (odredjene iz težine destilisane vode na datoj temperaturi) koristeći opštu jednačinu stanja za idealne gasove.

Kako se u sadašnjoj verziji aparature pritisci aktivnog gasa očitavaju živinim manometrom u zapremini od oko 1 $\ell$ , da bi preciznost očitavanja bila bolja od 0,2% optimalna masa uzorka se ograničava na približno 0,5 grama za vodu i približno 2 grama za $CO_2$. Mase polaznih materijala za analizu ograničene su ovim veličinama. Pošto je za dobar rad brojača, parcijalni pritisak vodonika (odnosno $CO_2$) ograničen na vrednosti ispod 2% od ukupnog pritiska radnog gasa (oko 750 mm Hg), u slučajevima kada je to potrebno, aktivni gas se razblažuje. To se izvodi preko slavine G upuštanjem u poznatu zapreminu V tražene količine aktivnog gasa, koja se orijentaciono kontroliše po pritisku na manometru $M_2$ a precizno odredjuje iz razlike pritisaka na manometru $M_1$. Po razblaženju se, preko slavine K u sistem dovodi radni gas ($CH_4$) i termički meša u zapremini V sa aktivnim gasom. Mešanje se kontroliše termometrom T. Izmešani gas se preko slavine N dovodi u granu sa brojačima.

## Odredjivanje specifične aktivnosti

Brojački uredjaj se sastoji iz pet po konstrukciji identičnih brojača različitih dužina i dijametara katode, na osnovu čijeg odbroja se odredjuje efektivna zapremina brojača diferencijalnom i ekstrapolacionom metodom (1, 2, 4). Da bi se ova zapremina, koja se razlikuje od stvarne zapremine brojača, našla, odredjuje se precizno geometrijska zapremina ograničena dužinom katode i korekcije za ukupne efekte kraja i zida.

Geometrijske zapremine brojača su od 0,1 $\ell$ do 0,5 $\ell$ a nalaze se iz mase destilisane vode na datoj temperaturi i dužine katode čiji je unutrašnji dijametar dat sa preciznošću od 0,02 mm.

Greška u odredjivanju zapremine je tada manje od 0,2%. Ranije je radjeno sa tipom brojača čije su karakteristike opisane u (5)a sada su izradjeni metalni brojači sa zaštitnom elektrodom čije će karakteristike kasnije biti referisane.

Ukupna aktivnost m grama uzorka može se odrediti iz odbroja po jedinici efektivne zapremine - $N_1$ ($s^{-1}cm^{-3}$) brojača i ukupne zapremine sistema - V ($cm^3$), pod predpostavkom da je izvršeno kvantitativno prevodjenje (A = 1) ili da je prinos A za datu reakciju poznat. Onda se specifična aktivnost može dobiti po relaciji:

$$A_s = \frac{N_1 \cdot V}{m \cdot A} \cdot \frac{R_1}{R_2} \; (s^{-1}g^{-1}) \qquad (1)$$

Prema drugom postupku odredjuje se specifična aktivnost po molu radioaktivnog gasa - $A_s$ ($s^{-1}mol^{-1}$), tako što se aktivnost jedinične efektivne zapremine ($N_1$) deli sa brojem molova koji se u njoj sadrže:

$$A_s = \frac{N_1}{P} \; \frac{V_M P_N \cdot k}{M} \; \frac{R_1}{R_2} \qquad (2$$

gde je P parcijalni pritisak radioaktivnog gasa u celom sistemu pri normalnim uslovima, $V_M$ zapremina mola, M težina mola, $P_N$ normalni pritisak, k broj molova aktivnog gasa koji nastaju iz jednog mola polazne substance. Faktor $R_1/R_2$ u obe relacije uzima u obzir razlike koje potiču od izotopskog efekta u stepenu prevodjenja $R_2$ radioaktivnog gasa, prema stepenu prevodjanja $R_1$ ukupne supstance (pri datom prinosu A reakcije prevodjenja). (3)

Pod pretpostavkom da je polazna supstanca hemijski čista, preko stehiometrijskog odnosa iz relacije (2) dolazi se do njene specifične aktivnosti.

Ako relacije (1) i (2), bez obzira na faktore $R_1/AR_2$ i $R_1/R_2$ daju istu vrednost specifične aktivnosti polazne supstance, mora prinos A dotične reakcije prevodjenja biti jednak 1, a time i stepeni prevodjenja $R_1$ i $R_2$. Ovo je ujedno i merilo da li izotopski efekat utiče na rezultate merenja u granicama date greške.

# APPLICATION OF THE INTERNAL-GAS COUNTING METHOD IN THE MEASUREMENT OF TOTAL AND SPECIFIC RADIOACTIVITY OF DIFFERENT ORIGINAL MATERIALS

M.Hadžišehović, Dj.Bek-Uzarov, I.Močilnik
"Boris Kidrič"Institute of Nuclear Sciences, Vinča-Beograd

A b s t r a c t

A discussion has been given on the possibility of determining the total and specific radioactivity of organic and inorganic substances containing $^{3}H$ and $^{14}C$.

The accuracy of such measurement depends on the magnitudes specific for this method, which in a most general case can be said to depend on the nature and purity of the original material, on the mode and quantitativity of transfer to gaseous state, on the precise determination of the volume of the system and the partial pressure of the internal radioactive gas, and on the determination of the effective counting volume of the counter system and of each counter individually. Hence, this work deals with the above mentioned factors as the basis ones which influence the possibility of applying the described system in such measurements.

L i t e r a t u r a

1. Heiberg A.S., Nucl.Inst. and Meth., 63, 71 (1968)
2. Modes D., et al., Nukleonik, 2, 15 (1965)
3. Modes D. et al. Nukleonik, 2, 49 (1967)
4. Spernol A., Denecke B., Intern. J. appl. Rad. Isotopes, 15, 241 (1964)
5. Bek Uzarov Dj. i dr., Razvoj radiometrijskih metoda analize i merenja, prilog I-C; Interna dokumentacija IBK (1964)

# PRIHVATLJIVE GREŠKE MERENJA DOZA I BRZINA DOZA U AKCIDENTALNIM I VANREDNIM SITUACIJAMA

Mr VLAHO VOJVODIĆ

VP 6869 - Beograd

Rezime: Koristeći publikovane statističke podatke, data je kriva obolenja i smrtnosti skupa ljudi u funkciji jednokratno akumulirane akutne doze. Na osnovu procene skupa, prema ovim krivama, pri medijalnim dozama 200 i 450 r, odredjena je maksimalna relativna greška dozimetra, koja nebi smela biti veća od ± 5-10%. Daje se preporuka da se dozimetri baždare na 200 i 450 r u polju zračenja, koje najbliže simulira akcidentalne i vanredne situacije.

## Uvod

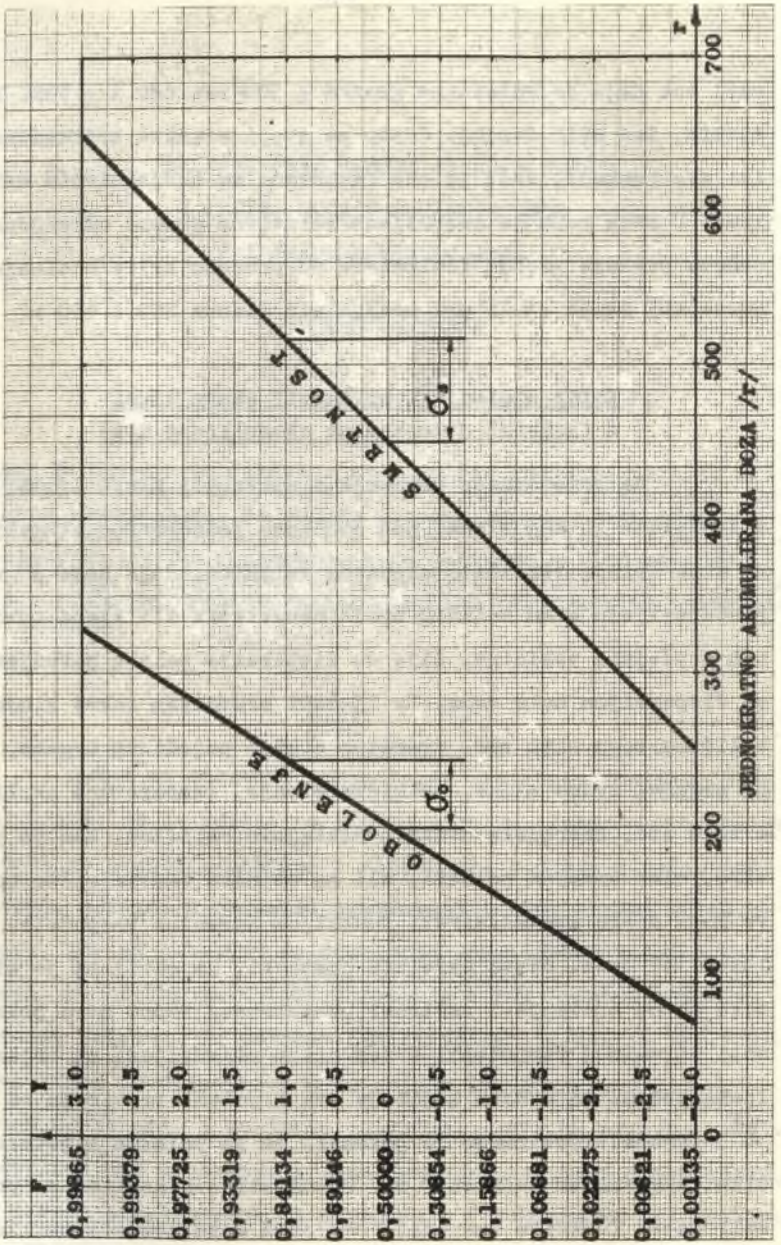
Jedan od osnovnih pokazatelja kvaliteta dozimetrijske instrumentacije je relativna greška merenja. Instrumenti velike tačnosti su skuplji, nežniji i složeniji. S druge strane, jednostavni, jeftini i robustni instrumenti, neprikladni su za upotrebu, jer ne pokazuju sa dovoljnom preciznošću podatak koji se meri, pa zbog toga dolazi u pitanje i sama upotrebljivost izmerenog podatka. Za potrebe laboratorija, moguće je obezbediti relativno dovoljan broj preciznijih instrumenata, ali za primene na terenu, u poljskim uslovima, /npr. za potrebe Civilne zaštite/ ovo predstavlja težak problem, ne samo finansijski, nego i zbog komplikovanijeg održavanja i rukovanja. Čuju se razna mišljenja, a neka su i publikovana, da tačnost dozimetrijske instrumentacije mora biti maksimalno visoka /reda veličine 1%/ kao i takva da se kao dovoljno tačni instrumenti mogu smat-

rati oni čija je relativna greška ± 50% ili čak i ± 75%. Medjutim, iza ovih tvrdnji često ne stoji nikakva argumentacija, ili ako postoji, tada je ona zasnovana na subjektivnim merilima. U ovom radu je dozvoljena relativna greška odredjena na osnovu prenosa greška dozimetara na procenu krive obolenja i smrtnosti skupa ljudi pri medijalnim dozama 200 i 450 r.

## Kriva obolenja i smrtnosti skupa ljudi u funkciji jednokratno akumulirane doze

Na verovatnoću obolenja i smrtnosti skupa ljudi, kao i individue iz tog skupa, pod uticajem jednokratno akumulirane doze deluju različito slučajne veličine, koje same po sebi predstavljaju sumu velikog broja nezavisnih ili slabo zavisnih slučajnih veličina, čije su disperzije male u poredjenju sa disperzijom cele sume. Za ljudski organizam takve slučajne veličine mogu biti npr. trenutno stanje pojedinog organa, grupe organa, krvna slika, psihičko stanje, temperatura okoline i tela itd. Raspodele ovakvih slučajnih veličina, kao po pravilu, nisu unapred poznate, ali se uz neke sasvim opšte uslove mogu dobro apraksimirati funkcijom normalne raspodele. Polazeći od ovih, čisto načelnih postavki, napravljena je hipoteza da se obolenje i smrtnost posmatranog skupa mora pokoravati normalnoj raspodeli. U tom cilju prikupljeni su objavljeni podaci na osnovu kojih je ova hipotesa testirana sa $\chi^2$ -testom. Testiranje je pokazalo da je polasna hipoteza bila ispravna sa jačinom 0,85. Rezultati ove analize su pokazali da se funkcija raspodele obolenja može predstaviti izrazom:

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_0}{\sigma_0}\right)^2\right] dx \qquad /1/$$




Sl. 1. Kriva obolenja i smrtnosti skupa ljudi u funkciji jednokratno akumulirane doze.

a funkcija raspodele smrtnosti sa

$$F_s(x)=\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{\sigma_o\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_s}{\sigma_s}\right)^2\right]dx \qquad /2/$$

gde je $X$ - jednokratno akumulirana doza, $\sigma_o$ i $\sigma_s$ standardne devijacije, a $\mu_o$ i $\mu_s$ medijalne vrednosti akumulirane doze za obolenje i smrtnost, respektivno. Vrednosti konstanti $\sigma_o, \sigma_s, \mu_o$ i $\mu_s$ date su u Tab. 1, i na sl. 1.

Na ordinati sl. 1 su date veličine

$$F=\int_{-\infty}^{Y(F)}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{s^2}{2}}ds, \text{ gde je } Y=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

a na apecisi akumulirana doza u r.

## Prenos greške u proceni krive obolenja i smrtnosti skupa ljudi

Ovaj prenos je najveći u tačkama $\mu_o$ i $\mu_s$, jer je u njima gustina verovatnoće obolenja i smrtnosti najveća. /Napominjemo da $\mu_o$ i $\mu_s$ predstavljaju srednju dozu obolenja i srednju smrtnu dozu, tj. $LD_{50}$/. Da bi račun bio jednostavniji, funkciju F /X/ treba razviti u Tajlorov red u okolini tačke $\mu$ i posmatrati samo prvih nekoliko članova.

$$F(x)=F(\mu)+(x-\mu)\frac{F'(\mu)}{1!}+(x-\mu)^2\frac{F''(\mu)}{2!}+ \qquad /3/$$

.... + članovi višeg reda

Iz ovog izraza potražićemo približno matematičko očekivanje i disperziju, odnosno standardnu devijaciju S:

Matematičko očekivanje je

$$M[F(x)]=F(\mu)+0+\sigma_r^2\frac{F''(\mu)}{2!}+ \qquad /4/$$

$$\approx F(\mu)=F[M(x)]$$

Disperzija se odredjuje iz

$$\mathcal{D}[F(x)] = M\{F(x) - M[F(x)]\}^2 \qquad /5/$$

$$\simeq M[F(x) - F(\mu)]^2$$

Iz jed. /3/ sledi

$$S^2 = [F(x) - F(\mu)]^2 \approx [F'(\mu)]^2 \sigma_r^2 \qquad /6/$$

analogno je

$$S = |F'(\mu)|\, \sigma_r \qquad /7/$$

gde je $\sigma_r$ tražena standardna devijacija dozimetrijske instrumentacije izražena u rentgenima.

Zamenom odgovarajućih veličina u jed. 7 dobija se prema krivi obolenja

$$\sigma_{ro} = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma_o \cdot S \qquad /8/$$

a prema krivi smrtnosti

$$\sigma_{rs} = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma_s \cdot S \qquad /9/$$

Ako se kao maksimalno odstupanje u proceni krive obolenja i krive smrtnosti usvoji ± 20% što odgovara S = 0,2, tada, shodno podacima u Tab. 1, odnosno sl. 1 sledi

$$\sigma_{ro} = \sqrt{2\pi}\ 40 \cdot 0{,}2 \simeq 20\,r$$

$$\sigma_{rs} = \sqrt{2\pi} \cdot 65\ 0{,}2 \simeq 33\,r$$

Deljenjem ovih veličina sa $\mu_o$ i $\mu_s$, respektivno, i množenjem sa 100, dobija se procentno prihvatljivo odstupanje dozimetara sa kojima se ocenjuju odgovarajuće krive, tj.

$$\sigma_{DO}[\%] = \frac{20\ 100}{200} = 10\,\% \qquad /10/$$

$$\sigma_{DS}[\%] = \frac{33\ 100}{4.50} = 7{,}5\,\%$$

Ako se postavi oštriji zahtev u obliku S = 0,1 tada će biti

$$\sigma_{DO} = 5\,\% \quad i \quad \sigma_{DS} = 4\,\%$$

Prema tome, prihvatljiva dozimetrijska instrumentacija može se smatrati ona koja ima relativnu grešku ne veću od /5-10/%. Relativna greška od 10% može se smatrati maksimalno dozvoljenom.

Greške dozimetrijske instrumentacije

Gornja analiza je izvedena samo za energetski nezavisne i izotropne dozimetre. Energetska i ugaona zavisnost dozimetara spadaju u komponente sistematske greške, čiji uticaj može biti veoma značajan. Medjutim, poznato je da je izgradnja energetski nezavisnog-izotropnog dozimetra praktično neostvarljiva. Da bi se za poznatu vrstu jonizirajućeg zračenja mogla izvršiti korekcija izmerenih podataka, potrebno je da oni budu poznati. Osim toga mora se težiti da se njihov uticaj svede na minimum.

Baždarenje dozimetra za masovnu primenu treba da se vrši u polju zračenja za koje su namenjeni. Tako npr. dozimetri za potrebe Civilne zaštite ne smeju biti baždareni samo na Co-60, nego na širok spektar gama zračenja sličan onom koji se očekuje u polju radioaktivnih padavina. Naše iskustvo pokazuje da se za ovu svrhu može upotrebiti Ra-226 direktno, ili posredstvom vodenog štita debljine /5-10/ cm. Takodje se pogodnim izvorom za baždarenje može smatrati uran izvadjen iz nuklearnog reaktora kao istrošeni gorivni element. S obzirom da dozimetrijski instrumenti ne moraju biti linearni, potrebno je baždarenja vršiti i pri visokim dozama, naročito u tačkama 200 i 450 r, zbog napred iznete važnosti ovih doza.

Sve što je do sada rečeno za merenje akumulirane doze, jednako vredi i za instrumente koji mere brzinu doze, jer se iz njihovih merenja i poznatog vremena ozračivanja ocenjuje

TAB. br. 1

Vrednosti parametara vezanih uz krivu obolenja i smrtnosti skupa ljudi

| Parametar | Obolenje | Smrtnost |
|---|---|---|
| $\mu$ , Medijalna doza [r] | 200 | 450 |
| $\sigma$ , standardna devijacija gustine verovatnoće [r] | 40 | 65 |
| $\sigma_r$ , dozvoljena standardna devijacija [r] merne instrumentacije pri | | |
| S = 0,1 | 10 | 16,5 |
| S = 0,2 | 20 | 33 |
| $\sigma_D$, dozvoljeno srednje kvadratno odstupanje [ % ], dozimetara pri: | | |
| S = 0,1 | 5 | 3,75 |
| S = 0,2 | 10 | 7,5 |

ukupno akumulirana doza.

## ACCEPTABLE ERROR OF DOSE AND DOSE RATE MEASUREMENTS IN ACCIDENTAL AND EMERGENCY SITUATIONS

Abstract: Using published statistical data curves of radiation seekness and mortality group of human beings as a function of single acute dose are plotted. Of the basis of group estimation, according to these curves, by medial doses 200 and 450 r the maximal relative error of dosimeter is determined; it has not to be bigger than ± 5-10%. It is recomended calibration of the dosimeters to be done at 200 and 450 r in radiation field that as possible as near to simulate the accidental and emergency situations.

LITERATURA:

1. D. HUDSON: Statistika dlja fizikov; "Mir"; Moskva, 1967.

2. FITZGERALD J. J. et al: Mathematical Theory of Radiation Dosimetry; str. 126-179, Gordon and Brcach Science Publishers, Inc. New York, 1967.

3. GLASSTONE S. /Ed./, The Effects of Nuclear Weapons, U. S. Goverment Priting Office, 1962.

4. Proceedings of the First International Conference on the Peaceful Uses of Atomie Energy, Geneva, 1955. Vol. 11, p 118, United Nations, New York 1956.

# PRENOSNI MERILNIK SEVANJA GAMA SGM 2300

B.Glavič, K.Cotman, D.Kelšin
Nuklearni inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana

V zadnjem času čedalje bolj narašča uporaba radioizotopov v raziskovalnih panogah in v industriji. Osebje, ki dela v izotopnih laboratorijih in na terenskem delu z izotopi, je seznanjeno z osnovami dozimetrije in pri svojem delu uporablja različne dozimetre, ki so namenjeni za osebno, za kolektivno zaščito ter manipulacijo z radioizotopnim materialom. V tem referatu bomo opisali prenosni gama monitor SGM 2300, ki je namenjen za širšo uporabo v radioizotopnih laboratorijih. Je pa primeren tudi za meritve na terenu. Instrument je izdelan v polvodniški tehniki in ima priročno obliko,ki spominja na obliko pištole. Zunanjost tega instrumenta kažeta sliki 1 in 2.

Tehnični opis.

Sheme so prikazane na sliki 3, 4, 5, 6, 7.

Merilnik je sestavljen iz naslednjih enot: sonde, pogostostnega merilnika in napajalnega dela. V sondi smo uporabili scintilator NaJ (Ti z dimenzijami Ø 25 x 25 mm. Na katodi fotopomnoževalke MloFS25 je anodna napetost 1000 V Anodni upor fotopomnoževalke je obenem vhodni upor pogostnostnega merilnika. Merilnik ima na vhodu emitorski sledilnik s tranzistorjem T 201,ki prilagodi visoko izhodno upornost fotopomnoževalke na nizko vhodno upornost blockingoscilatorja s proženjem. Ta služi za uniformiranje impulzov. Na izhodu prožilnega oscilatorja dobimo pozitivne impulze, ki

trajajo 5 μsec in imajo amplitudo 12 V. Sledi običajno vezje "pumping". Kot integracijski kondenzator služi C 203 Logaritemsko karakteristiko merilnika dobimo z diodo D204 Temperaturno kompenzacijo smo dosegli s paralelno vezavo upora R 209 in upora R 210, ki ima negativni temperaturni koeficient, na integracijskem kondenzatorju dobimo tako napetost, ki je sorazmerna logaritmu števila impulzov. S paralelno vezavo kondenzatorjev C 203 in C 204 povečamo časovno konstanto merilnika. To je važno pri merjenju malih doz za točno vrednost, da dobimo manjšo napako pri odčitku. Pri mali časovni konstanti je kazalec instrumenta zelo nemiren. Ker meritev napetosti ne sme obremeniti integracijskega kondenzatorja, smo zato uporabili diferencialni ojačevalnik s tranzistorji z izoliranim vhodom (MOS FET). Potenciometer R 212 služi za interno nastavitev električne ničle, potenciometer R 214 pa za nastavljanje končnega odklona.

Napajalni del.

Za napajanje merilnika gama so potrebne naslednje napetosti:

- 1000 V stabil., za napajanje fotopomnoževalke ± 12 V stabil , za pogostnostni merilnik
- 70 V nestabil. za napajanje tlivke, ki kaže stanje baterije Ker smo v prenosnem merilniku uporabili 6V baterijo, rabimo za vse navedene napetosti pretvornike. S pretvornika dobimo visoko napetost 1800 V in jo z zenerjevima diodama končno stabiliziramo na napetost 1000 V. Tlivka, ki kaže stanje baterije, je z enim priključkom vezana na nestabilizirano napetost usmernika + 12 V, kjer je napetost približno + 16 V. Ostali del potrebne napetosti, t j  približno 55 V dobimo na kaskadnem merilniku Če pade napetost baterije pod + 5 V, se tlivka več ne prižge

Tehnični podatki.

Skala prenosnega gama monitorja je umerjena za izotop Co 60, kiemitira žarke gama z energijo 1250 keV

Detektor: scintilator NaJ(Ti) Ø 25 mm X 25 mm fotopomnoževalka M 10 Fs 25 (Carl Zeiss Jena)

Uporaba: za sevanje gama z energijami nad 150 keV

Merilno območje: 0,01 mR/h - 10 mR/h na logaritemski skali

Ozadje: 0,01 mR/h - 0,02 mR/h.

Točnost: ± 15 % TPV

Vpliv sprememb baterijske napetosti: 20 % TPV/V

Vpliv sprememb temperature: 0,5 % TPV/$^{o}$C

Časovna konstanta: T ali 10 T

TPV: trenutno pokazana vrednost

Dovoljena temperatura okolice: 0 - 30$^{o}$ C

Napajanje: napetost 4 - 6 V
tok 0,1 - 0,16 A
moč 0,4 - 0,96 W

Za napajanje sta potrebni 2 bateriji 3 V. Dobri novi bateriji lahko napajata monitor 4 ure pri neprekinjenem obratovanju ali 2 meseca pri obratovanju 5 minut dnevno.

Teža kompletnega monitorja 1,3 kg.

Pribor: lesena škatlja, usnjeni pas za nošenje monitorja preko ramena, 4 baterije, kontrolni etalon in dokumentacija.

Zaključek.

Namen konstrukterjev SGM 2300 je bil, da izdelajo enostaven, zanesljiv, občutljiv in priročen instrument za detekcijo in merjenje gama sevanja. Kot tak bo gotovo našel široko uporabo.

Resime

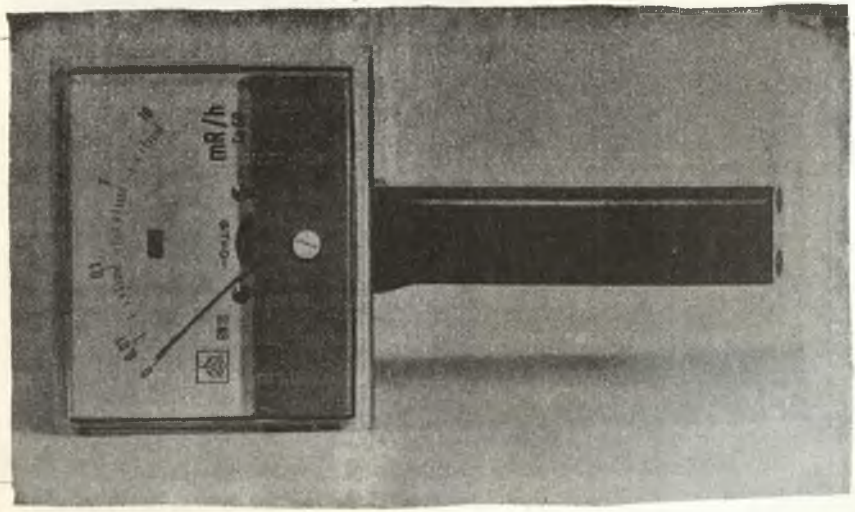
SGM 2300, a Potable Monitor for Gama Radiations

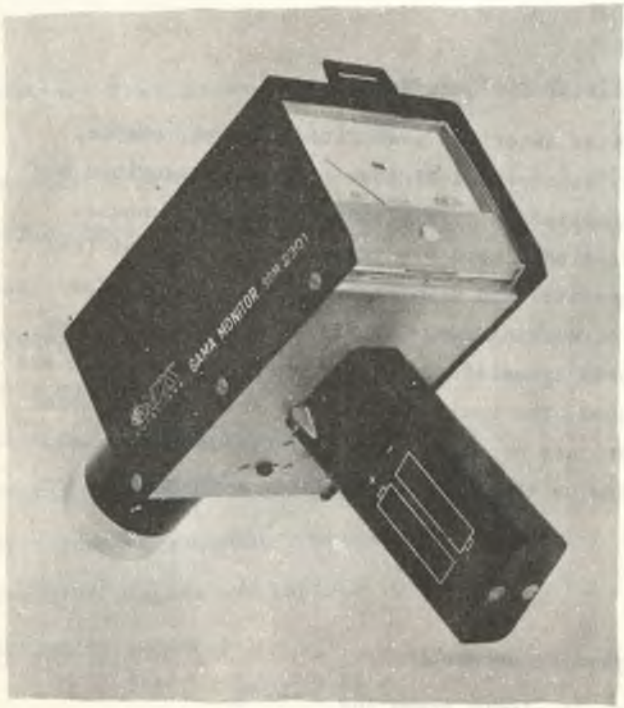
The work with radioactive materials postulates a quick, simple, reliable and sensitive measurement of dose-rate. The described monitor uses NaJ(Ti) scintilation crystal and logarithmic scale. The performances of Si-diodes used are temperature dependent (cca 3 mV/°C). This is compesated and aliminated by NTK resistor for automatic adjustment of working range of Sidiodes and of the working level of the MOSFET transistors, so the amplifiens systems are temperature unimfluonced. The monitor doses not need any aditional manual readjusments and has no other, but only the on-eff switch. All this features allow us to point out its high performance qualitias.

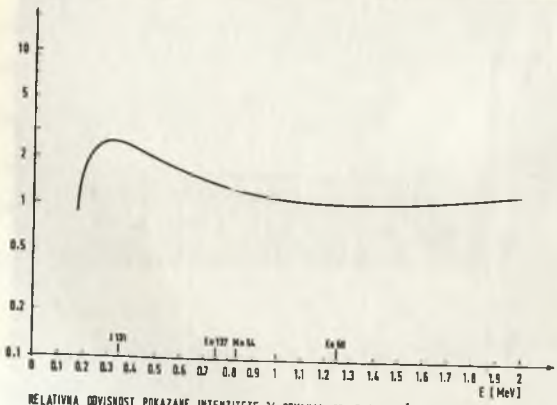
Literatura:

1. Gerald J. Hine, Gordon L. Brownell:

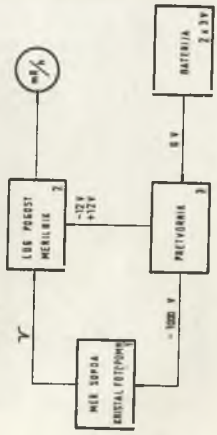
Radistion Dosimetry, Academic Press Inc. Publishers, New York 1956.



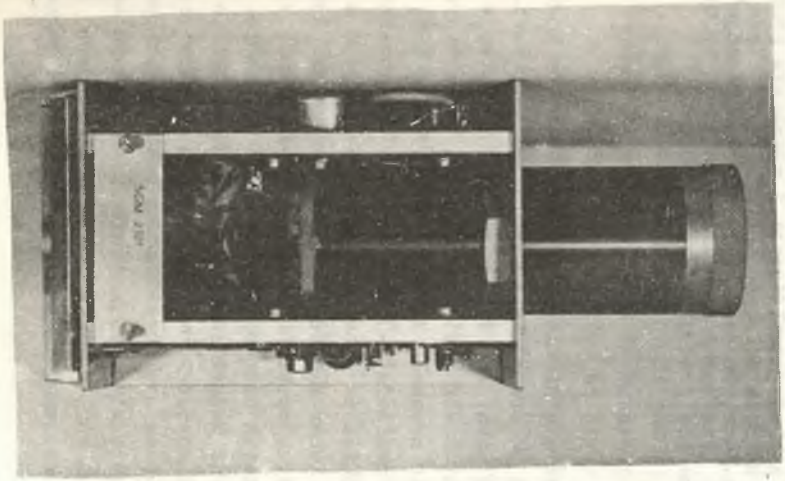


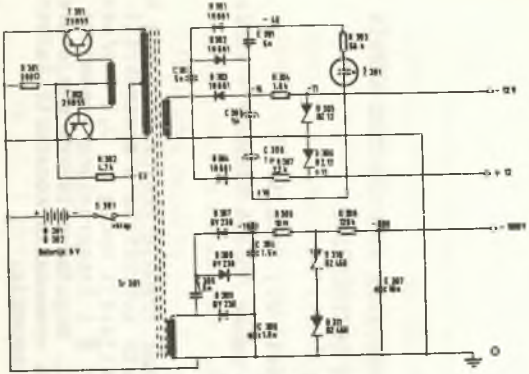



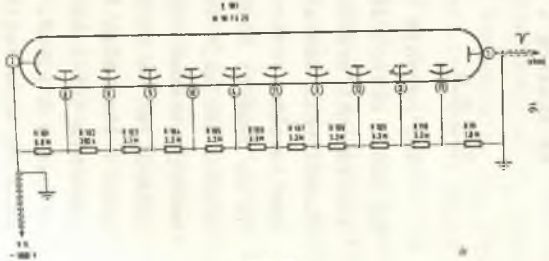

RELATIVNA ODVISNOST POKAZANE INTENZITETE γ SEVANJA OD ENERGIJE ŽARKOV Z OZIROM NA Co 60
NIJS GAMA MONITOR SGM 2300

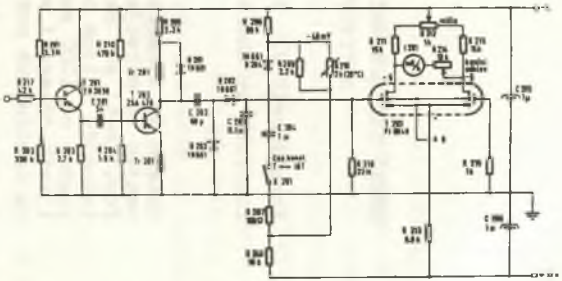



NIJS GAMA MONITOR SGM 2300 BLOK SHEMA









# MERAČ SREDNJE BRZINE BROJANJA ZA DETEKTORE NISKIH AKTIVITETA U DOZIMETRIJI

Veselinović D., Danilović D., Šobajić M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Opisan je linearni merač srednje brzine brojanja namenjen za merenje niskih aktiviteta u dozimetriji. Postignuti su najosetljiviji opseg od 0,1 imp/sec sa tačnošću boljom od 0,5 % i integraciona vremenska konstanta od 1000 sekundi. Mogućnost izbora manje osetljivih opsega i manjih vremenskih konstanti zadovoljava uobičajene potrebe merenja.

Predloženi merač srednje brzine brojanja predstavlja poboljšanje u pogledu osetljivosti i vremenske konstante za više od reda veličine u odnosu na do sada poznate merače. Korišćenje ovog merača kod merenja uzoraka niskih aktivnosti jednostavnije je od upotrebe skalera i merača predodredjenog vremena.

## U v o d

Kod merenja uzoraka niskih aktiviteta često se koriste dobro oklopljeni GM brojači u antikoincidentnoj vezi. Instrumenti ovakvog tipa, kao što su uredjaj za merenje radioaktivnih uzoraka niskog aktiviteta LOLA-4 i aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola ACA-2 [1] razvijeni u IBK, daju za osnovni nivo zračenja 1-3 imp/min. Kod instrumenata LOLA-4 brojanje impulsa iz detektora vrši se skalerom a za merenje vremenskog intervala koristi se hronometar. Automatski rad bi zahtevao upotrebu merača predodredjenog vremena i štampača, što bi znatno povećalo cenu aparature. Aparatura ACA-2 sadrži logaritamski merač srednje brzine brojanja i pisač. Nedostatak ovakvog merenja je mala preciznost karakteristična za sva logaritamska očitavanja. Upotreba merača srednje brzine brojanja sa linearnom indikacijom omogućila bi i kod jednog i kod drugog uredjaja neposredno precizno očitavanje rezultata na mernom instrumen-

Postojeći merači srednje brzine brojanja nisu zadovoljavali u pogledu opsega merenja, tačnosti i vremenske konstante. U ovom radu opisano je kolo linearnog merača srednje brzine brojanja koje kao aktivnu ulaznu komponentu koristi unipolarni tranzistor sa izolovanim gejtom. Ovo rešenje predstavlja poboljšanje u pogledu osetljivosti i vremenske konstante za više od reda veličine u odnosu na do sada poznata kola. Ono zadovoljava zahteve koji se postavljaju kod merenja niskih aktiviteta i može se uspešno primeniti u aparaturama LOLA-4 i ACA-2.

Opis kola

Na sl. 1 prikazano je pumpno kolo kod koga je linearizacija izvršena primenom "source follower"-a sa stabilisanom radnom tačkom [2]. Pri pojavi ulaznog impulsa konstantne amplitude i vremena trajanja dolazi do punjenja kondenzatora $C_1$ preko diode $D_1$. Po završetku ulaznog impulsa, odredjena količina elektriciteta iz kondenzatora $C_1$ preko diode $D_2$ prebacuje se u integracioni kondenzator $C_2$. Pražnjenje kondenzatora $C_2$ vrši se preko otpornosti R. Napon na kondenzatoru $C_2$ dovodi se na ulaz "source follower"-a sa stabilisanom radnom tačkom, koji služi kao transformator impedance i vrši linearizaciju pumpnog kola pomoću diode $D_1$. Potenciometar P služi za regulaciju nule izlaznog napona "source follower"-a.

"Source follower" sa stabilisanom radnom tačkom ima konstantno pojačanje $A > 0{,}9995$ unutar dinamičkog opsega većeg od 20 V. To omogućava da se uticaj pojačanja na tačnost i linearnost može praktično zanemariti. Veliki dinamički opseg smanjuje uticaj pomeranja nule. Ulazna otpornost "source follower"-a je reda $10^{15}$ Ohma, pa omogućava izbor velike vrednosti otpornosti R u pumpnom kolu. Veličina te otpornosti ograničena je otpornošću akumulacionog kondenzatora $C_2$ i inversnom strujom zasićenja diode $D_2$. Upotreba velikih vrednosti otpornosti R omogućava korišćenje relativno malih vrednosti kapacitivnosti $C_1$ i $C_2$, a time i manje njihove fizičke dimenzije nego što je do sada bio slučaj.

Promenom vrednosti otpornika R pri istom kondenzatoru $C_1$ moguće je obuhvatiti više dekada nego kod do sada realizovanih kola. Široki dinamički opseg, velika linearnost i temperaturna stabilnost ovakvog kola omogućava sa istim elementima pumpnog kola linearno merenje broja impulsa u sekundi u području koje obuhvata više od dve dekade.

U pumpnom kolu korišćeni su kao $C_1$ kondenzatori od mike, a kao $C_2$ kondenzatori od polistirena. Izmerene otpornosti izolacije kondenzatora veće su od $3.10^{13}$ Ohma. Inversna struja zasićenja diode $D_2$ manja je od $10^{-13}$ A.

Za uobličavanje impulsa korišćeno je kolo prikazano na sl. 2. Prema impulsu iz detektora zračenja može se odabrati odgovarajuća vremenska konstanta ulaznog kola za diferenciranje. Vreme trajanja impulsa može se podesiti promenom vremenske konstante povratne sprege diferencijalnog komparatora /uA 710.

Karakteristike

U tabeli I dati su za pet linearnih opsega merenja elementi kola, maksimalna vremenska konstanta, izlazni napon i tačnost.

Tabela I

| Opseg merenja (imp/sec) | Elementi kola $C_1$ (F) | $C_2$ (F) | R (Ω) | Maksimalna vremenska konstanta (sec) | Izlazni napon (V) | Tačnost (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,1 | $3,3.10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{9}$ | 1000 | 2 | 1 |
| 1 | $3,3.10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{9}$ | 1000 | 20 | 0,5 |
| 10 | $3,5.10^{-10}$ | $10^{-7}$ | $10^{8}$ | 10 | 2 | 1 |
| 100 | $3,5.10^{-10}$ | $10^{-7}$ | $10^{8}$ | 10 | 20 | 0,5 |
| 1000 | $3,5.10^{-10}$ | $10^{-7}$ | $10^{7}$ | 1 | 20 | 0,5 |

Od naročitog je interesa opseg merenja od 0,1 imp/sec. sa tačnošću od 1% i vremenskom konstantom od 1000 sekundi. Ovaj opseg omogućava merenje osnovnog nivoa zračenja i radioaktivnih uzoraka niskih aktiviteta. Vremenske konstante, date u tabeli, mogu se po potrebi smanjiti. Kolo se može jednostavno prilagoditi i za druge vrednosti napona napajanja.

## Zaključak

Razvijeno kolo za merenje srednje brzine brojanja ima u pogledu linearnosti i temperaturne stabilnosti izrazitu prednost u odnosu na do sada korišćena kola sa elektronsim cevima i bipolarnim tranzistorima. Velika ulazna impedanca tranzistora sa izolovanim gejtom i usvojena koncepcija kola omogućila je ostvarenje opsega od 0,1 imp/s sa linearnošću od 1%. Široki dinamički opseg izlaznih jednosmernih signala od preko 20 V dozvoljava korišćenje dva linearna opsega merenja sa istim elementima pumpnog kola. Ostvarena je vremenska konstanta od 1000 sekundi.

Opisani merač srednje brzine brojanja zadovoljava zahteve koji se postavljaju kod merenja niskih aktiviteta GM brojačima u antikoincidentnoj sprezi. On se može koristiti u medicini, biologiji i drugim oblastima gde je potrebno precizno meriti mali broj impulsa u jedinici vremena.

## Reference

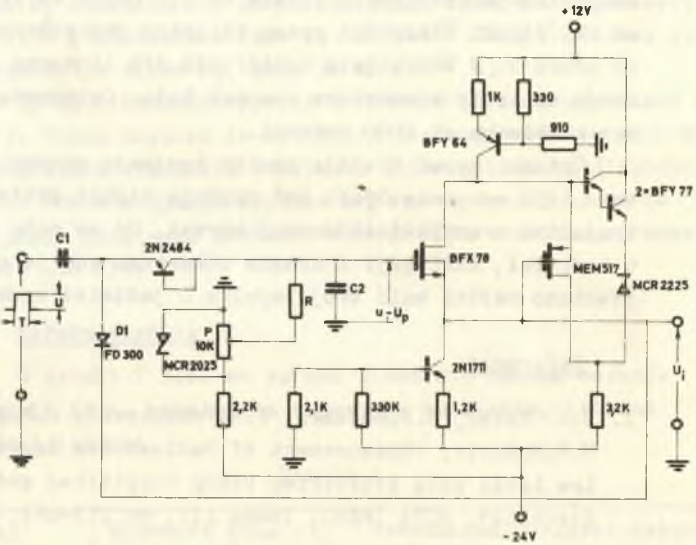
1. B.J. Kovač, S.D.Muždeka, P.B.Frantlović, D.M.Spasojević, M.M.Božović, "Measurement of Radioactive Aerosols and Low Level Beta Activities Using Simplified and Reliable Circuits", ACTA IMEKO, Tomus III, pp 453-463, 1964.
2. D.Z.Danilović, M.V.Šobajić, D.I. Veselinović, "Voltage Stabilization of the Source-follower Operating Point", Electronic Engng , 41, pp. 221-223, 1969.

## Summary

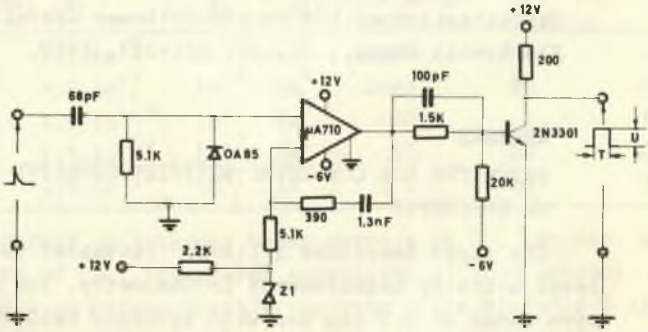
RATEMETER FOR LOW-LEVEL ACTIVITY DETECTOR MEASUREMENTS IN DOSIMETRY

The paper describes a linear ratemeter used for low-level activity measurements in dosimetry. The most sensitive range of 0,1 imp/sec with accuracy better than 0,5% and integrating time constant of 1000 sec are obtained. A possibility to choose less sensitive ranges and shorter time constants satisfies usual measurement requirements.

An improvement with regard to sensitivity and time constant for more than a value order is obtained by the suggested ratemeter when compared to the existing ratemeters. The use of this ratemeter for measurements of low-level activity samples is simpler than the use of a scaler and timer.




SL.1




SL. 2

# UTICAJ DISKRIMINATORA NA SMANJENJE EFIKASNOSTI MERENJA

JOVANČEVIĆ V.,NIKOLIĆ D.,DJORDJEVIĆ D.
Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu, Zemun.

Rezime

Prikazan je uticaj diskriminatorskih nivoa na efikasnost merenja tečnim scintilacionim brojačem Nuclear Chicago 725. Na beta spektru tricijuma je pokazano da veličina broja izgubljenih impulsa zavisi od položaja diskriminatora, usled čega efikasnost merenja nije u svim oblastima spektra ista.To ima naročitog značaja za snimanje beta spektara i za odredjivanje efikasnosti merenja niskih aktivnosti metodom odnosa kanala.

## Uvod

Efikasnost merenja na tečnom scintilacionom brojaču zavisi vrlo mnogo od uslova merenja, pre svega od hemijskog sastava scintilacione sredine koja u većoj ili manjoj meri izaziva gašenje scintilacija. Medjutim na efikasnost merenja utiče i elektronski uredjaj koji služi za brojanje impulsa.Veličina ovih impulsa je proporcionalna energiji čestica.Kod tečnih scintilacionih brojača koji se koriste za brojanje beta čestica, a one imaju čitav spektar energija, sva se merenja obavljaju u odredjenim intervalima impulsa ili kanalima koji obuhvataju bilo čitav spektar energija bilo samo pojedine uže ili šire intervale.Za izdvajanje impulsa odredjene energije služe diskriminatori kojima su ovakvi instrumenti snabdeveni. Kao što je poznato, diskriminator propušta u antikoincidentno strujno kolo sve impulse čija je energija veća od energije definisane položajem diskriminatora. Pomoću dva diskriminatora čiji su energetski nivoi $E_1$ i $E_2$ antikoincidentno kolo izdvaja energije $E_i$ koja se nala-

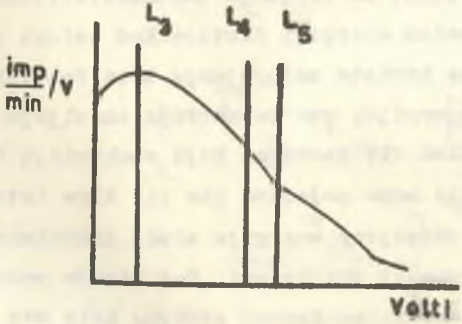
si u granicama $E_1$ i $E_2$ ($E_1 > E_i > E_2$) i njihov broj instrument registruje.

U ovom radu je pokazano da se pri prolazu kroz diskriminatorski nivo gubi izvestan broj impulsa što dovodi do umanjenja efikasnosti merenja. Ispitana je zavisnost veličine izgubljenih impulsa od aktiviteta uzorka, od položaja diskriminatora i od širine kanala.

## Materijal i metod rada

Kao izvor beta čestica služio je tricijum (0,0189 Mev) vezan u molekulu lizina rastvorenog u 0,01 N rastvoru HCl. Scintilator se sastojao od tolueola u kome je bilo rastvoreno 15g/l PPO (2,5 difeniloksazol) i 0,5 g/l POPOP (2-p-fenilenbis/metil, 5 feniloksazol). Za merenje smo koristili uzorke koji su sadržali 10ml scintilatora, 6ml etanola i 0,5ml rastvora različitih aktiviteta. Kod svih uzoraka je praktično postiknut isti stepen gašenja.

Ispitivanja su obavljena na tečnom scintilacionom brojaču Nuclear Chicago 725. Ovaj instrument može simultano da analizira i broji impulse u tri različita kanala i stoga ima pet diskriminatora. Mi smo koristili diskriminatore $L_3$, $L_4$ i $L_5$ sl.1.




Slika 1. -Tipičan spektar beta čestica

Na ovom dijagramu apscisna osa predstavlja veličine impulsa a ordinata brojeve imp/min u jediničnim impulsnim intervalima.

Da bi smo izmerili veličinu broja izgubljenih imp/min pri prolazu kroz diskriminatorske nivoe postupili smo na sledeći način. Pomoću nivoa $L_4$ i $L_5$ na instrumentu

smo direktno čitali brojeve imp/min u kanalu $(L_4-L_5)$. Obeležimo te brojeve sa $(L_4-L_5)_{pr}$. Zatim smo čitali brojeve imp/min za kanale $(L_3-L_4)$ i $(L_3-L_5)$. Oduzimanjem ova dva broja dobili smo broj imp/min u kanalu $(L_4-L_5)$. Obeležimo ovako izračunate vrednosti sa $(L_4-L_5)_{iz}$ i pokažimo da je iz njih eliminisan gubitak koji nastaje pri prolazu impulsa kroz diskriminatorske nivoe. Neka je $\delta$ broj imp/min koji se gubi pri čitanju i pretpostavimo da je on za svako čitanje isti, tako da mi umesto pravih vrednosti $(L_3-L_4)$ i $(L_3-L_5)$ na instrumentu čitamo $[(L_3-L_4)-\delta]$ i $[(L_3-L_5)-\delta]$. Tada je

$$(L_4-L_5)_{iz}=[(L_3-L_5)-\delta]-[(L_3-L_4)-\delta]=(L_3-L_5)-\delta-(L_3-L_4)+\delta=(L_4-L_5)$$

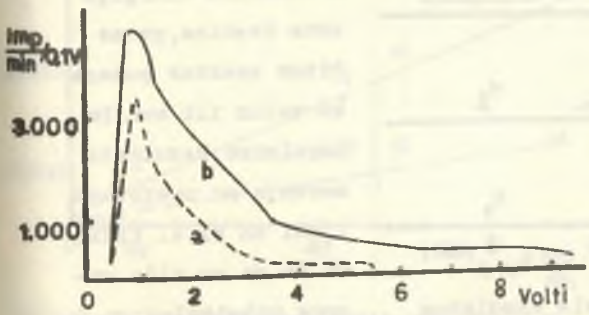
Kao što se vidi gubitak se poništava i ne ulazi u krajnji rezultat, odnosno vrednosti $(L_4-L_5)_{iz}$ se poklapaju sa pravim vrednostima $(L_4-L_5)$. Veličina gubitaka $\delta$ se može stoga izračunati kao

$$\delta=(L_3-L_5)_{iz}-(L_3-L_4)_{pr}.$$

Sva su merenja obavljena na uzorzima 1, 2, 3., i 4 koji su na brojaču davali respektivno sledeće brojeve imp/min: $9\cdot10^3$, $9\cdot10^4$, $5\cdot10^5$ i $8\cdot10^5$.

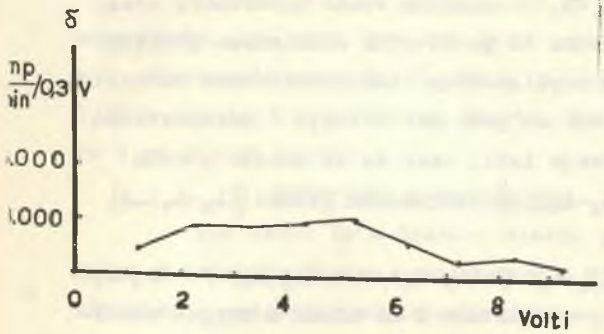
## Rezultati merenja

Spektralna raspodela energije beta čestica koju smo dobili sa uzorkom 2 pretstavljena je na dijagramu sl.2. Isprekidana krivulja se odnosi na direktno pročitane brojeve imp/min. Za iste impulsne intervale izračunate vrednosti brojeva imp/min pretstavlja kontinuirana krivulja. Sa slike se vidi da su proračunate vrednosti uvek manje od izračunatih

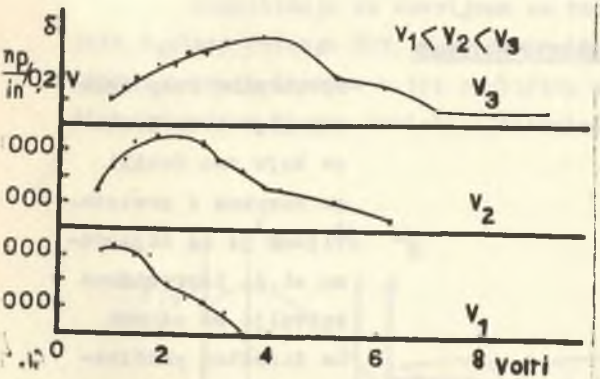



Slika 2. -Spektri beta čestica
a-direktno pročitani imp/min
b-izračunati imp/min

Razlika δ izmedju izračunatih i direktno pročitanih vrednosti koja se iz istih podataka merenja može dobiti uneta je u dijagram sl.3. Lako se da zaključiti kako δ varira sa mestom u spektru. Na krajevima ima najmanje vrednosti a negde medju srednjim vrednostima energija gubici su maksimalni. Da bismo ovaj zaključak proverili varirali smo napon na fotomultiplikatorskim cevima i na istom uzorku ponovili merenje. Tada se menja faktor proporcionalnosti izmedju veličine impulsa i veličine energije beta čestica, pa se čitav spektar pomera ka većim ili manjim impulsima. Rezultati merenja su pretstavljeni na sl.4. Vidi se da su za niže napone maksimalni gubici pomereni ka nižim vrednostima energija, odnosno impulsa. Sa višim naponima na fotomultiplikatorskim cevima maksimalni gubici se pomeraju ka većim impulsima.

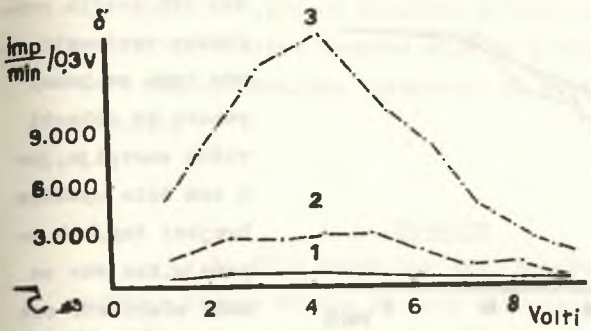



Slika 3.-Raspodela apsolutne vrednosti izgubljenih impul/min pri snimanju beta spektara



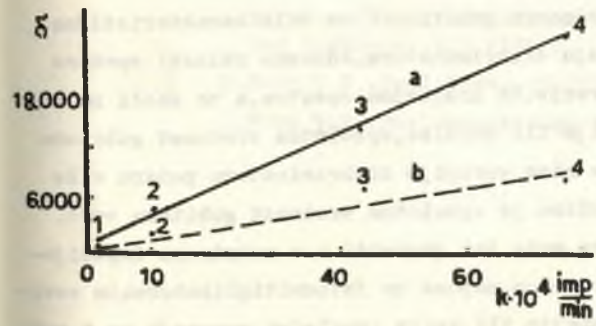

Slika 4.-Spektralna raspodela apsolutne vrednosti izgubljenih imp/min na različitim naponima fotomultiplikatorskih cevi

Razumljivo je pretpostaviti da se veličina δ menja i sa ukupnim brojem impulsa, odnosno sa aktivitetom uzorka. Na sl.5. su pretstavljeni rezultati merenja uzoraka 1, 2 i 3. Raspolela apsolutnih vrednosti gubitaka je slična za sva tri uzorka. Sa slike se da neposredno zaključiti da postoji izvesna srazmernost izmedju veličine broja izgubljenih imp/min i ukupnog broja imp/min.




Slika 5.-Raspodela apsolutnih vrednosti gubitaka za uzorke različitih aktiviteta

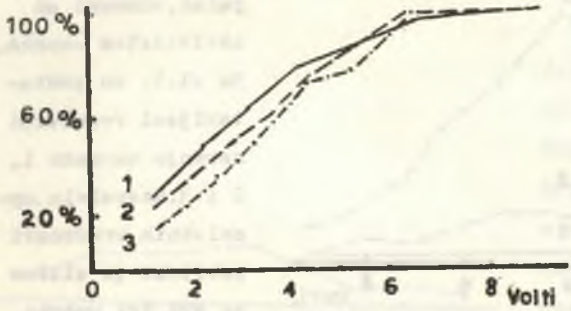
Da bismo ispitali zavisnost izmedju veličine δ i aktiviteta uzorka, odnosno ukupnog broja imp/min, koristili smo uzorke 1,2, 3i4. Rezultati merenja su pretstavljeni na sl.6. Na apscisnu osu su preneti ukupni brojevi imp/min, a na ordinatu apsolutne vrednosti gubitaka. Isprekidana linija se odnosi na srednje, a neprekidna na maksimalne apsolutne vrednosti. Kao što se vidi sasvim je jasno izražena linearna zavisnost.




Slika6.- Zavisnost apsolutnih vrednosti gubitaka od aktiviteta. (a)maksimalne vrednosti, (b)srednje vrednosti

Procentne vrednosti broja imp/min izračunate u odnosu na broj imp/min u datom intervalu, koje instrument treba da registruje

pretstavlene su na sl.7. Ovde je širina kanala iznosila 0,3v.Za sva tri uzorka procentne vrednosti rastu kada se kanal pomera ka oblasti viših energija,jer u tom delu spektra brojevi imp/min opadaju.Kao što se može očekivati ove tri krive se u potpunosti poklapaju. To je posledica linearne zavisnosti koja je pretstavljena na sl.6.




Slika 7.- Procentne vrednosti izgubljenih imp/min za uzorke različitih aktiviteta

## Diskusija izloženih rezultata

Rezultati do kojih se došlo u ovom radu sasvim jasno pokazuju da elektronski deo brojačkog uredjaja ima uticaja na efikasnost merenja.

Apsolutne vrednosti gubitaka $\delta$ na vrlo karakterističan način zavise od položaja diskriminatora,odnosno oblasti spektra u kojoj se obavlja merenje.Na krajevima spektra,a to znači za najmanje i najveće energije ili impulse,apsolutna vrednost gubitaka je najmanja.Ukoliko se nivo energije diskriminatora pomera više ka sredini spektra utoliko je apsolutna vrednost gubitaka veća. Za velike aktivitete se može čak govoriti i o maksimumu izgubljenih imp/min.Kada se promenom napona na fotomultiplikatorskim cevima spektar pomera ka manjim ili većim impulsima pomeraju se i maksimalne vrednosti gubitaka.

U ovim ogledima nije konstatovana zavisnost apsolutne vrednosti broja izgubljenih imp/min od širine kanala.

Konstatovana je zavisnost apsolutne vrednosti gubitaka od ukupnog broja impulsa koji ulaze u elektronski uredjaj i ona

Relativne vrednosti gubitaka zavise od širine kanala, ili intervala.Ako se interval sužava relativne vrednosti rastu,na pojedinim mestima spektra mogu da postanu jednake jedinici,tako da u tim intervalima instrument ne registruje uopšte postojanje impulsa.


## Summery

In this paper has been pointed out that discriminator setting is one of the factors affecting counting efficiency on Liquid scintillation counter Nuclear Chicago 725.On tritium energy beta spectra are showen the losses in efficiency resulting from discriminator setting.Therefore counting efficiency is dependent on the area of spectra where counting is performed.This is significant for determination of efficiency by means of channel ratio method.


## Literatura


1.Baillie L.A.,InternationalJournal of Applied Radiation and Isotopes ,8,1 (1960)

2.Bush T E.,Anal.Chem.,35,1024 (1963)

3.Bush T.E.,Nuclear-Chicago Technical Bulletins,13 (1964)

je izrazito linearna.Prosečna vrednost broja imp/min koji se izgube pri jednom čitanju iznosi oko 1,3 % od ukupnog broja imp/min.Maksimalna vrednost izgubljenih imp/min iznosi oko 4% od ukupnog broja.

Relativna vrednost gubitaka,ili,odnos izmedju broja imp/min izgubljenih i broja imp/min koje instrument treba da registruje zavisi od širine kanala u kome se broje impulsi.Ukoliko je širina intervala veća relativne vrednosti gubitaka su manje.

Za datu širinu intervala procenti izgubljenih impulsa rastu ukoliko se kanal pomera u spektru ka većim energijama i mogu da dostignu i vrednost 100 %.Upravo broj izgubljenih imp/min postaje jednak ili veći od broja imp/min koji su sadržani u intervalu tako da ih instrument ne registruje.

Kao što se vidi gubljenje impulsa pri prolazu kroz diskriminator od naročite je važnosti pri merenju u uzanim intervalima.Takav slučaj nastupa pri snimanju spektralne raspodele energije beta čestica.U svim intervalima brojevi imp/min su umanjeni, a u oblasti većih energija gde je broj imp/min mali instrument uopšte ne registruje impulse.

Poznato je da se "odnos kanala" $R=L_3-L_4/L_3-L_5$ ili $R=L_4-L_5/L_3-L_4$ ,koristi za procenu efikasnosti merenja.Pošto se ovde radi o intervalima impulsa koji imaju različite širine i obuhvataju različite oblasti spektra veličina izgubljenih imp/min dovodi do promene vrednosti za R.Pri merenju niskih aktiviteta ove promenu mogu da izazovu pogrešnu procenu efikasnosti.

## Zaključak

Apsolutne vrednosti broja imp/min koji se gube pri prolazu kroz diskriminatorski nivo zavise od ukupnog broja imp/min koji ulaze u elektronski deo instrumenta,a ne zavise od širine kanala u kome se impulsi broje.Sa mestom u spektru apsolutne veličine gubitaka menjaju svoju vrednost

# SORPCIJA NEKIH FISIONIH I AKTIVACIONIH RADIONUKLIDA NA MORSKOM SEDIMENTU

PICER M. i STROHAL P.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb
Farmaceutsko-biokemijski fakultet, Zagreb

U radu su proučavani slijedeći fenomeni vezani uz procese sorpcije radionuklida na krutoj fazi u mediju morske vode:

1. Istražena je kinetika sorpcije $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$ i $Mn^{54}$ na morskom sedimentu kao i na nekim konstituentima morskog sedimenta i

2. Studirane su ravnotežne sorpcione osobine $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$, $Mn^{54}$, $Cs^{137}$, $Sb^{125}$ i $Sr^{85}$ pri raznim eksperimentalnim uvjetima te kod raznih fizikalno-kemijskih stanja istraživanih tekućih i krutih faza.

Sumiranjem rezultata istraživanja sorpcije radionuklida na morskom sedimentu dobio se izvjestan poredak nivoa sorpcije prikazan na slijedeći način:

$$Sr^{85} < Sb^{125} \ll Mn^{54} < Co^{58} < Ru^{106} < Cs^{137} < Zn^{65} < Ce^{144}$$

## Uvod

Problemi vezani uz proučavanje sudbine radioaktivnih materijala ubačenih u mora i oceane stimulirali su istraživanje mehanizama eliminacije radionuklida iz morske vode. Jedan od procesa eliminacije je i sorpcija radionuklida na krutoj fazi morske vode ili sedimentu. Međutim, u literaturi je do sada objavljen relativno mali broj egzatnih istraživanja sorpcije radionuklida u laboratorijskim uvjetima (1, 2, 3). Specifičan položaj Jadranskog

mora a osobito Sjevernog Jadrana potakao nas je na istraživanja sorpcionih osobina sedimenta Sjevernog Jadrana.

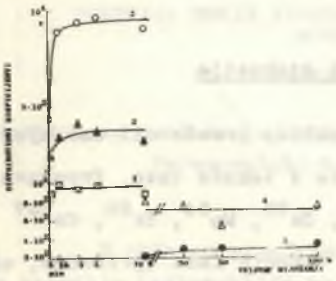
## Metoda, rezultati i diskusija

Sorpcionu sposobnost radionuklida proučavali smo mjerenjem njegove distribucije između krute i tekuće faze. Proučavali smo distribuciju $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$, $Mn^{54}$, $Sr^{85}$, $Cs^{137}$ i $Sb^{125}$ između umjetno kontaminiranih tekućih faza (prirodna, ultrafiltrirana i sintetska morska voda - P.M.V., F.M.V. i S.M.V. te riječna i smjesa riječne i morske vode - R.V.) i krutih faza (vapnenac, dolomit, kvarc i morski sediment - Sjevernog Jadrana). Miješanje tekuće i krute faze vršilo se mućkanjem u plastičnim kivetama na električnoj mućkalici pri sobnoj temperaturi ili uz upotrebu specijalnog rashladnog sistema pri 10°C. Nivo sorpcije radionuklida na krutoj fazi izražen je distribucionim koeficijentom. Distribucioni koeficijent D i korigirani distribucioni koeficijent D' izraženi su slijedećim relacijama:

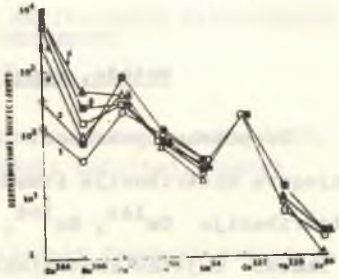
$$D = \frac{\text{Aktivnost standarda - aktivnost u otopini}}{\text{aktivnost u otopini}} \times \frac{v(ml)}{m(g)}$$

$$D' = \frac{\text{Korigirana akt. stand. - akt. u otopini}}{\text{aktivnost u otopini}} \times \frac{v(ml)}{m(g)}$$

gdje je aktivnost standarda aktivnost tekućine prije miješanja a aktivnost otopine je aktivnost tekućine nakon miješanja krutom fazom, v je volumen tekuće a m je masa krute faze. Korigirana aktivnost standarda dobije se mjerenjem radioaktivnosti tekuće faze nakon mućkanja kiveta u kojima se nalazi samo tekuća faza.



Sl.1 Kinetika sorpcije $Ce^{144}$



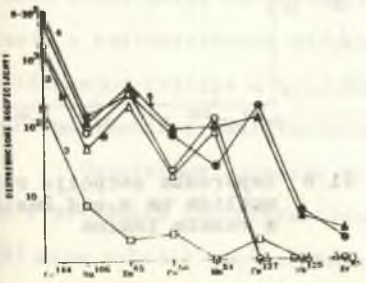
Sl.2 Usporedba korigiranih (D') i nekorigiranih (D) dist. koef.

Na slici 1 prikazana je kinetika sorpcije $Ce^{144}$ iz P.M.V. i S.M.V. na morskom sedimentu, vapnencu i dolomitu. Također je praćena kinetika sorpcije $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$ i $Mn^{54}$ (4). U tim istraživanjima opaženo je da se $Ce^{144}$ veoma brzo sorbira, $Mn^{54}$ i $Co^{58}$ nešto sporije - ravnoteža se postiže nakon 5 sati miješanja dok za uspostavljanje sorpcione ravnoteže $Ru^{106}$ i $Zn^{65}$ potrebno je oko 50 sati.

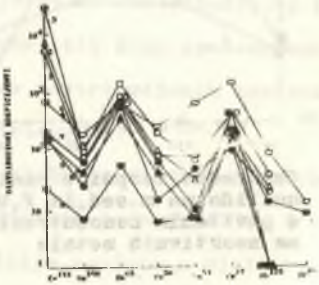
Na slici 2 nanešene su vrijednosti nekorigiranih (D) i korigiranih (D') distribucionih koeficijenata za S.M.V. /1 i 2/, P.M.V. /3 i 4/ i F.M.V. /5 i 6/. Razlike u distribucionim koeficijentima osobito su naglašene pri sorpciji $Ce^{144}$, $Ru^{106}$ i $Zn^{65}$. Radi utvrđivanja ostalih eksperimentalnih uvjeta proučili smo utjecaj omjera tekuće i krute faze i temperature na veličinu distribucionih koeficijenata (4). Nakon ovih preliminarnih istraživanja pristupili smo proučavanju sorpcije radionuklida iz raznih te-

kućih faza na morskom sedimentu i nekim njegovim konstituentima pri uravnoteženim uvjetima.

Na slici 3 uspoređene su vrijednosti distribucionih koeficijenata istraživanih radionuklida prilikom sorpcije iz F.M.V. na vapnencu /1/, dolomitu /2/, kvarcu /3/ i morskom sedimentu većih /4/ i manjih /5/ čestica. Iz slike se vidi znatno slabija sorpcija svih radionuklida na kvarcu u usporedbi s ostalim materijalima. Sorpcija $Ce^{144}$, $Ru^{106}$ i $Zn^{65}$ je podjednaka na svim materijalima. Međutim opažaju se znatnije razlike u sorpcionoj sposobnosti $Co^{58}$, $Cs^{137}$, $Sb^{125}$ i $Sr^{85}$. Ta je razlika osobito velika usporedi li se sorpcija $Cs^{137}$ na vapnencu i dolomitu naprama onoj sorpciji opaženoj na morskom sedimentu. Ovi nam rezultati govore ne samo o razlikama efikasnosti sorpcije radionuklida na raznim materijalima, već i o razlikama mehanizama same sorpcije.

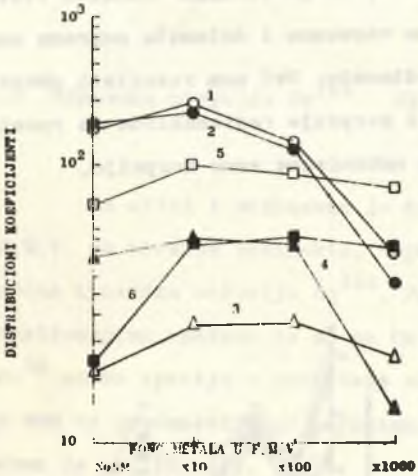


Sl.3 Usporedba sorpcije radionuklida na raznim materijalima

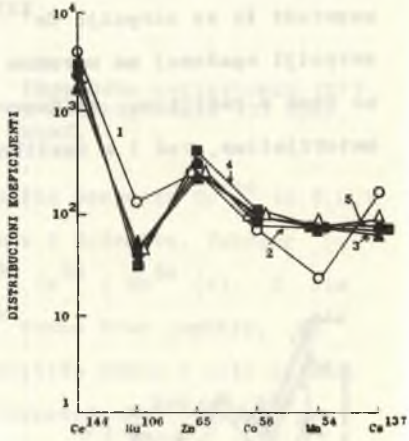


Sl.4 Usporedba sorpcije radionuklida iz R.V. i R.V. + P.M.V.

Veoma su interesantni fenomeni sorpcije radionuklida koji se zbivaju na ušću rijeka u more prilikom čega dolazi do miješanja riječne i morske vode te promjena fizikalno-kemijskih parametara. Na slici 4 prikazani su korigirani (1, 2, 3, 4) i nekorigirani (5, 6, 7, 8) distribucioni koeficijenti za riječnu i smjese riječne i morske vode dobiveni proučavanjem sorpcije radionuklida na morskom sedimentu. Vidimo da su osobito izražene razlike u sorpciji s obzirom na sastav smjese morske i riječne vode kod sorpcije $Co^{58}$ i $Mn^{54}$.




Sl.5 Usporedba sorpcije radionuklida na m.sed.iz F.M.V. s povišenim koncentracijama neaktivnih metala




Sl.6 Usporedba sorpcije radionuklida na m.sed.zasićenom s raznim ionima

Radi usporedbe sorpcionog kapaciteta morskog sedimenta i vapnenca prilikom sorpcije $Zn^{65}$, $Co^{58}$ i $Mn^{54}$ proučavali smo njihove distribucione koeficijente ovisno o dodacima neaktivnih iona u morsku vodu. Na slici 5 prikazane su veličine distribucionih koeficijenata s obzirom na normalnu i povećanu koncentraciju neak-

tivnog izotopa u morskoj vodi. Vidimo da je naglo smanjenje vrijednosti distribucionog koeficijenta $Zn^{65}$ /1, 2/ i $Co^{58}$ /3, 4/ opaženo pri istom redu koncentracije neaktivnog iona ($10^{-5}$) mol/l., dok za $Mn^{54}$ nije opaženo to zasićenje niti kod koncentracije od $10^{-4}$ mol/l neaktivnog iona $Mn^{++}$. To nam ukazuje da najvjerojatnije nije uspostavljena ravnoteža radioaktivnog $Mn^{54}$ (koji se nalazi u treserskoj količini reda veličine $10^{-10}$ mol/l) i prirodnog odnosno dodanog ionskog mangana.

Utjecaj zasićenja morskog sedimenta s $Na^{+}$, $K^{+}$, $Mg^{++}$ ili $Ca^{++}$ ionima na sorpcionu sposobnost sedimenta prikazan je na slici 6. Vidimo da je značajniji utjecaj zasićenja sedimenta sa spomenutim ionima jedino kod sorpcije $Cs^{137}$ (usporede li se vrijednosti distribucionih koeficijenata na krivulji 1 - nezasićen sediment i na krivuljama 2, 3, 4 i 5 zasićen sediment s $Na^{+}$, $K^{+}$, $Mg^{++}$ i $Ca^{++}$ ionima).

Proučavali smo i utjecaj uravnoteženja morskog sedimenta morskom vodom prije određivanja vrijednosti distribucionog koeficijenta s kontaminiranom morskom vodom, ali nisu opažene neke signifikantne razlike u vrijednostima distribucionih koeficijenata uravnoteženih i neuravnoteženih taloga (4).

Usporedbom sorpcije radionuklida iz filtrirane morske vode s povišenim koncentracijama vodikovih iona (pH 7·0, 6·0 i 5·0) nisu također opažene neke znatnije razlike u distribucionim koeficijentima (4).

## Zaključak

Sumiranjem rezultata istraživanja sorpcije radionuklida na morskom sedimentu može se dobiti izvjestan poredak nivoa sorpcione sposobnosti istraživanih radionuklida kako slijedi:

$$Sr^{85} < Sb^{125} \ll Mn^{54} < Co^{58} < Ru^{106} < Cs^{137} < Zn^{65} < Ce^{144}$$

Sorpciona sposobnost raste od $Sr^{85}$ prema $Ce^{144}$ i to u diskontinuiranom nizu s tačkom diskontinuiteta u sorpcionoj sposobnosti $Sb^{125}$. Iz prikazanog reda sorpcione sposobnosti izlazi da će $Ce^{144}$ biti veoma efikasno sorbiran na morskom sedimentu a time će se smanjiti i mogućnost njegovog ulaska u morsku biotu. Slično to, ali postepeno u sve manjoj mjeri, vrijedi za $Zn^{65}$, $Cs^{137}$ itd. Izrazito slaba sorpciona sposobnost $Sr^{85}$ dakle i vrlo radiotoksičnog $Sr^{90}$, iz aspekta radiološke zaštite veoma je važna i ukazuje na to, da je odbacivanje $Sr^{90}$ u more veoma velik problem i da se to odbacivanje mora izbjeći ili u svakom slučaju mora ga se ograničiti na najmanji nivo.

## Summary

The following phenomenona related to the process of radionuclide sorption by the solid phase of sea water have been studied:

1. The kinetics of sorption of $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$ and $Mn^{54}$ by the sea sediment and by some constituents of the sea sediment, and

2. The counterbalance sorption characteristics of $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$, $Mn^{54}$, $Cs^{137}$, $Sr^{85}$ and $Sb^{125}$ under different experimental conditions and in various physico-chemical states of the examined liquid and solid phases.

From the results obtained the following order of sorption levels has been established:

$$Sr^{85} < Sb^{125} \ll Mn^{54} < Co^{58} < Ru^{106} < Cs^{137} < Zn^{65} < Ce^{144}$$

## Literatura


1. HAMAGUCHI H., Study of Radionuclides Sorbed on Marine Sediments, IAEA, IAEA -R-88F (1966)
2. CHESTER R., Nature, 206, 884 (1965)
3. HWA SHENG CHENG and HAMAGUCHI H., Health Physics, 14, 353, (1968)
4. PICER M., Interakcija radionuklida s morskim dnom, Disertacija, Sveučilište Zagreb, 1968.

# DESORPCIJA NEKIH FISIONIH I AKTIVACIONIH RADIONUKLIDA S MORSKOG SEDIMENTA

PICER M. i STROHAL P.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb
Farmaceutsko-biokemijski fakultet, Zagreb

Iz aspekta problema odbacivanja radioaktivnih otpadaka u vodenu sredinu, poznavanje procesa desorpcije radionuklida sa suspendiranih čestica i sedimenata od velikog je značaja.

U radu je proučavana desorpcija $Ru^{106}$, $Ce^{144}$, $Cs^{137}$, $Co^{58}$, $Mn^{54}$ i $Zn^{65}$ s umjetno kontaminiranog vapnenca, dolomita, kvarca i morskog sedimenta tretiranjem krute faze sintetskom, prirodnom i ultrafiltriranom morskom vodom. Prilikom tih tretmana upotrebljene su tekuće faze prirodnih i povišenih koncentracija vodikovih iona. Na temelju ovih istraživanja dobio se izvjestan poredak sposobnosti desorpcije radionuklida s morskog sedimenta a koji se može prikazati na slijedeći način:

$$Zn^{65} \approx Ru^{106} \approx Ce^{144} < Cs^{137} < Co^{58} \ll Mn^{54}$$

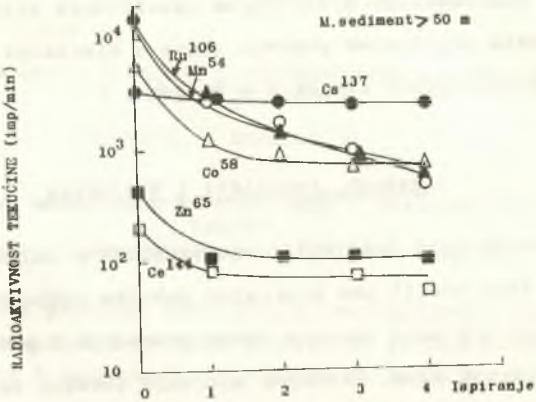
## Uvod

Mnogi autori preporučuju more kao najpogodniji medij za tzv. beskonačno razređenje radioaktivnih otpadnih materijala. Međutim, tradicionalna koncepcija o gotovo beskonačnoj veličini mora i oceana promijenila se baš u vezi odbacivanja radioaktivnih materijala. Naime, ulaskom radionuklida u morsku sredinu zbiva se njegova djelomična adsorpcija na planktonu ili na nekoj drugoj čestici, te tako adsorbiran radionuklid uđe u veće morske organizme ili se taloži na morsko dno. Međutim, mnogi morski organizmi prilikom uzimanja hrane apsorbiraju i čestice morskog dna. Na taj način,već

istaloženi radionuklidi djelovanjem specifičnih uvjeta u probavnom traktu morskih organizama ponovno ulaze u biociklus morske biote a time je moguć njihov ulazak i u čovjeka.

## Metoda, rezultati i diskusija

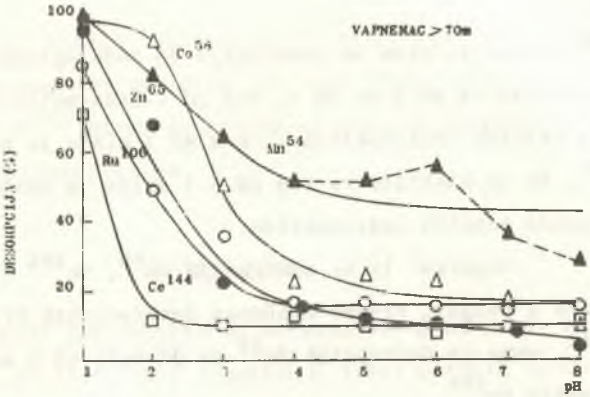
Proučavanje desorpcije radionuklida s umjetno kontaminirane krute faze radili smo mjerenjem gubitka radioaktivnosti krute faze nakon tretmana tekućom fazom prirodnih i povišenih koncentracija vodikovih iona. Postupak mjerenja izvodio se na slijedeći način: Izvjesna količina krute faze kontaminira se miješanjem morskom vodom kontaminiranom proučavanim radionuklidom. Tako kontaminirani talog pere se četiri puta određenom količinom morske vode pH 8'0 radi odstranjenja nesorbiranih radionuklida iz taloga. Mjerena je radioaktivnost dobivenih ispirnih tekućina. Na slici 1 prikazana je aktivnost morske vode nakon sorpcije radionuklida na morskom sedimentu i ispirnih tekućina nakon prvog, drugog, trećeg i četvrtog ispiranja. Prilikom ispiranja $Ce^{144}$, $Zn^{65}$ i $Co^{58}$ prilično se slično vladaju, osim što je ispiranje $Co^{58}$ znatnije. Krivulje ispiranja $Mn^{54}$ i $Ru^{106}$ također su međusobno slične i vidimo da se ispiranje ne uravnotežuje i nakon četvrtog ispiranja. Ispiranje $Cs^{137}$ je gotovo konstantno i znatno se razlikuje od ispiranja ostalih radionuklida.

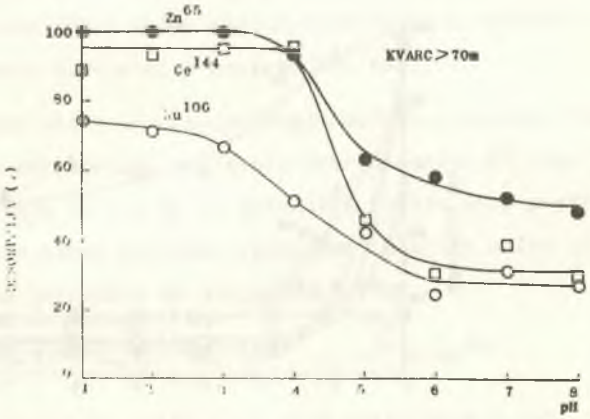



Sl.1 Aktivnost supernatanta nakon sorpcije radionuklida na morskom sedimentu i ispirne F.M.V. pH 8'0 nakon prvog, drugog, trećeg i četvrtog standardnog ispiranja.

Podjednake količine na prije opisani način kontaminirane i isprane krute faze stavi se u plastične kivete i broji njihova radioaktivnost zajedno s kivetom u scintilacionom brojaču s rupom. Nakon brojenja u svaku kivetu se stavi po 10 ml morske vode određene koncentracije $H^+$ iona. U našim istraživanjima proučavali smo desorpciju radionuklida u području od pH 1 do pH 8. Kivete s talogom i morskom vodom začepe se gumenim čepovima i sadržaj se mućka na električnoj mućkalici oko 24 sata. Nakon mućkanja sadržaj se centrifugira, supernatant odbaci a talog se ponovno broji zajedno s kivetom na scintilacionom brojaču. Postotak desorpcije radionuklida dobije se iz slijedeće relacije:

$$\% \text{ des.} = \frac{\text{akt.tal.prije des.} - \text{akt.tal.poslije des.}}{\text{akt. taloga prije desorpcije}} \times 100$$



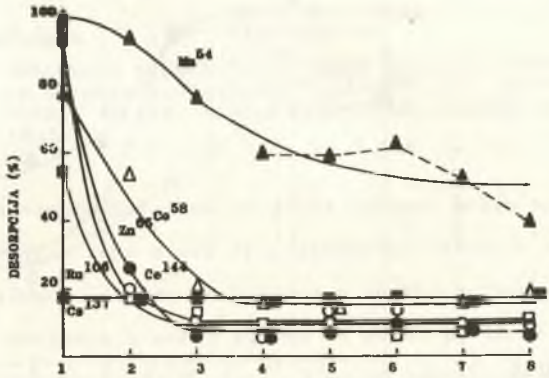




Sl.2

Na slikama 2 i 3 prikazani su postoci desorpcije istraživanih radionuklida s umjetno kontaminiranih krutih faza - vapnenca, kvarca i morskog sedimenta (Sjeverni Jadran) ovisno o pH morske vode. Kod desorpcije s vapnenca vidimo da je desorpcija $Ce^{144}$ konstantna već od pH 2 i znatno je niža od ostalih radionuklida u području od pH 1 do pH 3. Krivulje desorpcije $Ru^{106}$ i $Zn^{65}$ prilično su slične u području od pH 1 do pH 4. Desorpcija

$Co^{58}$ znatno je viša od desorpcije do sada opisanih radionuklida u području od pH 2 do pH 4. Kod pH 1 desorpcija $Mn^{54}$ podjednaka je s ostalim radionuklidima, kod pH 2 nešto je niža od desorpcije $Co^{58}$, te se stabilizira kod pH 5 i dalje je znatno viša od desorpcije ostalih radionuklida.

Usporedi li se desorpcija $Zn^{65}$, $Ce^{144}$ i $Ru^{106}$ s kvarca (slika 2 dolje), vidimo sličnost desorpcionih krivulja $Zn^{65}$ i $Ce^{144}$, samo je desorpcija $Zn^{65}$ za pH veći od 5 znatno viša od desorpcije $Ce^{144}$.




Sl.3 Usporedba desorpcije radionuklida s morskog sedimenta kod povišene koncentracije $H^+$ iona u F.M.V.

Na slici 3 uspoređene su krivulje desorpcije istraživanih radionuklida s morskog sedimenta. Odmah je veoma uočljiva znatno viša desorpcija $Mn^{54}$ u usporedbi s ostalim radionuklidima. Krivulje desorpcije prikazanih radionuklida u biti su veoma slične krivuljama desorpcije radionuklida s vapnenca. Neovisnost desorpcije $Cs^{137}$ s morskog sedimenta o pH morske vode veoma je in-

teresantna i nije opažen takav oblik krivulje niti kod jednog drugog istraživanog radionuklida. Iz toga očito izlazi da je proces desorpcije $Cs^{137}$ bitno drugačiji od procesa desorpcije ostalih proučavanih radionuklida.

## Zaključak

Sorbirani radionuklid na morskom sedimentu može se desorbirati ulaskom krute čestice u probavni trakt morskih organizama fizikalno-kemijskim djelovanjem digestivnih sokova. Međutim, desorpcija radionuklida u nešto manjem obimu može se zbivati i fizikalno-kemijskim djelovanjem same morske vode.

Poredak nivoa desorpcije radionuklida s morskog sedimenta djelovanjem morske vode povišenih koncentracija $H^+$ iona (u stvari morske vode pH 3 a to su približni uvjeti koji postoje u probavnom traktu nekih morskih organizama) dobiven našim istraživanjima može se prikazati na slijedeći način:

$$Zn^{65} \approx Ru^{106} \approx Ce^{144} < Cs^{137} < Co^{58} \ll Mn^{54}$$

Radi praktične evaluacije ovih prikazanih u biti veoma simplificiranih istraživanja, mislimo da bi bilo veoma korisno istražiti fenomene desorpcije radionuklida s krute faze u sistemu morska voda - morski sediment uključivanjem djelovanja bioloških faktora a što će biti i predmet naših kasnijih istraživanja.

## Summary

With regard to the problem of radioactive waste disposal into the water medium, the knowledge of the process of radionuclide desorption from suspended particles and sediments is very important. Desorption of $Ru^{106}$, $Ce^{144}$, $Cs^{137}$, $Zn^{65}$, $Co^{58}$ and $Mn^{54}$ from artificialy contaminated limestone, dolomite, quartz and sea sediment samples has been studied by treating the solid phase with synthetic, natural or ultrafiltered sea water. During the treatments liquid phases with natural and higher concentrations of hydrogen ions were used.

As a result of these studies a certain order of desorption levels of radionuclides has been obtained, which can be represented in the following way:

$$Zn^{65} \approx Ru^{106} \approx Ce^{144} < Cs^{137} < Co^{58} \ll Mn^{54}$$

# INTERAKCIJA $Mn^{54}$ S NEKIM ANORGANSKIM ČESTICAMA U MEDIJU MORSKE VODE

PICER M. i ŠILIPETAR-PICER N.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Radi boljeg poznavanja interakcije $Mn^{54}$ s morskim sedimentom istraženi su slijedeći fenomeni vezani uz procese sorpcije i desorpcije $Mn^{54}$ s krute faze:

1. Istražen je utjecaj vrste i načina kontaminacije morske vode kao i njezin pH na veličinu sorpcije $Mn^{54}$ na raznim krutim fazama.

2. Prikazane su izoterme sorpcije $Mn^{54}$ iz sintetske i ultrafiltrirane morske vode na morskom sedimentu, vapnencu i kvarcu.

3. Proučena je desorpcija $Mn^{54}$ s morskog sedimenta, vapnenca i kvarca prilikom tretmana umjetno kontaminirane krute faze s morskom vodom prirodne i povišene koncentracije vodikovih iona.

## Uvod

Među mnogim radionuklidima u radioaktivnim otpacima veoma značajno mjesto zauzima i $Mn^{54}$. S obzirom na relativno dugo vrijeme poluraspada i ulogu neaktivnog mangana u biološkim procesima, prilično su značajna i njegova radiotoksična svojstva. Radi relativno male mogućnosti izotopnog razređivanja $Mn^{54}$ u morskoj vodi vrlo je vjerojatna i njegova potencijalna opasnost u kontaminaciji morskih organizama a time i čovjeka.

## Metoda, rezultati i diskusija

Sorpciju $Mn^{54}$ proučavali smo mjerenjem distribucionih koeficijenata i općenito distribucije radionuklida između tekuće i krute faze na isti način kao što je već opisano i u prethodnom radu (1). Desorpciju radionuklida proučavali smo također na isti način kao što je već prije opisano (2).

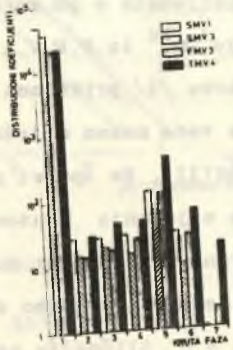
Za kontaminaciju tekuće faze upotrebljavali smo dva oblika radioaktivnog mangana. Prvi oblik je tzv. definirani kationski mangan ($^{54}Mn^{++}$) dobiven višestrukom obradom komercijalnog $Mn^{54}$ solnom kiselinom, dok je drugi komercijalni $Mn^{54}$ (Amersham) a nalazi se u 0'1 N HCl. Za kontaminaciju tekuće faze koristili smo dva postupka. Jedan postupak sastojao se u direktnom dodavanju radioaktivnog mangana u tekuću fazu, dok se drugi odvija na slijedeći način: uzme se 50 ml tekuće faze koja se želi kontaminirati i doda potrebna količina $Mn^{54}$, dobro promiješa i upari do suha. Nakon uparavanja doda se 50 ml deionizirane vode, promiješa se i prelije u plastičnu posudu s istovrsnom tekućom fazom i dobro promiješa. Na tablici 1 prikazani su oblici $Mn^{54}$ za kontami-

TAB. br. 1

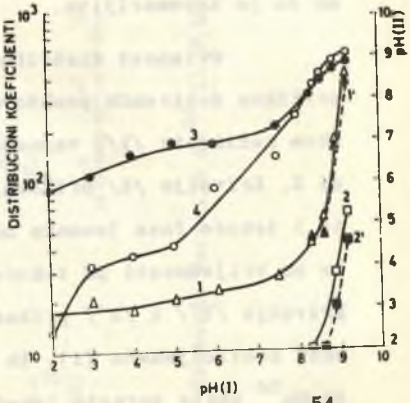
Pregled načina kontaminacije i oznake pri kontaminaciji filtrirane morske vode (F.M.V.)

| Oblik $Mn^{54}$ | Postupak kontaminacije | Oznaka |
|---|---|---|
| $Mn^{54}$ | direktno dodavanje | F.M.V.1 |
| $Mn^{54}$ | dodavanje i uparavanje | F.M.V.2 |
| $^{54}Mn$ | direktno dodavanje | F.M.V.3 |
| $^{54}Mn^{++}$ | dodavanje i uparavanje | F.M.V.4 |

naciju, postupak kontaminacije i oznake za sve načine kontaminacije ultrafiltrirane morske vode a na sličan način označene su i ostale tekuće faze.




Sl.1 Usporedba distribucionih koeficijenata sorpcije $Mn^{54}$ na raznim krutim fazama



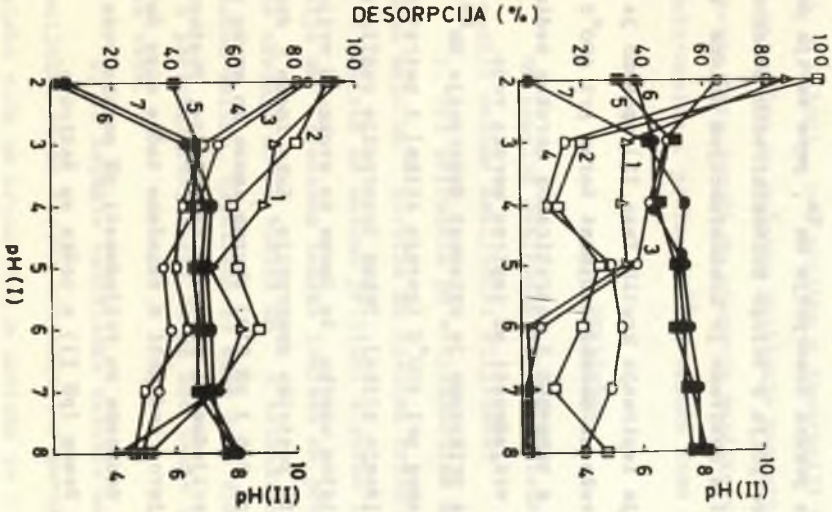

Sl.2 Ovisnost sorpcije $Mn^{54}$ o ph morske vode prije (pHI) i poslije miješanja (pHII)

Na slici 1 uspoređeni su distribucioni koeficijenti za razne taloge dobiveni proučavanjem sorpcije $Mn^{54}$ iz sintetske i ultrafiltrirane morske vode kontaminirane na dva načina. Najuspješnija je sorpcija $Mn^{54}$ na morskom sedimentu žarenom pri 400°C a podjednaka je za sve vrste kontaminiranih tekućih faza. Daleko je manja sorpcija $Mn^{54}$ na netretiranom morskom sedimentu. Dalje vidimo da obrada sedimenta vodikovim peroksidom i zasićenje $K^+$ ionima nema neku značajniju ulogu na sorpcionu sposobnost proučavanog morskog sedimenta. Ovi nam podaci ukazuju da najvjerojatnije organska tvar u sedimentu nema nekog osobitog utjecaja na procese sorpcije $Mn^{54}$ kao i to da je veoma mala vjerojatnost postojanja procesa ionske izmjene kao mogućeg fizikalno-kemijskog procesa sorpcije $Mn^{54}$ na morskom sedimentu. Sorpcija $Mn^{54}$ na vapnencu podjednaka je sorpciji na netretiranom morskom sedimentu,

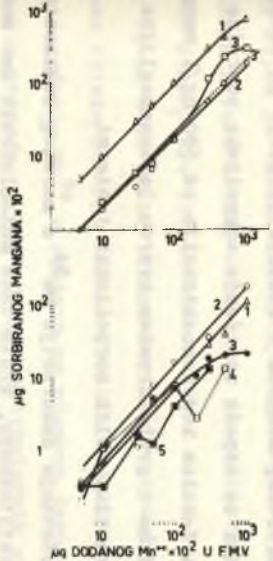
osim što su ovdje više izražene razlike u sorpciji među vrstama i načina kontaminacije morske vode. Sorpcija $Mn^{54}$ na kvarcu vidimo da je zanemarljiva.

Ovisnost distribucionih koeficijenata o pH morske vode prilikom dobivenih proučavanja sorpcije $Mn^{54}$ iz F.M.V.1 na morskom sedimentu /1/, vapnencu /2/ i kvarcu /3/ prikazana je na slici 2. Krivulja /4/ prikazuje pH morske vode nakon miješanja krute i tekuće faze (oznake na ordinati pH(II). Na Apcisi pH(I) date su vrijednosti pH tekuće faze prije miješanja krutom fazom. Krivulje /I'/ i /2'/ prikazuju korigirane vrijednosti distribucionih koeficijenata (1). Iz prikazanih rezultata vidimo da sorpcija $Mn^{54}$ naglo poraste izmedu pH 8'4 do 8'6. Slično je opaženo proučavanjem ovisnosti sorpcije $Mn^{54}$ o pH S M.V.1, S.M.V.3 i F M.V.3 (3).

U svrhu boljeg poznavanja mehanizma sorpcije $Mn^{54}$ na krutoj fazi morske vode istraživali smo oblike sorpcijskih izotermi dobivenih proučavanjem sorpcije $Mn^{54}$ iz raznih vrsta morskih voda na krutim fazama raznih po sastavu kao i veličini čestica. Na slici 3 prikazane su izoterme sorpcije $Mn^{54}$ iz F.M.V.3 čiji je pH 8'6 (gornja slika) i pH 8'0 (donja slika). Proučavane su krute faze - morski sediment (1) žaren na 400°C, netretiran morski sediment /2/ i vapnenac /3/ - to je prikazano na gornjoj slici. Na donjoj slici prikazane su izoterme sorpcije dobivene sorpcijom $Mn^{54}$ na morskom sedimentu /1/, vapnencu većih i manjih čestica /2, 3/ i kvarcu - većih i manjih čestica /4, 5/.




Sl.4 Desorpcija $Mn^{54}$ s morskog sedimenta




Sl.3 Izoterme sorpcije $Mn^{54}$ iz F.M.V.3

Prikazane sorpcijske izoterme linearne su do koncentracija 1000 µg/l neaktivnog mangana u slučaju sorpcije na talozima sitnijih čestica dok se zapaža zasićenje sorpcijske površine na talozima krupnijih čestica kod koncentracija od 500 µg/l mangana. Sorpcija $Mn^{54}$ na fino i grubo zrnatom kvarcu je zanemarljiva na što ukazuje i nepravilni oblik sorpcijskih izotermi.

Radi proučavanja desorpcije $Mn^{54}$ s morskog sedimenta i nekih njegovih konstituenada, krute faze kontaminirali smo morskom vodom podešenih pH vrijednosti pH 8·5 i pH 9·0. Na taj način imali smo dvije serije pokusa desorpcije $Mn^{54}$, prva serija dobivena je proučavanjem desorpcije s taloga kontaminiranih morskom vodom pH 8·5 a druga serija dobivena je kontaminacijom taloga morskom vodom pH 9·0.

Iz krivulja ispiranja krutih faza (3) opaženo je da se $Mn^{54}$ veoma čvrsto veže uz morski sediment žaren pri 400°C dok su krivulje ispiranja s vapnenca i netretiranog morskog sedimenta veoma bliske za obje vrijednosti pH ispirne morske vode.

Na slici 4 prikazana je ovisnost desorpcije $Mn^{54}$ s morskog sedimenta žarenog pri 400°C (gornja slika) i netretiranog morskog sedimenta (donja slika). Pokus desorpcije radili smo dva puta uzastopce na istom uzorku te imamo za svaku pH vrijednost po dvije vrijednosti postotka desorpcije. Kako imamo i dva postupka kontaminacije (pH 8·5 i pH 9·0) ukupno imamo za svaku pH vrijednost po četiri vrijednosti postotka desorpcije. Postoci desorpcije dati su na lijevoj ordinati a označene tačke nisu šatirane. Na desnoj ordinati nanesene su vrijednosti pH morske vode nakon miješanja s krutom fazom (pH II) a tačke su šatirane.

Iz krivulja desorpcije i odnosa pH vrijednosti morske vode kojom je vršena desorpcija radionuklida prije i poslije miješanja krutom fazom, zanimljiva je relativno velika razlika u nivou desorpcije izvedenom s morskom vodom početnih pH vrijednosti od pH 5 do pH 8. Vidimo da iako su konačne pH vrijednosti veoma bliske, postoje znatne razlike u postocima desorpcije. Ovakvo ponašanje $Mn^{54}$ s obzirom na njegovu desorpciju s morskog sedimenta ukazuje na postojanje partikularnih specija mangana sorbiranih na krutoj fazi a koje se najvjerojatnije nalaze u obliku $Mn(OH)_3$ i $Mn(OH)_4$. Ove razlike u desorpciji mogle bi se objasniti na taj način da početno povišenje koncentracije $H^+$ iona u okolini krute faze dovodi do otapanja partikularnih specija manganova hidroksida i prelaz $Mn^{54}$ u tekuću fazu morske vode.

## Zaključak

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja iznesenih u ovoj radnji možemo zaključiti slijedeće:

1. Pri prirodnim pH vrijednostima morske vode relativno se veoma malo $Mn^{54}$ sorbira na njezinu krutu fazu ili morski sediment. S obzirom da možemo prilično sigurno isključiti mogućnost sorpcije $Mn^{54}$ procesom ionske izmjene na proučavanim krutim fazama, to ukazuje da se većina $Mn^{54}$ u istraživanim uvjetima nalazi u ionskom obliku. Relativno se samo mali dio $Mn^{54}$ nalazi u morskoj vodi u partikularnoj formi te se kao takav i veže uz krutu fazu morske vode.

2. Iz aspekta radiološke zaštite može se reći da je $Mn^{54}$ potencijalno veoma opasan kontaminator morske sredine, jer se veoma slabo veže uz krutu fazu a ukoliko se i veže, pri malo povi-

šenim koncentracijama vodikovih iona lako se desorbira.


## Summary

To get more information about the interaction of $Mn^{54}$ with the sea sediment, the following phenomena related to the process of $Mn^{54}$ sorption and desorption from the solid phase have been studied:

1. The effect of the type and way of contamination of sea water and its pH on $Mn^{54}$ sorption by various solid phases,

2. Isotherms of the sorption of $Mn^{54}$ by the sea sediment, limestone and quartz in synthetic and ultrafiltered sea water,

3. $Mn^{54}$ desorption from the sea sediment, limestone and quartz during the mixing of artificially contaminated solid phase with sea water containing natural and higher concentrations of hydrogen ions.


## Literatura


1. PICER M. i STROHAL P., Sorpcija nekih fisionih i aktivacionih radionuklida na morskom sedimentu, IV simpozijum JDRZ, Baško Polje 28-30.maja 1969.
2. PICER M. i STROHAL P., Desorpcija nekih fisionih i aktivacionih radionuklida s morskog sedimenta, isti simpozijum.
3. ŠILIPETAR-PICER N., Interakcija $Mn^{54}$ s nekim anorganskim česticama u mediju morske vode, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1968.

# ODREĐIVANJE $Sr^{90}$ U NEKIM UZORCIMA BIOSFERE EKSTRAKCIONOM METODOM

PICER M.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Prikazana je vrlo jednostavna i relativno kratka metoda određivanja $Sr^{90}$ u kišnici, pšenici, mlijeku i životinjskim kostima metodom ekstrakcije $Y^{90}$ tributilfosfatom iz slabo dušično kisele otopine spaljenog ili uparenog uzorka. Prikazani su efekti zajedničke ekstrakcije i sutaloženja kalcija i željeza na talogu itrijeva hidroksida. Proučen je utjecaj koncentracije fosfata na distribucioni koeficijent itrija prilikom ekstrakcije tributilfosfatom. Prikazani su dekontaminacioni faktori $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zr^{95}$, $Cs^{137}$, $Sr^{85}$ i moguće smetnje $Y^{91}$ i njegovog uklanjanja radi mjerenja radioaktivnosti ekstrahiranog $Y^{90}$.

## Uvod

Do sada je u literaturi objavljen već čitav niz metoda za određivanje $Sr^{90}$ u raznim materijalima biosfere. U relativno novije vrijeme objavljeno je i nekoliko ekstrakcionih metoda a koje se uglavnom osnivaju na direktnoj ekstrakciji uravnoteženog $Y^{90}$ tekućim ionskim izmjenjivačima (1, 2) ili tributilfosfatom (3, 4, 5). Zbog mnogih prednosti ekstrakcione metode pred klasičnom Bryantovom metodom željeli smo uvesti ovu metodu za određivanja $Sr^{90}$ u raznim uzorcima biosfere u rutinskim mjerenjima kontrole radioaktivne kontaminacije životne okoline.

## Materijali i metoda

Čišćenje tributilfosfata. Komercijalni TBF(BDH-Engleska) predestiliran je kod 186°C i 20 mm Hg te zatim opran dva puta jednakim volumenom 2%-tne vodene otopine $Na_2CO_3$. Zatim se TBF opere tri puta jednakim volumenom deionizirane vode zagrijane na 70°C.

Priprema uravnoteženog tributilfosfata. Očišćeni TBF mućka se jednakim volumenom 4N $HNO_3$ zasićene s $Ca(NO_3)_2$ u lijevku za odjeljivanje. Nakon prvog mućkanja i odvajanja faza, anorganska faza se odbaci, TBF se prebaci u bocu s ubrušenim čepom i doda se jednaki volumen zasićene otopine $Ca(NO_3)_2$ u 4N $HNO_3$ koji služi za povremeno uravnoteženje TBF neposredno prije ekstrakcije.

Regeneracija upotrebljenog tributilfosfata. Već upotrebljavan TBF stavi se u lijevak za odjeljivanje i dva puta opere s jednakim volumenom tople vode (oko 70°C) i zatim dva puta s 2%-tnom otopinom $Na_2CO_3$. Nakon toga ponovno se pere deioniziranom vodom dok voda nije potpuno bistra.

Simulator pepela biološkog materijala priređen je od smjese $Ca(NO_3)_2$ (75%) + $KNO_3$ (25%).

Ostale kemikalije, otopine i radionuklidi nabavljeni su i priređeni na uobičajeni način.

Postupak ekstrakcije $Y^{90}$ iz uzorka. Postupak ekstrakcije uravnoteženog $Y^{90}$ iz uzorka prikazan je shematski:

filtrat uzorka

1/ doda se Y nosač
2/ doda se CaO gotovo do zasićenja
3/ ekstrakcija s TBF dva puta

↓

TBF faza

pranje sa zasićenom otopinom $NH_4NO_3$ u konc. $HNO_3$

↓

TBF faza

Reekstrakcija $Y^{90}$ $H_2O$ ugrijanom na 70-80°C

↓

vodena faza → taloženje i brojenje $Y^{90}$

Itrij se taloži na uobičajeni način prvo u obliku hidroksida a zatim oksalata.

## Rezultati i diskusija

Distribucioni koeficijent podjele $Y^{90}$ između vodene i tributilfosfat faze izračuna se na slijedeći način:

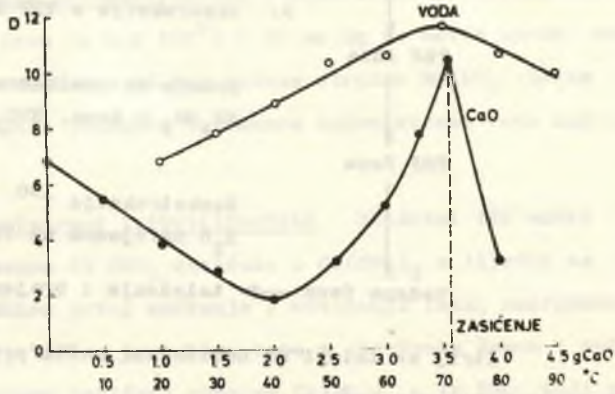
$$D = \frac{\text{aktivnost } Y^{90} \text{ u TBF}}{\text{aktivnost } Y^{90} \text{ u vodi}}$$

volumeni vodene i TBF faze su jednaki.

Kod ispitivanja efekta koncentracije $Ca^{++}$ iona i koncentracije $HNO_3$ na distribuciju itrija između organske i anorganske faze nisu upotrebljeni prirodni uzorci već simulator biološkog materijala već prije opisanog sastava. Ovisnost distribucionog koeficijenta o dodatoj količini CaO u dušično kiselu otopinu simulatora biološkog materijala prikazana je na slici 1.
Do pada ekstrakcije dolazi pri 5·9 do 6·1 N koncentracije $Ca^{++}$ iona ali je opažen porast ekstrakcije u gotovo zasićenoj otopini

CaO ($10^{-3}$ N $Ca^{++}$). Radi opaženog maksimuma ekstrakcije kod gotovo zasićene otopine CaO daljnji pokusi rađeni su pri takvim uvjetima.

Sl.1




Na slici 1 ujedno je prikazana i ovisnost reekstrakcije itrija o temperaturi vode za reekstrakciju.

Ispitan je utjecaj koncentracije fosfata na ekstrakciju itrija iz raznih količina pepela mlijeka otopljenog u raznim volumenima dušične kiseline. U tim ispitivanjima ujedno se odmah željelo pronaći i najpogodniji uvjet ekstrakcije $Y^{90}$ iz što manjeg volumena otopine uzorka. Naime, smanjenjem volumena vodene faze smanjuje se potreba i za tributilfosfatom, time se smanji potreba i za ostalim kemikalijama a i metoda dobije na brzini rada što u rutinskim analizama je od osobitog značenja. Neki karakteristični rezultati ovih pokusa prikazani su na tablici 1.

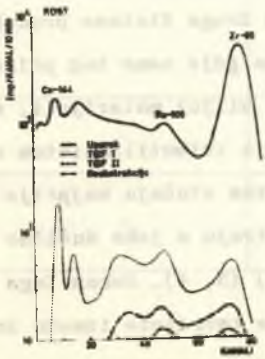
TAB. br. 1

Utjecaj koncentracije pepela na distribucioni koeficijent itrija

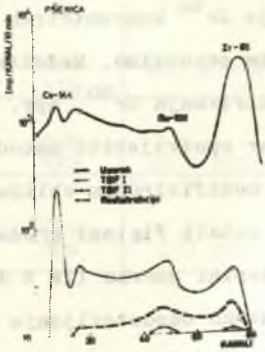
| Priprema uzorka | ml uzorka | D |
|---|---|---|
| 2 g pepela + 10 ml konc.$HNO_3$ + 1 ml $Y^{90}$ + 1 ml Y nosača + 2'3 g CaO | 12 ml | 4'2 |
| 2 g pepela + 10 ml konc.$HNO_3$ + 1 ml $Y^{90}$ + 1 ml nosača - upareno na 5 ml + 1'0 g CaO | 5 ml | 2'9 |
| 4 g pepela + 10 ml konc.$HNO_3$ + 1 ml $Y^{90}$ + 1 ml Y nosača + 1'2 g CaO | 12 ml | 3'2 |

Iz prikazanih vrijednosti distribucionog koeficijenta vidimo da povećanjem koneentracije fosfata smanjuje se ekstrakcija itrija ali je ona ipak dovoljna za ovakve separacije gdje upotrebljavamo nosač itrija i gdje se može izračunati iskorištenje separacije.

Ispitani su dekontaminacioni faktori $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zr^{95}$, $La^{140}$, $Cs^{137}$ i $Sr^{85}$ prema itriju dodavanjem spomenutih radionuklida u razne uzorke biosfere te je praćeno njihovo čišćenje snimanjem gama spektara pojedinih faza separacije.



Sl.2 Eliminacija fisionih produkata tokom ekstrakcije $Y^{90}$ iz pepela kosti



Sl.3 Eliminacija fisionih produkata tokom ekstrakcije $Y^{90}$ iz pepela pšenice

Na slikama 2 i 3 prikazani su gama spektri uzoraka pšenice i kosti u koje su dodani naznačeni radionuklidi i zatim je izvršena ekstrakcija itrija tributilfosfatom, čišćenje TBF i reekstrakcija itrija s vrućom vodom. TBF 1 je gama spektar dobiven brojenjem tributilfosfata nakon ekstrakcije itrija iz uzorka, a spektar TBF 2 dobiven je brojenjem toga istog tributilfosfata nakon njegovog čišćenja sa zasićenom otopinom $NH_4NO_3$ u konc. $HNO_3$. Četvrta krivulja je snimljeni gama spektar vodene faze u koju je reekstrahiran itrij.

Dekontaminacioni faktor je definiran odnosom aktivnosti radionuklida u uzorku prema onoj u talogu itrijeva oksalata(izvršene su prethodno sve korekcije za geometriju brojenja). Kod praćenja čišćenja pepela mlijeka za $Zr^{95}$, $Ce^{144}$ i $Ru^{106}$ dekontaminacioni faktori su oko 100, $La^{140}$ $-10^3$ a za $Cs^{137}$ i $Sr^{85}$ preko $10^4$.

Prema ovim vrijednostima dekontaminacionih faktora može se zaključiti da spomenuti fisioni produkti ne smetaju pri određivanju $Sr^{90}$ u mlijeku i kostima tj. u onim uzorcima biosfere gdje je $Sr^{90}$ koncentriran u odnosu na druge fisione produkte biološkim procesima. Međutim, u uzorcima gdje nema tog prirodnog koncentriranja $Sr^{90}$, npr. kišnica ili biljni materijali, može se također upotrijebiti metoda ekstrakcije tributilfosfatom samo u nešto modificiranom obliku. Naime, u tom slučaju najprije se $Y^{90}$, $Y^{91}$ i ostali fisioni produkti ekstrahiraju u jako dušično kiseloj otopini uzorka (14 N do 16 N $HNO_3$) (3, 4). Nakon toga pričeka se ponovno uspostavljanje radioaktivne ravnoteže između $Sr^{90}$ i $Y^{90}$ te se dalje postupa kao što je prije opisano.

Na tablici 2 prikazani su rezultati analize $Sr^{90}$ uzoraka

biosfere prirodno kontaminiranih putem radioaktivnih padavina (prirodni uzorci) i kontaminirani dodavanjem izvjesne količine $Sr^{90}$. Uz rezultat analize $Sr^{90}$ dobivenih tributilfosfat metodom dati su podaci i postotka iskorištenja nosača itrija. $Sr^{90}$ u prirodno kontaminiranim uzorcima određivao se i Brayntovom metodom te su radi usporedbe dati i ti rezultati analize.

TAB. br. 2

Analiza $Sr^{90}$ prirodno i umjetno kontaminiranih uzoraka biosfere

| Uzorak | dodano $Sr^{90}$ | Nađeno $Sr^{90}$ TBF metoda $Sr^{90}$ | iskorištenje | Brayntova metoda |
|---|---|---|---|---|
| Pepeo mlijeka | | | | |
| 2 g | 1020 pCi/gCa | 995 pCi/gCa | 81% | - |
| 2 g | 1020 " | 1057 " | 79% | - |
| 2 g | 535 " | 540 " | 80% | - |
| 2 g | 535 " | 551 " | 79% | - |
| 10 g | prirodni uzorci rađeni 2 paral. | 11·2 " | 82% | 10·8 pCi/gCa |
| | | 11·8 " | 84% | |
| 10 g | " | 18·3 " | 83% | |
| | | 17·5 " | 85% | 17·6 pCi/gCa |
| Pepeo pšenice | | | | |
| 10 g | " | 265 " | 87% | 282 pCi/gCa |
| | | 248 " | 91% | |
| pepeo kosti | " | 12·8 " | 85% | |
| 10 g | | 13·9 " | 91% | 10·3 pCi/gCa |
| kišnica | | | | |
| 5 l | " | 2·0 " | 73% | |
| | | 1·8 " | 78% | 1·7 pCi/l |

## Zaključak

Prikazana metoda ekstrakcije $Y^{90}$ tributilfosfatom iz dušično kisele otopine pepela ili uparenog uzorka ima nesumnjivo veliku prednost prema već danas klasičnom Brayntovom metodom. Izbjegnut je upotpunosti rad dimećom dušičnom kiselinom a metoda je daleko kraća i jednostavnija. Loša strana metode je u izvjesnoj ograničenosti veličine uzorka za analizu. Tako pri povećanju uzorka pepela mlijeka na 20 g utrošak kemikalija i vrijeme analize znatno se povećaju.


## Summary

A simple and relativly quick method for the determination of strontium-90 in rain-water, wheat, milk and animal bones is described. The method is based on the preferential extraction of Yttrium-90 by tributylphosphate from a weak nitric acid solution of sample ash to which was added CaO. The effects of calcium,iron and phosphates on determination of yttrium carrier yield and on distribution coeffients of yttrium-90 are discussed.

The radioactive interferences of $Ce^{144}$, $Ru^{106}$, $Zr^{95}$,$Cs^{137}$ and $Sr^{85}$ in determination of $Y^{90}$ activity are dealt with.


## Literatura


1. BUTLER F.E., Anal. Chem., 35 (1963) 2069
2. JOHNSON W.C. Jr., Anal. Chem., 38 (1966) 954
3. VELTEN R.J. and GOLDIN A.S., Anal. Chem,, 33 (1961) 128
4. GOLUTVINA M.M., KAZAKOVA T.A. i NIKOLAEV Ju.M., Voprosy pitanyja, 22 (1963) 66
5. MERCER E.R., BURTON J.D., GUNN K.B. and BLACK A., Health Physics, 10 (1965) 37.

# SORPCIJA RADIONUKLIDA IZ RASTVORA SOLI NA SINTETIČKOM ZEOLITU LINDE 4A

Janković O.,Radovanov P.,Gal I. i Vuković Ž.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Rezime

Ispitana je sorpcija Cs-137, Sr-89, Ru-106 i Co-60 iz rastvora NaCl na sprašenom zeolitu Linde 4A. Sorpcija Cs-137, Sr-89 i Co-60 iz rastvora NaCl koncentracije $4x10^{-3}$ - 0,5 M sledi zakon o dejstvu masa. Na osnovu molalnih koeficijenata raspodele definisanih kao:

$$D = \frac{I_o - I_r}{I_r} \quad \frac{n}{m}$$

dobijen je sledeći redosled afiniteta katjona prema zeolitu 4A:

$$Sr^{++} > Co^{++} > Cs^{+} > Ru^{3+}$$

Zeoliti predstavljaju veoma pogodne materijale za prečišćavanje i selektivno uklanjanje primesa[1] uključujući i radionuklide iz rastvora[2]. Prema podacima iz literature neki prirodni i sintetski zeoliti pokazali su se veoma efikasnim sorbentima - jonoizmenjivačima za uklanjanje radioaktivnog cezijuma i stroncijuma[3-8] i kao veoma pogodan materijal za "pakovanje" i trajno skladištenje radionuklida[9-12].

Medjutim, i pored znatnog interesa da se zeoliti koriste u tehnologiji obrade radioaktivnih tečnih odpadaka u literaturi se nalazi samo mali broj radova koji na sintetskim zeolitima tipa A kvantitativno tretiraju zakonitosti sorpcije jona u mikrokoncentracijama pored konkurentnih jona u makrokoncentracijama.

Jonska izmena radionuklida iz razblaženih rastvora na sintetskim zeolitima može da se komplikuje zbog dekatjoniranja, tj. pojave da zeoliti u razblaženim rastvorima prelaze iz metalne u vodonik-metalnu formu[13,14]. Nastale promene u takvom sistemu zeolit-rastvor mogu da se odraze na zakonitosti izmene katjona

makro-i mikrokomponente, a isto tako i na stanje radioaktivnog elementa u rastvoru usled povećanja pH rastvora.

Uzimajući u obzir sorpcione osobine zeolita, smatralismo da bi bilo od interesa ispitati na zeolitu Linde 4A sorpciju nekih radionuklida koji se razlikuju hemijskim ponašanjem, stanjem u rastvoru i sposobnošću da se adsorbuju na različitim sorbentima.

U ovom radu ispitana je zakonitost sorpcije $^{137}Cs$, $^{89}Sr$, $^{106}Ru$ i $^{60}Co$ iz rastvora NaCl različitih koncentracija

## Eksperimentalni deo

U radu je korišćen sprašeni zeolit Linde 4A proizvodnje BDH. Za eksperimente zeolit je pripreman po uobičajenom postupku[15] Sva ispitivanja izvedena su sa radionuklidima $^{137}Cs$, $^{89}Sr$, $^{60}Co$ i $^{106}Ru$ bez nosača, proizvodnje Amersham, Engleska, i $^{22}Na$ bez nosača "Rudjer Bošković" - Zagreb. Upotrebljene hemikalije bile su analitičkog stepena čistoće (Analar).

Svi eksperimenti izvedeni su u statičkim uslovima na sobnoj temperaturi /23 ± 3°C) uravnotežavanjem zeolita sa dvokomponentnim rastvorima koji su sadržali kao makrokomponentu NaCl, a kao mikrokomponentu radionuklide. Odnos faza tečno-čvrsto bio je uvek 100:1.

Zavisnost sorpcije radionuklida od ispitivanih parametara prikazana je molalnim koeficijentima raspodele, D,:

$$D = \frac{I_o - I_r}{I_r} \cdot \frac{n}{m}$$

gde je: $I_o$ - početna aktivnost, imp/min/gr rastvora

$I_r$ - ravnotežna aktivnost, imp/min/gr rastvora

m - težina rastvora, gr

n - težina sorbenta, gr

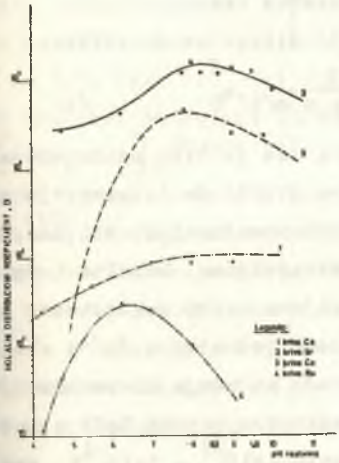
Molalni koeficijenti raspodele odredjeni su sa tačnošću 20 %.

## Rezultati i diskusija

Preliminarno je ispitana zavisnost kapaciteta zeolita u odnosu na natrijum i sorpcije radionuklida na zeolitu od pH rastvora

Kapacitet katjonske izmene zeolita Linde 4A odredjivan je metodom izotopske izmene sa $^{22}Na$. Kapacitet, Q mM/gr, zeolita u intervalu pH 6,5 - 9,2 menja se od 4,2 - 4,9 mM/gr.

Promena molalnih koeficijenata raspodele, D, od pH rastvora neznatna je za cezijum u intervalu $7 < pH < 10$, stroncijum $7,5 < pH < 8,5$ i kobalt $7 < pH < 8,5$ (sl.1.), pa su sva dalje ispitivanja sorpcije izvedena na optimalnim odgovarajućim pH. Sorpcija rutenijuma ispitivana je iz rastvora pH 4,5-5,5 smatrajući da se na pH 4,5 rutenijum nalazi u obliku $Ru^{3+}$. Medjutim, pri nižim koncentracijama NaCl i dužem vremenu kontakta rastvora i zeolita dolazilo je do porasta pH na 5,5.



Sl 1. Zavisnost molalnih koeficijenata raspodele od pH rastvora pri $10^{-2}$ m NaCl

Sorpcija jona u mikrokoncentracijama na jonoizmenjivačima treba da sledi zakonitosti koje važe za jonsku izmenu. Za slučaj da je jonoizmenjivač zasićen makrokomponentom i da se ne menja pH rastvora, reakcija izmene jona makro-i mikrokomponente može da se prikaže jednačinom zakona o dejstvu masa u njenom opštem obliku[16]:

$$K_{A^*B} = \frac{/q_{A^*}/^a /m_B/^b /f_{A^*}/^a /\gamma_B/^b}{/q_B/^b /m_{A^*}/^a /f_A/^b /\gamma_{A^*}/^a} \quad /1/$$

gde su: $m_{A^*}$ i $m_B$ - koncentracije mikro-i makrokomponente u rastvoru, molalne

$q_{A^*}$ i $q_B$ - koncentracije mikro-i makrokomponente u izmenjivaču, mM/gr

a i b - stehimetrijski broj molova $A^*$ i B, mirko-i makrokomponente koji učestvuje u reakciji izmene

$\gamma_{A^*}, \gamma_B$ - molalni koeficijenti aktivnosti mikro-i makrokomponente u rastvoru

$f_A^*$, $f_B$ - molalni koeficijenti aktivnosti mikro- i makrokomponente u izmenjivaču, čvrstoj fazi.

Po definiciji molalni distribucioni koeficijent je:

$$D = \frac{q_A^*}{m_A^*} \qquad /2/$$

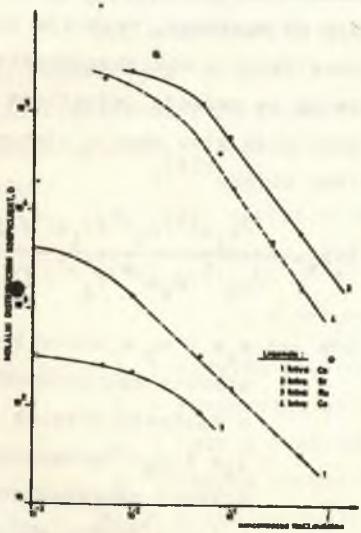
Supstitucijom jednakosti/2/ u jednačini /1/ dobija se:

$$K_{A^*B} = \frac{/m_B/^b/f_A^*/^a/\gamma_B/}{/q_B/^b/f_B/^b/\gamma_A^*/}/D/^a \qquad /3/$$

Odnos koeficijenata aktivnosti u čvrstoj fazi je konstantan, u tečnoj fazi je blizak jedinici za 1-1 valentnu izmenu, a približno konstantan za 1-2 valentnu izmenu.

Logaritmovanjem jednačine /3/ dolazi se do oblika:

$$\text{Log } D = \text{const.} - \frac{b}{a} \log \frac{\gamma_B}{/\gamma_A^*/^{a/b} \cdot m_B} \qquad /4/$$



Sl.2. Zavisnost koeficijenata raspodele/D/ od koncentracije NaCl

Za nas je bilo od interesa da se utvrdi da li sorpcija mikrokoncentracija cezijuma, stroncijuma, kobalta i rutenijuma sledi zakonitosti opisane jednačinom /4/ u slučaju kada se menja koncentracija makrokomponente NaCl u intervalu $1x10^{-3}$ - $5x10^{-1}$M, zeolit je zasićen natrijumom.

Sorpcija mikrokoncentracija radionuklida na zeolitu Linde 4A u zavisnosti od koncentracije NaCl prikazana je na sl.2. Iz sl.2. se vidi da sorpcija $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ u oblasti $5x10^{-2}$-$5x10^{-1}$M NaCl, a $^{137}Cs$ u oblasti $4x10^{-3}$ - $5x10^{-1}$M sledi

zakon o dejstvu masa opisan jednačinom /4/, što potvrdjuje tangens ugla prave 0,96 za cezijum[17], odnosno 1,5 za stroncijum i kobalt. Odstupanje eksperimentalno dobivenih krivih 2 i 4 na sl.2, od teorijskih sa nagibom tangens $\alpha = 2$ može biti da nastaje usled sorpcije smeše $Sr^{++}$ i $Sr/OH/^{+}$, odnosno $Co^{++}$ i $Co/OH/^{+}$.

Pri nižim koncentracijama NaCl za cezijum manje od $4x10^{-3}$ M a stroncijum i kobalt manje od $5x10^{-2}$ M NaCl dolazi do odstupanja od pravolinijske zavisnosti što ukazuje na verovatnu pojavu dekatjoniranja zeolita i učestvovanje $H^{+}$ kao treće komponente u sistemu što se jednačinom /4/ ne može opisati[18].

Zavisnost sorpcije mikrokoncentracija rutenijuma od koncentracija NaCl u rastvoru ima složeni karakter i ne može se prikazati jednačinom /4/. Najverovatnije objašnjenje leži u promeni stanja rutenijuma zbog promene pH u ravnotežnim rastvorima od 4,5 na 5,5. Kako $Ru^{3+}$ pri tim uslovima hidrolizuje nastaju različiti produkti hidrolize $Ru/OH/^{2+}$, $Ru/OH/_2^{4+}$ kao i kompleksi $Ru\left[(OH)_5\ Ru_2\right]_n^{/n+3/+}$ [19]. U opštem slučaju pojava hidrolize smanjuje jonsku izmenu i komplikuje karakter atsorpcionih izotermi[18]. S druge strane, kako su ispitivanja vršena na pH 4,5-5,5 gde zeolit menja svoja sorpciona svojstva usled dekatjoniranja, sorpcija rutenijuma nije mogla da se opiše jednačinom /4/.

Postavljanjem po veličini dobijenih vrednosti molalnih koeficijenata raspodele za radionuklide na zeolitu Linde 4A dobija se redosled:

$$D_{Sr} > D_{Co} > D_{Cs} > D_{Ru}$$


## Resume

SORPTION OF SOME RADIONUCLIDES FROM SALT SOLUTIONS ON SYNTHETIC ZEOLITE LINDE 4A

The sorpcion of $^{137}Cs$, $^{89}Sr$, $^{106}Ru$ i $^{60}Co$ from solution on powdered zeolite Linde 4A is investigated. The sorption of $^{137}Cs$ $^{89}Sr$ and $^{60}Co$ from NaCl solutions $4x10^{-3}$ - 0,5 M follows the mass-action low. On the basis of the molal distribution coefficients defined by:

$$D = \frac{I_o - I_r}{I_r} \cdot \frac{n}{m}$$

the following sequence of affinity toward the 4A zeolit was found:

$$Sr^{++} > Co^{++} > Cs^{+} > Ru^{3+}$$

## Bibliografija


1. Amphlett C.B.,Inorganic ion exchangers,Elsevier Pub.Comp., Amsterdam-London-New York.1964.
2. Barrer R.M. and Meier W.M.,Trans. Farad.Soc.,54,1074-85(1958)
3. Ames L.L., Am.Mineral. 48,868,(1963)
4. Ames L.L.,Am. Mineral 49,127,(1964)
5. Ames L.L., TID-7644,p 115,(1962)
6. Ames L.L.,Am. Mineral.,49, 1099, (1964)
7. Mercer B.W.,HW-66276
8. Nelson J.L.,TID-7644(1962)
9. Mathers W.G. and Watson,AECL 1521
10. Morgan J.M.,Janison D.K. et al.,TID-713, 310-388,(1964)
11. Nelson J.L. and Mercer B.W.,HW-66796(1960)
12. Tomlinson R.E.,HW-SA-2515 (1962)
13. Materova E.A.,Belinskaya F.A. et al., V.Sb.: Ionny obmen,Z. Izd.LGU ,1965
14. Belinskaya F.A. et al. , Ionny obmen i hromatografia,24 Izd. Voronezskogo Gos.Univ.,1965
15. Barrer R.M.,L.K.C.Rees et al.,Proc.Roy.Soc.(London),A 273, 180 (1963)
16. Nikolaev, V.M.,Bagreeov V.F.et al.,Radiohimya,V,32,(1963)
17. Mercer B.V.,BNWL-SA-1173 (1967)
18. Schebetovski V.M.,Radiohimiya, X, 151, (1968)
19. Zvyagincev O.E. et al., Himya rutenya, Izd."Nauka",Moskva, 1965.

# SORPCIJA RADIONUKLIDA $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ NA IZABRANIM UZORCIMA POVRŠINSKOG SLOJA ZEMLJE

Lj.Knežević i O.Janković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Rezime

Ispitana je sorpcija radionuklida $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ u statičkim uslovima, na uzorcima površinskog sloja zemlje u zavisnosti od pH rastvora, vremena kontakta i koncentracije $Ca^{++}$ kao makrokomponente. Odredjeni su kapaciteti sorpcije uzoraka zemlje u odnosu na jone $Na^{+}$ i $Ca^{++}$. Na osnovu koeficijenata raspodele definisanih kao:

$$K_d = \frac{I_o - I_r}{I_r} \times \frac{V}{m}$$

dobiven je sledeći redosled afiniteta katjona prema svim uzorcima zemlje:

$$Co^{++} > Cs^{+} > Sr^{++}$$

Sudbina radionuklida dospelih u tlo ili na tlo zavisi od brojnih faktora kao što su priroda zemlje-tla, njegove geologije, topologije, hidrogeologije, fizičko-hemijskog stanja radionuklida i dr. Sve ovo ukazuje na složenost procene sudbine radioaktivne kontaminacije zemlje-tla u odnosu na biotički ciklus koji obuhvata biljke, životinje i čoveka.

Prvu fazu u izučavanju sorpcije i migracije radionuklida u zemljištu-tlu predstavljaju laboratorijska ispitivanja.

U ovom radu ispitivana je sorpcija mikrokoncentracija $Cs^{+}$, $Sr^{++}$ i $Co^{++}$ iz rastvora $CaCl_2$, na površinskom sloju zemlje sa područja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

## Eksperimentalni deo

Zemlja na kojoj su vršena ispitivanja uzimana je sa dubine od 10 cm do 1 m na tri mesta u rejonu IBK Uzorci zemlje

(sa svakog mesta uzimano 10-20 kg) pripremani su po uobičajenom postupku [1]. Pripremljena zemlja stepena granulacije do 1 mm uzimana je za rad i data na mineraloškU i hemijsku analizu.

Mineraloški sastav zemlje. Iz mineraloške analize* dobiveni su sledeći podaci:

Zemlja je glinovito-peskovita u odnosu 1:1 i po mineraloškom sastavu praktično ista u sve tri tačke sa kojih je uzimana.

Peskovita frakcija iznosi oko 45 % i sastavljena je od krupno i sitnozrnaste frakcije, glinovita frakcija sa granulacijom 0,07 mm iznosi oko 55 %.

U peskovitoj frakciji nalaze se mrka humusno-fosfatna zrna 60 %, zatim kvarc 30 %, liskuni (muskovit) 2 %, kalcijum karbonatne materije od 0-6 % i teški minerali do 0,5 %.

Sastav glinovite frakcije sačinjavaju hidroliskun(ilit) kvarc i delom organske materije.Za ovu frakciju sastav u procentima nije dat.

Eksperimentalni postupak. Svi eksperimenti izvedeni su u statičkim uslovima na sobnoj temperaturi $23 \pm 3^{o}C$. Sorpcioni kapacitet zemlje odredjivan je u odnosu na $Na^{+}$ i $Ca^{++}$ metodama izotopske izmene i zasićavanja [1,2,3].

Sorpcija radionuklida na zamlji ispitana je uravnotežavanjem zemlje sa rastvorima koji sadrže kao mikrokomponentu $Cs^{+}$, odnosno $Sr^{++}$ i $Co^{++}$ u konc. $1x10^{-5}N$ obeležene $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$, a kao makrokomponentu $Ca^{++}$. Odnos faza čvrsto-tečno bio je uvek 1:20.

Zavisnost sorpcije radionuklida od ispitivanih parametara prikazan je koeficijentima raspodele $K_d$ mikrokomponente:

$$K_d = \frac{q}{c} = \left(\frac{I_o - I_r}{I_r}\right) x \frac{v}{m}, \ ml/gr$$

gde je: $K_d$ - koeficijent raspodele mikrokomponente, ml/gr

q - količina radioelementa vezana za 1 gr sorbenta, meq/gr.

---

*MineraloškU analizu izvršio Geološko rudarski fakultet

c - količina radioelementa zaostala u 1 ml rastvora, meq/ml

$I_o$ - početna aktivnost rastvora, imp/min/ml

$I_r$ - zaostala aktivnost rastvora u ravnoteži, imp/min/ml

v - zapremina rastvora, ml

m - težina sorbenta - zemlje, gr.

Merenjem v,m,$I_o$ i $I_r$ izračunati su prema datoj relaciji koeficijenti raspodele $K_d$. Dobivene vrednosti za kapacitet sorpcije katjona i koeficijent raspodele $K_d$ predstavljaju srednju vrednost merenja 4 probe.

U radu su upotrebljeni radionuklidi $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ bez nosača, proizvodnje Amersham-Engleska i $^{22}Na$ bez nosača, proizvodnja "Rudjer Bošković"-Zagreb (Jugoslavija).Upotrebljene hemikalije bile su analitičkog stepena čistoće.

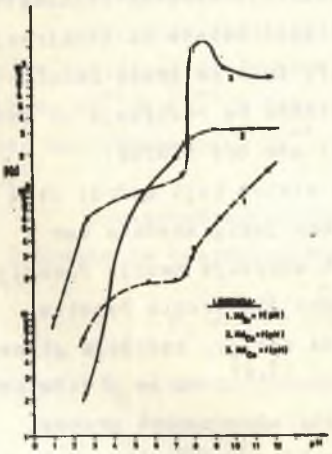
## Rezultati i diskusija

Sorpcija mikrokoncentracija $Cs^+$, $Sr^{++}$ i $Co^{++}$ ispitana je na uzorcima površinskog sloja zemlje područja Instituta "Boris Kidrič"-Vinča. Uzorci su uzimani sa tri mesta: 1.kod bazena za stokiranje radioaktivnih otpadnih voda(VR); 2.sa podnožja padine na kojoj se nalazi prostor za stokiranje čvrstih radioaktivnih odpadaka i 3. strana potoka Mlake ispod bazena za stokiranje radioaktivnih otpadnih voda (VR-bazena). Kako se prema rezultatima mineraloške analize uzorci zemlje praktično ne razlikuju po svom sastavu, ispitivanja su vršena na smeši sva tri uzorka.

Ispitivana zemlja predstavlja sistem koji sadrži više komponenata različitog mineraloškog i hemijskog sastava kao i stepena disperziteta. Kako je kapacitet sorpcije zemlje funkcija brojnih faktora kao što su sadržaj visoko disperznih čestica, hemijskog i mineraloškog sastava koloida zemlje, sadržaja glinastih minerala, pH reakcija rastvora i dr.[3,4], to se u više komponentnim sistemima mogu javiti različiti adsorpcioni procesi prema istim jonima. Sorpcija jona na zemlji predstavlja složenu funkciju više parametara od kojih se mogu izdvojiti kao glavni: osobine katjona, adsorbenta-zemlje i rastvora.

Za kapacitet sorpcije zemlje u odnosu na $Na^{+}$ jone dobivena vrednost iznosi od 0,17-0,24 meq/gr.Kako se eluiranje vrši sa $NH_4^{+}$ u ekvivalentnim količinama to je istovremeno i kapacitet izmene $Na^{+}$. Za kapacitet sorpcije u odnosu na $Ca^{++}$ dobivena vrednost iznosi 0,70 meq/gr. Eluiranje $Ca^{++}$ sa zemlje rastvorima NaCl išlo je veoma teško i bilo je nepotpuno.

Zavisnost sorpcije mikrokoncentracija $Cs^{+}$,$Sr^{++}$ i $Co^{++}$od pH rastvora prikazana je na sl.1. Sa sl.1. se vidi da je sorpcija $Cs^{+}$ konstantna u opsegu pH 8-11,5, da sorpcija $Sr^{++}$ raste sa porastom pH>7,5, a sorpcija $Co^{++}$ do pH 8,5 raste, a sa daljim porastom pH opada. Sorpcija $Cs^{+}$ i $Sr^{++}$ u saglasnosti je sa podacima iz literature [4,5,6]. Dobivena zavisnost sorpcije mikrokoncentracija $Co^{++}$ od pH rastvora moguće je nastala kao rezultat formiranja nekog jedinjenja $Co^{++}$ sa humusom iz zemlje. Ova jedinjenja verovatno da su malo rastvorna do pH 8,5, a da pri pH vrednostima većim od pH 9 prelaze u rastvorne komplekse, jer bi inače povećanje pH rastvora trebalo da prati smanjenje konc.$Co^{++}$ zbog formiranja $Co(OH)_2$.Teorijski,za konc.$1x10^{-5}$ $Co^{++}$ i proizvod rastvorljivosti $Co(OH)_2$, $K_{sp}$= $1,3x10^{-15}$[7], taloženje $Co(OH)_2$ treba da započne na pH 9 što se iz krive na sl.1. ne vidi.

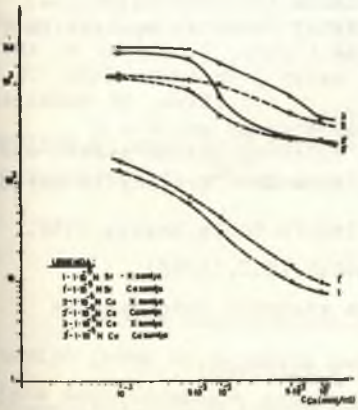


Sl.1. Zavisnost $K_d$ od pH rastvora 0,1 N NaCl

Zavisnost sorpcije mikrokoncentracija $Cs^{+}$,$Sr^{++}$ i $Co^{++}$ od koncentracije makrokomponente $Ca^{++}$ ispitana na "sirovoj" i na prevedenoj u Ca-oblik zemlji je prikazana sl.2.

Prema jednačini Bagrasova[6,8] sorpcija mikrokomponente izražena je kao $K_d$ od koncentracije

makrokomponente (na logaritamskoj skali), a koeficijent pravca prave je odredjen odnosom naelektrisanja jona koji učestvuju u izmeni. Sorpcija mikrokoncentracija $Sr^{++}$ linearno zavisi od konc.$Ca^{++}$ u oblasti $5x10^{-3}$ - $1x10^{-1}$ N, sa koeficijentom pravca 0,8 (sl.2), prema teorijskoj vrednosti koja iznosi 1. Ipak ovi rezultati nisu dovoljni za izvodjenje zaključaka o prirodi sorpcije $Sr^{++}$ na zemlji. Krive sorpcije mikrokoncentracija $Cs^{+}$ i $Co^{++}$ u zavisnosti od konc. $Ca^{++}$ imaju isti tok na "sirovoj"(na sl.2. označena kao X-zemlja) i na Ca-obliku zemlji. Iz ovih krivih ne može da se odredi priroda procesa sorpcije mikrokoncentracija $Cs^{+}$ i $Co^{++}$ na ispitivanoj zemlji. Medjutim kako je sorpcija mikrokoncentracija $Cs^{+}$ znatno veća od sorpcije $Sr^{++}$ može se zaključiti o izvesnoj selektivnosti sorpcije $Cs^{+}$(8,11,12).Visoki koeficijenti raspodele ($K_d$)cezijuma mogu se objasniti prisustvom ilita u zemlji (11 12) .Ispitivanja zavisnosti sorpcije,odnosno $K_d$ od koncentracije sopstvenih jona $Cs^{+}$,$Sr^{++}$ i $Co^{++}$ u prisustvu $1x10^{-2}$N $Ca^{++}$ pokazala su da se porastom konc.$Cs^{+}$ i $Co^{++}$ koeficijenti raspodele $K_d$ opadaju,dok se kod $Sr^{++}$ u ispitivanom intervalu koncentracija veoma malo menjaju.



Sl.2. Zavisnost koeficijenata raspodele $K_d$ od koncentracije $Ca^{++}$ u rastworu

Iz prikazanih materijala može se videti da je ispitivana zemlja složeni više komponentni sistem tako da u kontaktu sa rastvorima mogu istovremeno nastati različiti adsorpcioni pro-

cesi Sa dobivenim rezultatima nisu mogle kvaktitativno da se opišu zakonitosti raspodele mikrokoncentracija jona $Cs^{+}$, $Sr^{++}$ i $Co^{++}$ izmedju rastvora i čvrste faze - zemlje.

Na osnovu dobivenih rezultata može se predpostaviti da je priroda sorpcije $Cs^{+}$ u konc. $1x10^{-5}$N na ispitivanoj zemlji vezana za ireversnu fikasaciju cezijuma u troslojnoj rešetci ilita; sorpcija stroncijuma verovatno vezana za dva procesa: jonsku izmenu i vezivanje za neku komponentu zemlje; sorpcija kobalta najverovatnije je vezana za proces hemisorpcije kao rezultat nekog jedinjenja kobalta sa huminskim materijama iz zemlje.


## Resume

SORPTION OF RADIONUCLIDES $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ AND $^{60}Co$ ON SURFACE BED OF SOME SELECTED SOILS

The sorption of radionuclides $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ and $^{60}Co$ on surface bed of some soil samples was investgated under batch conditions in dependence on the pH of solution, contact time, initial concentration of a competing macrocomponent as $CaCl_2$. The sorption capacities of soil samples with respect to $Na^{+}$ and $Ca^{++}$ were determineted. Distribution coefficients ($K_d$) were determined and the following sequence of affinity all samples was noticed:

$Co^{++}$ $Cs^{+}$ $Sr^{++}$


## Bibliografija


1. Amphlett C.B. and Mc Donald L.A, J.Inorg.Nucl.Chem., 2, 403 (1956)
2. Cohen P., et.al., Parametre d'equilibre du $^{90}Sr$ dans le sol de Saclay, C.E.A. juin 1959.
3. Vozvuskaya E.A., Chimia Potchvi, Izd.Vs.Skola, Moskva, 1968.
4. Gedrbic K.K., Izd.3, 1932, Izbr.sotch., T.I. (1955)
5. Nikolski B.P., Metody issledovanya adsorpci potchvami iz rastvorov, Izd.A.N.SSSR, 1948.
6. Bagrecov F.V., et al, Radiochimia 2, 734 (1960)
7. Spravočnik chimika, III, str.231, Izd.Chimia, Moskva-Leningrad, 1964.
8. Nikolaev M.V. et al, Radiochemia 5, 32 (1963)
9. Barshad Y, Soil Sc Soc.of Am.Proc., 16, 2, 1952.
10. Borshad Y., Soil Sc.78, 1 (1964)
11. Marel H.W, Soil.Sc, 78, 3 (1954)
12. Dlouhy Z., UJV 952/63.

# JAČINA EKSPOZICIONE DOZE PRIRODNOG GAMA ZRAČENJA NA TERITORIJI SR SRBIJE

RADOVANOVIĆ R., HAJDUKOVIĆ D.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović"-Beograd

## R e z i m e:

Na 765 reprezentativnih tačaka, rasporedjenih po kvadratima sa ivicom od 15 km., u SR Srbiji izmerena je jačina ekspozicione doze gama zračenja na visini od 1 m iznad površine zemljišta.

Merenja su vršena uporedo sa vazduhoekvivalentnom jonizacionom komorom, brojačem DT-12 sa plastičnim scintilatorom TPB prečnika 4 cm i dužine 4 cm, ratemetrom NE-148 sa kristalom NaJ (Tl) prečnika 1,9 cm i dužine 1,9 cm.

Izvestan broj kontrolnih merenja izvršen je gamaspektrometrijskom metodom.

Na kontrolisanim tačkama jačine ekspozicionih doza kreću se od 3 μr/h do 35 μr/h. Na 553 tačke jačina ekspozicione doze je izmedju 5 μr/h i 15 μr/h a na 98 tačaka izmedju 15 μr/h i 30 μr/h. Samo na 3 tačke izmerena je jačina ekspozicione doze iznad 30 μr/h.

U radu se ukazuje na zavisnost jačine doze od mikrolokacije mernog mesta, geološke strukture terena i sezonskih promena radioaktivnosti prizemnog sloja vazduha.

## U v o d:

Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja predstavlja jedan od osnovnih podataka za ocenu maksimalno dozvoljene doze ozračenja populacije.

S druge strane radiobiloški efekti, pre svega oni genetske prirode, nisu ni danas dovoljno poznati, sa stanovišta njihovog odnosa prema prirodnom fonu zračenja. Praktično, za stanovnike

SR Srbije postavlja se pitanje: Da li je značajno što je deo populacije za 60 godina života izložen ekspozicionoj dozi od 18 r a drugi deo ekspozicionoj dozi od samo 1,5 r ?

Naravno ove razlike u svetskim razmerama su i mnogo veće.

Medjutim, jačina ekspozicione doze gama zračenja je u stvari samo jedan od pokazatelja izloženosti stanovništva zračenju. Najčešće jačina ekspozicione doze gama zračenja govori i o nivou radioaktivne kontaminacije pijaće vode i hrane stanovnika sa date teritorije. Za neke oblasti u SR Srbiji ovaj problem opisali su Radovanović, Hajduković, Moračić i saradnici (1,2).

U periodu 1967-1968. godine, kad su ova merenja vršena, bilo je veoma malo deponovanja svežih fisionih produkata, što je omogućavalo da se realtivno jednostavnim metodama približno blisko odredi jačina ekspozicione doze gama zračenja prirodnih radionuklida.

## Metode merenja

Metode za merenje malih jačina ekspozicione doze gama zračenja pomoću gamaspektrometra i vazduhoekvivalentne komore opisali smo ranije (3). Brojač DT-12 sa plastičnim scintilatorom TPB, kao i Ratemeter NE-148 sa kristalom NaJ (Tl) kalibrisani su na osnovu gamaspektrometrijske metode sa po deset standardnih gama emitera dobijenih od Medjunarodne agencije za atomsku energiju (Code No D-8 set No 48). Naša kalibracija Ratemetra NE-148 zadovoljavajuće se slagala sa kalibracijom koju je dao proizvodjač "Bard Atomic".

Za obadva instrumenta snimani su polarni dijagrami za po tri položaja sonde na visini od 1 m iznad površine.

U principu na svakom kvadratu terena sa ivicom od 15 km vršeno je najmanje jedno merenje. Medjutim, na pojedinim kvadratima izvršeno je i preko 20 merenja. Prilikom izbora mikroloka-

cije mernog mesta vodili smo računa o konfiguraciji terena, na što ukazuje i M. Sterle (4).

Najveći broj mernih mesta preciziran je prema geološkoj karti razmere 1:300.000. Sva merenja su vršena na visini od 1 m iznad tla, sa vazduhoekvivalentnom komorom, brojačem DT-12 sa plastičnim scintilatorom i Ratemetr-om NE-148 sa kristalom NaJ (Tl).

Uporednim radom sa ova tri instrumenta bilo je moguće odraditi udeo kosmičkog zračenja u jačini ekspozicione doze.

## Rezultati merenja

Merenja jačine ekspozicione doze gama zračenja izvršena su na 765 tačaka od kojih su 47 bile rasporedjene samo na tri kvadrata.

Grupisani i obradjeni rezultati merenja dati su u tabeli 1.

Vrednost jačine ekspozicione doze gama zračenja za svaku mernu tačku izračunata je kao srednja vrednost rezultata dobijenih po tri ili četiri metode. Dakle, podaci u tabeli 1 bazirani su na ukupno 2450 merenja.

Tabela 1

Jačina ekspozicione doze gama zračenja na teritoriji SR Srbije

| JAČINA EKSPOZICIONE DOZE µr/h | mr/god | BROJ MERNIH MESTA |
|---|---|---|
| do 2,9 | do 25,40 | 5 |
| 3,0- 5,9 | 26,28- 51,68 | 62 |
| 6,0- 8,9 | 52,56- 77,96 | 107 |
| 9,0-11,9 | 78,84-104,24 | 193 |
| 12,0-14,9 | 105,12-130,52 | 224 |
| 15,0-17,9 | 131,40-156,80 | 78 |
| 18,0-20,9 | 157,68-183,08 | 33 |
| 21,0-23,9 | 183,96-209,36 | 4 |
| 24,0-26,9 | 210,24-235,64 | 7 |
| 27,0-29,9 | 236,52-261,92 | 4 |
| 30,0-32,9 | 262,80-288,20 | 2 |
| 33,0-35,9 | 289,08-314,48 | 2 |
| 2,5 -35 | 21,90-306,60 | 721 |

PROSEČNO NA TERITORIJI SR SRBIJE

| µr/h | mr/ god | Broj mernih mesta |
|---|---|---|
| 11,9 | 104,24 | 721 |

Srednja jačina ekspozicione doze gama zračenja za kontrolisane tačke iznosi 11,9 µr/h odnosno 104,24 mr/ godišnje. Na oko 84% mernih tačaka izmerena je jačina ekspozicione doze od 6 do 18 µr/h, na oko 9% tačaka manja od 6 µr/h a na 7,2% tačaka jačina ekspozicione doze preko 18 µr/h.

Da bi se što približnije ustanovio nivo izloženosti stanovništva prirodnom gama zračenju, u ovoj fazi rada na ovom problemu, bilo je nužno odrediti izodozne površine sa odredjenim intervalom jačine ekspozicione doze gama zračenja. Usvojili smo interval od 3 $\mu$r/h.

Sasvim je sigurno da se karta sa ovakvim izodoznim površinama sa intervalima od 3 $\mu$r/h može realizovati samo pešačkom gama snimkom, kako se to radi kod istraživanja nuklearnih sirovina, nafte i sl.

Medjutim, za takav pristup rešavanju ovog problema bila bi potrebna ogromna materijalna sredstva.

Da bi smo ipak mogli doći do izodoznih površina, mi smo se poslužili činjenicama da je koncentracija prirodnih radionuklida u različitim geološkim strukturama značajno različita, i da su geološke strukture na teritoriji SR Srbije u zadovoljavajućem stepenu poznate, bar kad se radi o delu teritorije na kojoj živi stanovništvo.

U tabeli 2. date su srednje vrednosti jačine ekspozicione doze gama zračenja na visini od 1 m iznad terena različite geološke starosti na teritoriji SR Srbije. Ovde su navedeni samo rezultati za terene geološke starosti za koje je merenje izvršeno najmanje na 17 tačaka.

Kao i što smo očekivali najveća jačina ekspozicione doze izmerena je iznad granita, diorita i granodiorita, a najniža iznad periodita i serpentina.

Značajne smetnje u realizaciji ovakve metodologije odredjivanja izodoznih površina proističu iz erozije zemljišta i bujica. Naime, na mnogim mestima naneti materijal na odredjenoj geološkoj strukturi može značajno izmeniti jačinu ekspozicione doze gama zračenja.

Pored pažljivog izbora mikrolokacije mernog mesta, pri čemu smo vodili računa o problemu erozije i bujica, značajne podatke o tome pružio nam je rad Ž. Vančetovića (5). Podaci u tabeli 2. dati su za merne tačke koje nisu obuhvaćene erozijom i bujicama.

Na osnovu karte bujičnih područja u SR Srbiji, sa izopovršinama različitih kategorija bujica, merenjem jačine ekspozicione doze gama zračenja iznad plavljenih terena i znajući srednju jačinu ekspozicione doze gama zračenja za teren date geološke starosti moglo se doći do udela erozivno-bujičnih procesa u promeni jačine ekspozicione doze gama zračenja. U područjima bujica prve kategorije jačina ekspozicione doze može se u toku godine dana dvostruko povećati na istom mestu. Nekoliko takvih pojava smo konstatovali u slivu Južne Morave na delu Vranje-Grdelica i znatan broj na vodoplavnim terenima.

Na deset karakterističnih mesta gama-spektrometrijskom analizom materijala nanetog bujicama ustanovljena je znatno povećana koncentracija radijuma u odnosu na osnovno zemljište datog terena. Na osnovu navedenog, može se zaključiti da erozivno-bujični procesi mogu značajno izmeniti distribuciju prirodnih radionuklida na široj teritoriji. Zbog toga nivo prirodnog zračenja na takvim terenima nije konstantan.

Tabela 2

Srednje vrednosti jačine ekspozicione doze gama zračenja iznad terena različite geološke starosti

| Red. broj | N A Z I V | /ur/h | Broj mernih mesta |
|---|---|---|---|
| 1 | Graniti, dioriti i granodioriti | 22,4 | 20 |
| 2 | Paleozolik uopšte (metamorfisani paleozolik) | 15,5 | 17 |
| 3 | Les i diluvialne gline | 12,7 | 48 |
| 4 | Perm-karbon | 12,6 | 25 |
| 5 | Neogen | 12,5 | 30 |
| 6 | Aluvijum | 11,7 | 159 |
| 7 | Kvartar | 11,6 | 33 |
| 8 | Donja kreda | 11,5 | 31 |
| 9 | Andeziti, daciti, rioliti i njihovi tufovi | 11,3 | 21 |
| 10 | Donji pliocen | 10,1 | 22 |
| 11 | Gornji i srednji trijas | 8,0 | 34 |
| 12 | Perioditi i serpentini | 7,7 | 26 |

Sledeći problem koji smo morali rešiti da bi došli do podataka datih u tabeli 1. odnosi se na sezonske i dnevne promene radioaktivnosti prizemnog sloja vazduha. Naša merenja su vršena u različito doba godine i dana i pod različitim meteorološkim uslovima.

Da bi se postigla komparabilnost izmerenih vrednosti i našla srednja jačina ekspozicione doze rezultat svakog merenja morao se svesti na prosečne uslove.

Naročito značajne promene radioaktivnosti prizemnog sloja vazduha uslovljavaju padavine. U tom smislu koristili smo kartu izopovršina padavina u SR Srbiji.

Medjutim, osnovnu procenu sezonskih i dnevnih promena jačine ekspozicione doze gama zračenja izvršili smo na osnovu kontinualnog merenja jačine ekspozicione doze gama zračenja u toku 1968. i 1969. godine (6).

Na taj način odredjeni podaci u tabelama 1. i 2. su veoma bliski srednjim godišnjim vrednostima.

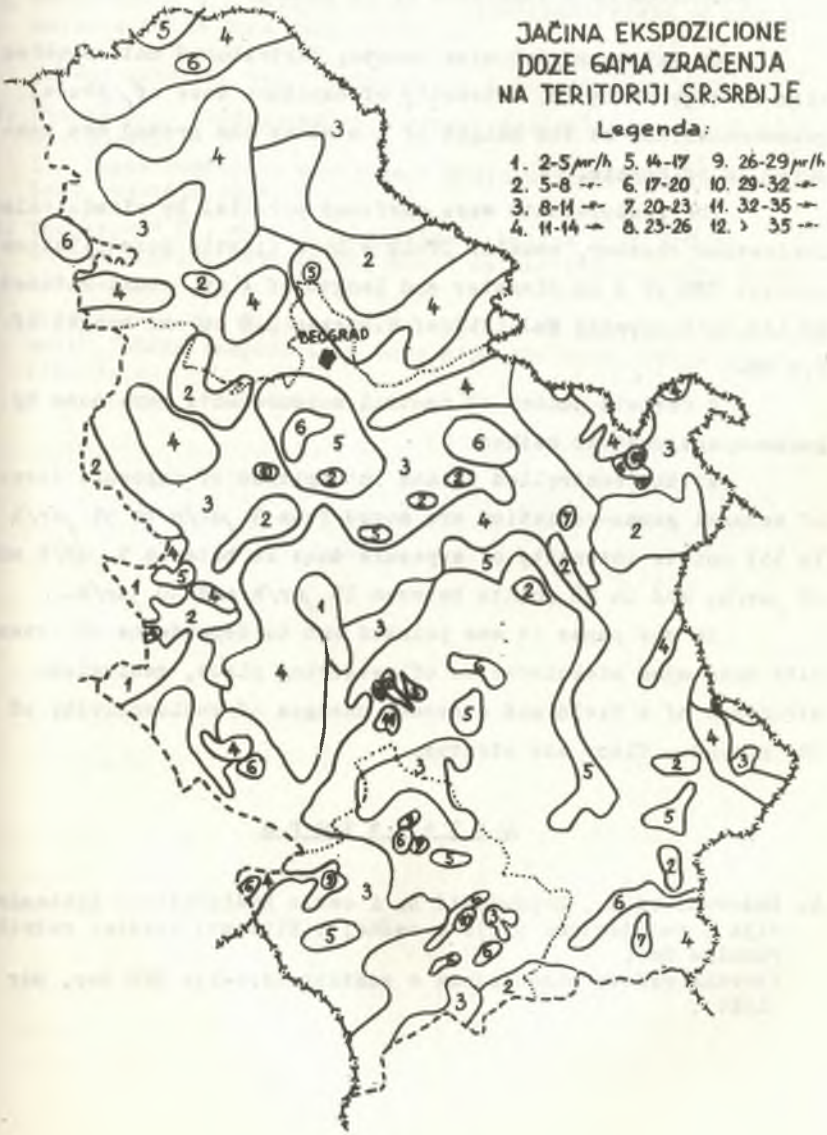
## Z a k l j u č a k:

Navedenim metodama može se odredjivati jačina ekspozicione doze gama zračenja u životnoj sredini. Radiometrijska greška koja se pravi pri ovim merenjima je daleko manja nego greška koju može dati izbor mikrolokacije mernog mesta. Tako npr. standardna devijacija za merenja sa Ratemeter-om NE-148 u zavisnosti od jačine ekspozicione doze i mernog opsega iznosi od 4,5% do ±14% od izmerene vrednosti, dok standardna devijacija rezultata merenja jačine ekspozicione doze na više tačaka istog kvadrata sa ivicom od 15 km može da iznosi i od ± 60% do ± 100% od srednje vrednosti. Na nekim kvadratima koeficient varijacije je daleko iznad 30%, pa se ti rezultati i ne mogu smatrati homogenim. Zbog svega toga, korekcije koje su izvršene po geološkoj strukturi, erozivno-bujičnim procesima i procena sezonsko-dnevnih promena radioaktivnosti prizemnog sloja vazduha imaju bitnog značaja za iznalaženje srednje jačine ekspozicione doze gama zračenja za populaciju, koja u SR Srbiji iznosi 11,9 μr/h odnosno 104,24 mr/godišnje.

Distribucija stanovništva po izodoznim površinama, koje su približno date na slici 1., kao i proučavanja nivoa zračenja u kućama ostaju problemi našeg daljeg rada.

Na kraju napomenimo da se najveći broj teškoća koje se javljaju pri ovom radu može izbeći pogodnom distribucijom odgovarajućih termoluniniscentnih dozimetara, za šta mi nažalost nismo imali mogućnosti.

**Jačina ekspoziciona doze prirodnog gama zračenja u SR Srbiji**




Sl.1

## S u m m a r y:

INTENSITY OF EXPOSURE DOSE OF NATURAL GAMMA - RADIATION ON A TERRITORY OF SR SERBIA

On 765 representative points, distributed into squares with an edge of 15 km, intensity of exposure dose of natural gamma-radiation at the height of 1 m above the ground was measured in SR Serbia.

The measurements were perfomed parallel by airequivalent ionization chamber, counter DT-12 with a plastic scintillation counter TPB of 4 cm diameter and length of 4 cm, count-ratemeter NE 148 with crystal NaJ (Tl) of diameter 1,9 cm and height of 1,9 cm.

A certain number of control measurements were done by gamma-spectrometric method.

At the controlled points intensities of exposure doses of natural gamma-radiation are moved from 3 $\mu$r/h to 35 $\mu$r/h In 553 points intensity of exposure dose is between 5 $\mu$r/h and 15 $\mu$r/h, and in 98 points between 15 $\mu$r/h and 30 $\mu$r/h.

In the paper it was pointed out to dependence of intensity dose upon microlocation of measuring place, geological structure of a field and seasonal changes of radioactivity of the ground - floor air stratum.


## L i t e r a t u r a


1. Radovanović R., Hajduković D. i sar.: Radioaktivna kontaminacija i radijaciona polja u radnoj i životnoj sredini radnika rudnika Bor.
   Zbornik radova simpozijuma o zaštiti zdravlja RTB Bor, Bor (1968).

2. Moračić Lj., Radovanović R., i sar.: Interna kontaminacija stanovnika SR Srbije sa U-238, Ra 226 i Pb-21o putem hrane. V Jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid 30.IX.-5.X.1968.

3. Radovanović R., Hajduković D.,: Spektrometrijska metoda za merenje malih doza gama zračenja. Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, str. 70-76, Banja Luka, 23-26.X.1967.

4. Sterle M.,: Konfiguracija terena i dozimetrija prirodne gama aktivnosti. III Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti. Banja Luka, 23-26.X.1967.

5. Vančetović Ž.: Erozija zemljišta i bujice u SR Srbiji. Strane 123-200. Republički zavod za zaštitu prirode, Beograd 1966.

6. Radovanović R., Hajduković D.: Metoda za kontinualno merenje malih jačina ekspozicione doze gama zračenja. (Nije objavljeno).

# KRITIČKE OCENE DOZVOLJENIH NIVOA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE BIOSFERE SA Cs - 137 i Sr 9o

RADOVANOVIĆ R.

Institut za medicinu rada i radiološku
saštitu "Dr Dragomir Karajović"-Beograd

R e z i m e:

Polazeći od maksimalno dozvoljenih doza zračenja koje uslovljavaju inkorporirani radionuklidi u pojedinim organima, ili celom ljudskom organizmu, moguće je na osnovu modela diskriminacionih faktora i modela depozicije ustanoviti maksimalno dozvoljeni nivo radioaktivne kontaminacije biosfere pojedinim radionuklidima.

Realna kontaminacija biosfere izvršena je smešom fisionih produkata, od kojih su Cs-137 i Sr-9o najznačajniji. Odnos udela Cs-137 i Sr-9o u internoj kontaminaciji ljudi nije uvek, na svim terenima i za sve ljude, isti. Zbog toga nivo radioaktivne kontaminacije biosfere, koji se može smatrati dozvoljenim, sa ovim izotopima nije jedinstven.

## U v o d:

Odredjivanje maksimalno dozvoljenog nivoa radioaktivne kontaminacije biosfere u odnosu na zaštitu zdravlja populacije predstavlja veoma složen problem.

U ekološkom ciklusu jedina konstantna biološka karika je čovek. Medjutim, pitanje konstantnosti i ove karike može se shvatiti samo u smislu njenog postojanja, ali ne i u smislu konstantnosti bitnih faktora koji tu kariku odredjuju u ekološkom ciklusu. Istovremeno, ostale karike ekološkog ciklusa su kompleksne, što u suštini mora voditi nejedinstvenosti vrednosti maksimalno dozvoljenih nivoa radioaktivne kontaminacije biosfere.

Maksimalno dozvoljeni sadržaj radionuklida u kritičnim organima i u celom ljudskom organizmu, kao i maksimalne dozvoljene doze ozračenja, kod lica koja profesionalno rade sa radioaktivnim materijalima, odredjeni su postojećim normativima.

U današnjim uslovima, uglavnom na toj osnovi gradi se koncepcija odredjivanja maksimalno dozvoljenih nivoa radioaktivne kontaminacije biosfere fisionim produktima. Na taj način je maksimalno dozvoljena doza ozračenja populacije od eksternih i internih izvora ograničena genetskom maksimalno dozvoljenom dozom od 5 bera za 30 godina u koju nisu uračunati prirodni fon i doze koje pacijent prima u medicinskim procedurama.

S druge strane često se susreće stav da je maksimalno dozvoljeni nivo ozračenja populacije ravan nivou prirodnog zračenja. U suštini ovakav stav je veoma neprecizan iz nekoliko osnovnih razloga:

1. Nivo prirodnog ozračenja (eksternog i internog) populacije na različitim terenima je različit.

2. Deponovanjem dugoživećih fisionih produkata stvorena je za celu populaciju jedna "nova radijaciona priroda" naročito značajna sa stanovišta nivoa internog ozračenja.

3. Kvalitativni i kvantitativni odnosi "nove radijacione prirode" prema nivou ozračenja populacije na različitim terenima nisu isti.

4. Nivo interne kontaminacije stanovnika uglavnom je uslovljen unošenjem radionuklida sa hranom. U realnim uslovima nivo prirodne radioaktivnosti veoma udaljenog terena od terena na kome živi stanovništvo može bitno uticati na nivo njegove interne kontaminacije.

Bez obzira na navedene probleme izgleda da će se upravo na ovom stavu u buduće graditi koncepcija o maksimalno dozvoljenim nivoima radioaktivne kontaminacije biosfere, odnosno ozračenja populacije. U svakom slučaju prihvatljivije je precizirati

prirodno ozračenje, nego naći ubedljive dokaze da je, npr. za stanovnike SR Srbije koji su izloženi ekspozicionoj dozi prirodnog gama zračenja od o,66 r/3o god. i one izložene ekspozicionoj dozi gama zračenja od 9,1o r/3o godina, maksimalno dozvoljena doza ista od 5 ber/3o god. Naravno u svetskim razmerama ove razlike su i drastičnije.

## Dozvoljeni nivoi radioaktivne kontaminacije biosfere sa Cs-137 i Sr-9o

Ovaj problem najpotpunije je obradjen u monografiji Buldakova i Moskaleva (1). U nekim zemljama, kao npr. u Novom Zelandu (2), usvojeni su nacionalni propisi o maksimalno dozvoljenim nivoima kontaminacije biosfere ovim izotopima.

Osnovu koncepcije čini stav da kontaminacija biosfere ne sme biti takva da uslovi ozračenje ljudskog organizma u celini ili datog kritičnog organa iznad današnjim normativima maksimalno dozvoljenih vrednosti.

Pri profesionalnoj ekspoziciji u ljudskim organima je dozvoljen takav sadržaj radionuklida koji neće usloviti prekoračenje MDD ozračenja (rem/ned): o,6 za skelet, o,3 za bubrege, o,3 za mišiće, o,1 za gonade i o,1 za celo telo.

Maksimalno dozvoljena doza za populaciju ograničena je genetskom dozom od 5 rem/3o godina, što je za 3o puta manje nego za profesionalnu ekspoziciju. Ovaj faktor obično se uzima i za ostale kritipne organe.

## Cezijum 137

Maksimalno dozvoljene koncentracije Cs-137 u vodi i vazduhu u radnoj sredini, i na osnovu njih izračunata vrednost maksimalno dozvoljenog dnevnog unošenja ovog izotopa u organizam lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenju, dati su u

tabeli 1. U istoj tabeli date su i vrednosti tih veličina koje su moguće ako se potvrdi nagoveštena veća genetska opasnost od ovog izotopa od one sa kojom se danas računa.

Pri ovom proračunu uzeto je da radnik u toku rada prosečno unese u organizam 75o $cm^3$ vode i udahne $6,9.10^3$ litara vazduha. Navedene vrednosti za MDK uzete su po proračunu Buldakova i Moskaleva (1), jer u ICRP normama gonade nisu uzete kao kritični organ za ovaj izotop.

Tabela 1.

Maksimalno dozvoljeni nivo radioaktivne kontaminacije radne sredine sa Cs - 137

| | Današnja vrednost MDK | Moguća vrednost MDK |
|---|---|---|
| Voda | $(o,71-o,98).10^{-4}$ $\mu Ci/cm^3$ | $(o,24-o,33).10^{-4}$ $\mu Ci/cm^3$ |
| Vazduh | $(o,78-1,o8).10^{-8}$ $\mu Ci/cm$ | $(o,26-o,36).10^{-8}$ $\mu Ci/cm^3$ |
| pCiCs-137 / dan | 15o.ooo-21o.ooo | 5o.ooo-7o.ooo |

U tabeli 2. dati su podaci o maksimalno dozvoljenom dnevnom unošenju Cs-137 u ljudski organizam iz životne sredine.

Tabela 2.

Maksimalno dozvoljeno dnevno unošenje Cs-137 u ljudski organizam iz životne sredine (pCiCs-137/dan)

| | Današnja vrednost | Moguća vrednost |
|---|---|---|
| Manje grupe stanovnika u kont. zoni | 15.ooo-21.ooo | 5ooo - 7ooo |
| Populacija | 5ooo - 7ooo | 167o - 233o |

Pod dnevnim unošenjem podrazumeva se unošenje sa hranom, vodom i vazduhom.

Pošto je u uslovima kontaminacije biosfere, osnovni izvor unošenja Cs-137 u ljudski organizam hrana, u tabeli 3 dati su podaci o maksimalno dozvoljenom dnevnom unošenju Cs-137 preko hrane (MDDU).

Tabela 3.

MDDU Cs 137 u ljudski organizam

| | Današnja vrednost | | Moguća vrednost | |
|---|---|---|---|---|
| | pCi/dan | pCi/grK | pCi/dan | pCi/grK |
| Manje grupe stanovnika u kont.zoni | 2o.ooo | 5ooo | 666o | 1665 |
| Populacija | 666o | 1665 | 222o | 555 |

Vrednosti pCi Cs-137/grK u hrani izračunate su na osnovu činjenice da prosečan stanovnik SR Srbije unosi sa hranom dnevno 4 gr kalijuma.
Ovaj podatak razlikuje se od onog koji navode Buldakov i Moskalev (1), da prosečan stanovnik unosi sa hranom dnevno oko 3,1 grK.

U nekim zemljama kao MDDU Cs 137 za populaciju uzimaju vrednost koja je u tabeli 3. data za manje grupe stanovnika koje žive u kontrolisanoj zoni, što smatramo da nije u redu s obzirom i na moguću veću genetsku opsanost od unetog Cs 137 od one sa kojom se do sad računalo.

Na osnovu naših merenja koncentracije Cs-137 u padavinama životinjskim kostima, mesu, mleku, ljudskoj i stočnoj hrani (3, 4, 5, 6) moguće je pomoću modela diskriminacionih faktora odrediti maksimalno dozvoljeno dnevno unošenje Cs-137 u organizam životinja da bi se dobilo meso i mleko podobno za ishranu

populacije.

Tako izračunati podaci za okolinu Beograda dati su u tabeli 4.

Tabela 4.

MDDU Cs 137 u organizam životinja da bi se dobilo meso i mleko pogodno za ishranu populacije (1665 pCi/grK)

| Vrsta životinja | Podoban proizvod | | | |
|---|---|---|---|---|
| | meso | mleko | meso | mleko |
| | pCi Cs-137/kg dnevne hrane | | pCi Cs-137/grK u dnevnoj hrani | |
| Krava | 7500 | 135.000 | 850 | 1665 |
| Ovca | 7500 | 135.000 | 850 | 1665 |
| Koza | 7500 | 135.000 | 850 | 1665 |
| Svinja | - | - | 850 | - |

Ako bi se usvojila vrednost MDDU Cs 137 u ljudski organizam od 2220 pCi/dan odnosno 555 pCi/grK s obzirom na veću genetsku opasnost, sve vrednosti u tabeli 4 bile bi manje za tri puta. Kod ishrane stoke ispašom kad je sano-trava jedini izvor unošenja kalijuma u organizam životinja da bi se dobilo meso i mleko u kojim ne bi bilo više od 1665 pCi Cs-137/grK pomoću modela raspodele depozicije može se doći do podataka datih u tabeli 5.

Tabela 5.

MDK Cs 137 u senu da bi se dobilo meso i mleko podobno za ishranu populacije (1965 pCi/grK)

| Vrsta životinje | Podoban proizvod | |
|---|---|---|
| | m e s o | m l e k o |
| | pCi/kgr sena | |
| Krava | 6.750 | 26.000 |
| Ovca | 25.000 | 89.000 |
| Koza | 25.000 | 29.000 |
| Svinja | - | - |

## Stroncijum - 90

Maksimalno dozvoljene koncentracije Sr 90 u vodi i vazduhu u radnoj sredini date su u tabeli 6. U istoj tabeli dato je maksimalno dozvoljeno dnevno unošenje ovog izotopa u ljudski organizam u radnim uslovima uzimajući kosti kao kritični organ.

Tabela 6.

Maksimalno dozvoljeni nivo radioaktivne konteminacije radne sredine sa Sr - 90

| | MDK pCi/l | Dnevno unošenje pCi/dan |
|---|---|---|
| Voda | 4000 | 3000 |
| Vazduh | 0,3 | 2000 |
| Ukupno | - | 5000 |

Sa vrednostima navedenim u tabeli 6. se obezbedjuje da u kostima čoveka ne bude više od 2ooo pCi Sr 9o/grCa.
Da bi se obezbedilo da u kostima odraslih članova populacije ne bude više od 67 pCi Sr 9o/grCa modelom koeficijenata diskriminacije dolazi se do podatka da u ljudskoj hrani ne sme biti više od 27o pCi Sr 9o/grCa.

Do istog rezultata dolazi se na osnovu modela raspodele depozicije.
Za decu u prvoj godini života kada se veštački hrane u hrani ne sme biti više od 67 pCi Sr 9o/grCa.

Grupisano ovi podaci dati su u tabeli 7.

Tabela 7.

MDDU Sr 9o u ljudski organizam iz životne sredine preko hrane

| | pCi Sr 9o/grCa u dnevnoj hrani | pCi Sr 9o/dan |
|---|---|---|
| Odrasli članovi populacije | 27o | 135 |
| Deca do jedne godine pri veštačkoj ishrani | 67 | 67* |

Podatak o dnevnom unošenju (pCi Sr 9o/dan) izračunat je za odrasle članove populacije u SR Srbiji na osnovu činjenice da isti unose dnevno sa hranom u organizam samo o,5 grCa što je dvostruko niži od vrednosti za stanovnike u mnogim zemljama.

Podatak za decu dat je uz predpostavku da dnevno unose oko 1 gr Ca sa hranom.

Da bi se dobilo mleko podobno za ishranu odraslih članova populacije (27o pCi/grCa) i za ishranu dece u prvoj godini života, mlečne životinje ne bi smele unositi sa hranom na dan više Sr-9o od vrednosti datih u tabeli 8. Vrednosti u tabeli 8 izračunate su na osnovu modela koeficijenata diskriminacije i podataka o prodiranju Sr 9o u mleko.

Tabela 8.

MDDU Sr 9o u organizam mlečnih životinja da bi se dobilo podobno mleko

| Model koeficijenata diskriminacije | | Na osnovu prodiranja Sr 9o u mleko | | |
|---|---|---|---|---|
| MDK Sr u mleku pCi grCa | MDDU pCi Sr 9o/grCa | MDK Sr 9o pCi/l | MDDU Sr 9o pCi/dan | MDDU pCi Sr9o/grCa |
| 27o | 15oo-57oo | 325 | 86ooo-7ooooo | 715-583o* |
| 67 | 38o | 8o | 47.ooo | 39o* |

* pod uslovom da se sa hranom dnevno unosi 12o grCa

Da bi se dobilo meso i kosti podobno za ljudsku ishranu MDDU Sr 9o u organizam domaćih životinja dato je u tabeli 9.

Tabela 9

MDDU Sr 9o u organizam domaćih životinja da bi se dobilo podobno meso i kosti (27o pCi/gr Ca)

| Vrsta i uzrast | Podobno za ljudsku hranu | |
|---|---|---|
| | meso | kosti |
| | pCi Sr 9o/dan | |
| Krupna rogata stoka | 34.ooo | 135.ooo |
| Tele | 12.3oo | 31.ooo |
| Ovca | 3.4oo | 8.1oo |
| Jagnje | 4.8oo | 4.6oo |
| Svinja | 13.5oo | 41.ooo |
| Prase | 7.5oo | 23.ooo |
| Kokoš | 12o | 41o |

Podaci za kosti u tabeli 9 dati su uz pretpostavku da njihovom kulinarskom obradom u rastvor ne prelazi više od 2% Sr 9o koji je u njima sadržan.

## Z a k l j u č a k:

Navedenim maksimalno dozvoljenim dnevnim unošenjima Cs-137 i Sr 9o u ljudski i životinjski organizam sa hranom odredjeni su u stvari i maksimalno dozvoljeni nivoi radioaktivne kontaminacije biosfere ovim izotopima. Uz poznavanje diskriminacionih faktora padavine: biljke, zemljište-biljke i znajući strukturu ishrane mogu se izračunati MDK ovih izotopa u bilo kojoj vrsti ljudske ili stočne hrane.

Sve navedene vrednosti imaju faktor sigurnosti oko 5 u odnosu na MDD ozračenja kritičnog organa ili celog ljudskog organizma.

Ovakvi nivoi kontaminacije biosfere sa Cs-137 i Sr-9o ne bi u proseku uslovljavali značajno veće ozračenje populacije od ozračenja kome je iz prirodnih izvora izloženo 1o% stanovnika SR Srbije koji žive na terenima gde je najviši nivo prirodne radioaktivnosti.

U koliko bi se ustanovilo evidentno štetno dejstvo nivoa prirodnog zračenja izraženog ekspozicionom dozom gama zračenja od 193 - 3o7 mr/god. maksimalno dozvoljeni nivoi za Cs 137 i Sr 9o morali bi biti još niži od navedenih.

## Summary

Starting from maximum permissible doses of radiation which are conditioned by incorporated radionuclides in individual organs or whole human body, it is possible according to a model of discrimination factors or model of deposition to establish maximum permissible level of radioactive contamination of biosphere by individual radionuclides.

A real contamination of biosphere was performed by mixture of products of fission from which Cs-137 and Sr-9o are the most significant. Cs-137 and Sr-9o share ratio in internal contamination of men is not always, on all fields and for all men, the same. Therefore, the level of radioactive contamination of biosphere, which could be considered as permissible, is not unique with these isotopes.


## Literatura


1. Buldakov L.A. Moskalev Ju. J.: problemi raspredelenija i eksperimentaljnoj ocenki dopustimih urovnej Cs 137, Sr 9o, Ru 1o6. Atom izdat. Moskva (1968)
2. Fallout Program Quarterly Summary Report HASL-2o7. USAEC New York. (April 1, 1969)
3. Radovanović R., Brnović R., Panov D.: Uticaj nuklearnih eksplozija na povećanje radioaktivne kontaminacije hrane stanovnika SR Srbije. V Jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid Oktobar (1968)
4. Brnović R., Radovanović R., Panov D.: Radioaktivni Sr-9o i Cs-137 u mleku. V Jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid (1968)
5. Radovanović R., Brnović R. i sar.: Soderžanie Sr-9o v kostjah ljudej i životnih. II nacionaljnaja konferencija po radiobiologii. Varna maj (1967)
6. Radovanović R. Cs 137 u padavinama i životinjskim kostima. IV jugoslovenski simpozijum iz radiološke zaštite. B. Polje (1969)

# ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA KOMPLEKSNOG SKUPLJAČA JODA NAMENJENOG KONTROLI RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE VAZDUHA

PATIĆ D., JOVANOVIĆ dr O., SMILJANIĆ R.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Rezime

Napravljen je skupljač tipa "May pack" za uzimanje uzoraka u slučaju kontaminacije atmosfere radioaktivnim jodom. Ispitivane su karakteristike ovoga skupljača na osnovu uzoraka uzetih u prostoriji u kojoj se nalazi ćelija za proizvodnju joda-131. Merenjem aktivnosti aerosolnog filtra, bakarne žice, ugljem impregniranih filtara i aktivnog uglja od šljivinih koštica, odredjeno je procentualno učešće pojedinih oblika joda. Raspodela aktivnosti po komponentama skupljača omogućila je da se izvuku izvesni zaključci o osobinama pojedinih komponenata skupljača.

## U V O D

Umanjena efikasnost skupljača joda u realnim uslovima, u odnosu na laboratorijska ispitivanja, navela je niz autora da ispituju oblike u kojima se jod javlja u gasovitoj fazi, u koju je dospeo u obliku elementarne jodne pare. Veoma je teško precizirati sve oblike joda u kojima se on javlja kao kontaminant atmosfere, jer gradi različita stabilna jedinjenja i u principu može da bude prisutan u svakom fizičkom obliku i raznim hemijskim stanjima. Svi ovi oblici mogu se podeliti u dve grupe /9/ prema njihovim fizičkim stanjima, tj. prema načinu na koji se mogu hvatati:

- aerosolni jod (frakcija koja se zadržava na aerosolnim filtrima)
- gasoviti jod (frakcija koja se hvata adsorpcijom)

Aerosolnu frakciju predstavlja čvrst jod i jod adsorbovan na aerosolima. Obilnost ove frakcije zavisi od prirode

aerosola u gasnom efluentu.

Gasovitu frakciju, koja je od prvostepenog značaja, čine različiti gasoviti oblici joda, kao što su: elementarna jodna para, jodovodonik, metiljodid i njegova homologe, kao i neidentifikovana organska jedinjenja joda velike molekulske težine.

Koji će od ovih oblika joda u datim uslovima biti predominantan zavisiće od nečistoće atmosfere, vlažnosti, porekla joda i njegove koncentracije.

Da bi se odredio identitet pojedinih oblika joda neophodno je izvršiti njihovo frakcionisanje.[1,2,3,6,7]

Različiti oblici joda razdvajaju se na osnovu njihovog različitog ponašanja prema filtrima i apsorbujućim materijalima. Nijedna od metoda identifikacije nije u stanju da dâ nedvosmislen odgovor na pitanje o kome se jedinjenju joda radi, već samo sa odredjenom verovatnoćom indicira postojanje odredjenog oblika joda u g asnom efluentu. U većini slučajeva one se medjusobno dopunjuju.[4,5,8,10,11,12]

Osobina jodnih jedinjenja da se, u zavisnosti od različitih fizičkih i hemijskih stanja, različito ponašaju prema pojedinim apsorbentima, najčešće se koristi u nastojanjima da se izvrši njihovo zadržavanje i identifikacija.

Skupljač koji je 1962. godine konstruisao F.G.May[13,14] ("May pack"), trebalo je da omogući razdvajanje različitih oblika joda, sakupljanjem elementarne jodne pare na bakru, aerosolnog joda na visokoefikasnom membranom filtru, organskih jedinjenja velike molekulske težine na ugljem impregniranom filtru, a organskih jedinjenja manje molekulske težine na aktivnom uglju.

U idealnom slučaju svaka komponenta "May pack"-a trebalo bi da sa 100 % efikasnošću zadrži samo jedan oblik joda. Medjutim, u praksi se uvek jedan deo elementarne jodne pare zadržava i na aerosolnom filtru, a na ugljem impregniranom filtru zadržava se i deo hemijski manje aktivne komponente, koja bi trebalo da bude zadržana tek na aktivnom uglju.

## EKSPERIMENTALNI RAD

Predmet ovog rada bio je pravljenje i ispitivanje karakteristika kompleksnog skupljača za jod.

Odlučili smo da kao prvu varijantu skupljača napravimo skupljač tipa "May pack", sa sledećim komponentama:

1. Poelman-Schneider-ov plavi filtar
2. Bakarna žica*
3. Dva ugljem impregnirana filtra tipa ACG/B
4. Šest slojeva aktivnog uglja od šljivinih koštica, svaki debljine 0,5 cm.

Poelman-Schneider-ov plavi filtar korišćen je namerno u ovoj grupi eksperimenata za zadržavanje aerosolnog joda, jer se ovaj filtar kod nas koristi u rutinskoj kontroli zagadjenja atmosfere radioaktivnim aerosolima. Želeli smo da vidimo kakve su njegove mogućnosti da eventualno ukaže na kontaminaciju atmosfrere radioaktivnim jodom.

Aktivni ugalj od šljivinih koštica, prema podacima koji su nam poznati do sada nije korišćen za adsorpciju joda. Kako se on pokazao kao dobar adsorbent za neka gasovita jedinjenja, odabrali smo ga da bismo ispitali njegove osobine u odnosu na jodna jedinjenja.

### Uzimanje uzoraka

Da bismo ispitali karakteristike skupljača u realnim uslovima uzorci su uzimani u Laboratoriji za visoku aktivnost u kojoj je dolazilo do kontaminacije atmosfere radioaktivnim jodom pri normalnom radu. Uzimanje uzoraka vršeno je u toku procesa izdvajanja joda-131 iz ozračene telurne kiseline, kao i pri operaciji uklanjanja tečnih efluenata iz ćelije za proizvodnju.

---

* ubačena počev od eksperimenta br.4, od prvog do trećeg pokušalo se sa merenjem bakarnog prstena

Kontaminirani vazduh prolazio je kroz skupljač 20 minuta, pri čemu je čeona brzina na uglju bila stalna i jednaka 72 cm/sec.

U želji da raspodelu joda po komponentama skupljača u realnim uslovima uporedimo sa raspodelom u uslovima kada je predominantna komponenta elementarna jodna para, izvršeno je 4 eksperimenta sa visokim koncentracijama joda (pored joda-131 generisan je i jod-127). Realno je bilo očekivati da procenat elementarne jodne pare u ovim uslovima bude visok. Medjutim, ovi eksperimenti nisu dali očekivane rezultate, jer je analiza aktivnosti pokazala da su koncentracije joda bile velike tako da je dolazilo do zasićenja pojedinih komponenti jodom.

Kvantitativne analize

Kvantitativno merenje joda-131 vršeno je scintilacionim gama spektrometrom sa NaJ(Tl) 3"x3" (well type) i 100-kanalnim amplitudskim analizatorom. Količina joda-131 odredjena je preko fotopika energije 364 KeV-a.

Rezultati

U prvoj seriji eksperimenata koncentracija joda-131 kretala se od $9x10^{-11}$ do $7,8x10^{-9}$ $Ci/m^3$. Ove koncentracije proračunate su pod pretpostavkom da "May pack" zadržava sav jod, što nije u potpunosti tačno. Najveća koncentracija izmerena je u toku operacije uklanjanja tečnih efluenata iz ćelije ($7,8x10^{-9}$ $Ci/m^3$). Sve izmerene koncentracije bile su ispod MDK. Procenat joda-131 na pojedinim komponentama "May pack"-a dat je u tablici 1.

Količina joda-131 zadržana na bakarnoj žici ne može se uzeti kao referentna za količinu elementarne jodne pare, pošto sa nje nije bio potpuno uklonjen bakar oksid koji sprečava adsorpciju joda na bakru. Zbog toga ćemo, pri analizi dobijenih podataka, smatrati da je elementarni jod u potpunosti zadržan na bakarnoj žici i prvom ACG/B filtru /17/.

Efikasnost Poelman-Schneider-ovog plavog filtra za prirodno radioaktivne aerosole, odredjena metodom dva filtra,

iznosi 70 %. Ovu vrednost uzeli smo pri proračunavanju aerosolnog joda, a za ostatak pretpostavili smo da će se zadržati na prvom ACG/B filtru. Pretpostavljamo je takodje da je depozicija elementarne jodne pare na korišćenom aerosolnom filtru zanemariva.

Pri proračunu količine manje prodornih jedinjenja joda koristili smo podatak da je efikasnost ACG/B filtra za ova jedinjenja 40 % /16/; takodje smo pretpostavili da je količina prodornijih jedinjenja na ovim filtrima mala /15/, te se može zanemariti. Ovakvim rezonovanjem uspeli smo da proračunamo procentualno učešće pojedinih komponenata joda u svim uzorcima. U tablici 2. dato je procentualno učešće pojedinih komponenti u smeši.

Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da se procenat aerosolnog joda kretao od vrednosti koja upada u granicu fona pa do 24 %. Procenat molekularnog joda kretao se od 1,4 % do 49 %, manje prodorne komponente od 18 % do 50 %, a procenat prodornije komponente od 19 % do 80 %.

Procenat pojedinih komponenata varirao je u širokom intervalu ali u većini eksperimenata procenat teško zadržive komponente bio je visok. Najveća vrednost za ovu komponentu dobijena je pri operaciji uklanjanja efluenata iz ćelije. Ovako visok procenat ukazuje da se radi o smeši koja je mogla izaći iz ćelije preko postojećih filtara, ili o relativno staroj smeši.

Koliko bi u ovim slučajevima bila neefikasna kontrola samo ugljem impregniranim filtrom pokazuje tablica 3. na kojoj je dato ukupno zadržavanje na aerosolnom filtru, bakarnoj žici i prvom ACG/B filtru. Sa ove tablice se vidi da bi od ukupno registrovane vrednosti na skupljaču na jednom ACG/B filtru bilo registrovano najviše od 9 % do 65 %.

Što se tiče efikasnosti pojedinih komponenata skupljača može se sa sigurnošću tvrditi, na osnovu odnosa aktivnosti na prvom i drugom ACG/B filtru, da još nije postignuta visoka

TAB.1

PROCENAT JODA NA POJEDINIM KOMPONENTAMA SKUPLJACA

| REDNI BROJ EKSP. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AEROSOLNI FILTAR | fon | fon | 7,8 | fon | fon | fon | fon | 16,8 | fon | 1,7 | 6,1 | 3,6 | 4,2 | 6,8 |
| BAKARNA ZICA | - | - | - | fon | fon | fon | fon | 1,8 | fon | 0,6 | fon | 1,2 | 0,8 | 4,3 |
| DVA ACG/B FILTRA | 18,5 | 24,0 | 42,0 | 29,0 | 33,4 | 26,7 | 13,5 | 42,2 | 40,5 | 51,3 | 44,3 | 66,1 | 35,1 | 57,1 |
| AKTIVNI UGALJ | 81,5 | 76,0 | 50,2 | 70,9 | 66,6 | 73,3 | 86,5 | 39,2 | 59,5 | 56,4 | 49,6 | 29,1 | 59,9 | 31,8 |

TAB.2

PROCENTUALNO UCESCE POJEDINIH KOMPONENTI U SMESI

| REDNI BROJ EKSP. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AEROSOLNI JOD | fon | fon | 11,3 | fon | fon | fon | fon | 23,9 | fon | 2,4 | 8,7 | 5,1 | 6,0 | 9,7 |
| MOLEKULARNI JOD | 2,6 | 2,4 | 8,9 | 11,8 | 1,4 | 10,2 | 1,5 | 20,1 | 19,2 | 19,2 | 22,8 | 49,0 | 22,3 | 34,3 |
| MANJE PROD.KOMP. | 24,9 | 33,9 | 45,7 | 26,9 | 50,1 | 25,9 | 18,8 | 27,2 | 33,2 | 49,8 | 29,2 | 26,1 | 18,3 | 37,1 |
| PRODORNIJA KOMP. | 72,5 | 63,7 | 34,1 | 61,3 | 48,5 | 63,9 | 79,7 | 28,8 | 47,6 | 28,6 | 39,3 | 19,8 | 53,4 | 18,9 |

TAB.3

UKUPNO ZADRZAVANJE NA AEROSOLNOM FILTRU + BAKARNA ZICA + ACG/B FILTAR

| REDNI BROJ EKSP. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| u % | 12,2 | 15,9 | 38,5 | 22,6 | 21,4 | 20,5 | 9,0 | 54,3 | 32,9 | 41,6 | 43,2 | 64,6 | 35,7 | 59,2 |

efikasnost (bliska 100 %) bakarne žice na elementarnu jodnu paru, što ukazuje na to da bakaroksid nije uklonjen. Ovu komponentu skupljača trebalo bi možda zameniti posrebrenom bakarnom žicom, koja po mišljenju nekih autora daje bolje rezultate.

Raspodela joda-131 po pojedinim slojevima aktivnog uglja, posle odbijanja manje prodorne komponente, za koju smo pretpostavili da biva zadržana na prvom cm aktivnog uglja, ukazuje da je efikasnost korišćenog aktivnog uglja od šljivinih koštica približno 60 % po 1 cm ugljenog sloja za prodorniju komponentu.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih eksperimenata može se zaključiti da napravljeni skupljač može da dâ podatke o kvantitativnom učešću pojedinih oblika joda u gasovitom efluentu.

Da bi se kvantitativno učešće pojedinih oblika joda preciznije odredilo potrebno je zameniti korišćeni aerosolni filtar efikasnijim, kao i poboljšati uklanjanje bakaroksida sa bakarne žice da bi se poboljšala efikasnost zadržavanja molekularnog joda. Eventualno treba razmotriti zamenu bakarne žice posrebrenom bakarnom ili srebrnom.

Dobijena efikasnost aktivnog uglja od šljivinih koštica, približno 60 %, ne razlikuje se od efikasnosti ostalih aktivnih ugljeva koji se koriste u ovu svrhu.


## Abstract

SOME PROPERTIES OF THE IODINE CHARACTERIZATION SAMPLER

A "May pack" sampler for separating and measuring the various forms of iodine present in the air is made in the Radiation Protection Laboratory of the Boris Kidrič Institute. The samples collected near the iodine-131 production cell are used for the determination of some characteristics of the sampler. By measuring the activity of the particular parts of the

sampler (aerosol filter, copper screen, charcoal-impregnated filter papers, granulated activated plum-charcoal) the different forms of iodine-131 are determined.

## LITERATURA


1. R.E. Adams and W.E.Browning,ORNL-CF-58-5-59,1968.
2. G.Chevalier, F.Billard, J.Pradel, CEA-2237, 1962.
3. C.W.Sill and J.K.Flygare, Health Physics, 2,261,1960.
4. G.W.Keilholtz and C.J.Barton, ORNL-NSIC-4.
5. W.B.Cottrell, et al. ORNL-NSIC-5, 1964.
6. A.W.Costlemen et al.CONF-650407, st.1118,1965.
7. S.J.Jodgers et al.CONF-650407, st.1204,1965.
8. W.E.Browning et al. CONF-650407,st.1131,1965.
9. F.Thal and G.Chevalier,CEA,serie "Bibliographies"N°64,1965.
10. W.E.Browning,ORNL-3483, june 30,1963.
11. D.A.Collins et al. CONF-650407, st.1196, 1965.
12. W.E.Browning, R.D.Ackey, ORNL-3691,1964.
13. J.B.Morris, et al. AERE-R-4114, 1962.
14. J.B.Morries, C.H.Rumary, AERE-R-4219, 1963.
15. R.E.Devis, J.M.E.Williams, AEEW-M 568, 1965.
16. J.F.Croft, R.S.Iles,R.E.Davis, AEEW-R-265, 1963.
17. D.S.Stevens,R.F.Hounam,AERE-M-1089, 1963.

# UKUPNA BETA - RADIOAKTIVNOST U VAZDUHU U PERIODU 1962 - 1968 GOD. U SR SRBIJI

VUKOTIĆ M., RADOVANOVIĆ R.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd

## Rezime

U radu su prezentirani rezultati merenja ukupne beta-radioaktivnosti atmosferskog vazduha u tri punkta na teritoriji SR Srbije: Beogradu, Zaječaru i Subotici (Palić).

Rezultati merenja pokazuju da su najveće koncentracije registrovane 1962. godine, sa tendencijom opadanja narednih godina.

## Uvod

Uzorci aerosola sakupljani su svakodnevno u ovom periodu u Beogradu, Subotici (Palić) i Zaječaru. U sva tri mesta uzorci su uzimani prosisavanjem vazduha kroz filtar u trajanju od 24 sata. Kao filtar korišćen je filtar "plavi" - bleu-firme "Poelman-Schneider". Efikasnost primenjenog filtra obradjena je metodom serijskog filtiranja i veoma je približna rezultatima koje daje Delonce (1).

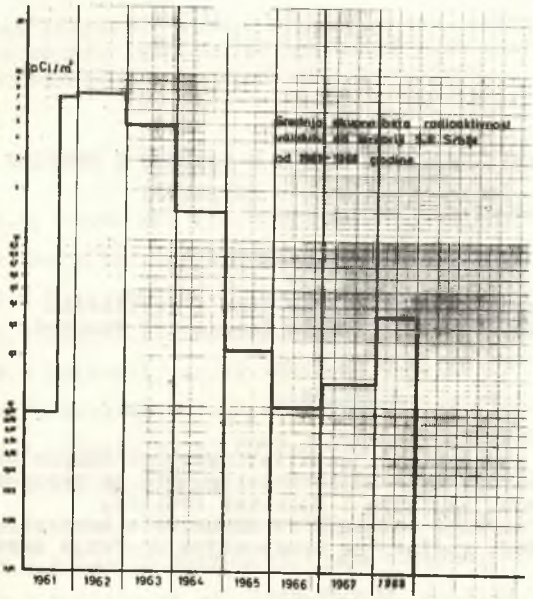
Kao standard korišćen je stroncijum-9o u ravnoteži sa itrijumom-9o i analogan je rešenju koje je usvojila Francuska služba za radiološku zaštitu (2).

Merenje ukupne beta-radioaktivnosti vršeno je za Beograd u pepelu filtra, a u uzorcima iz Subotice i Zaječara direktno sa celog filtra.

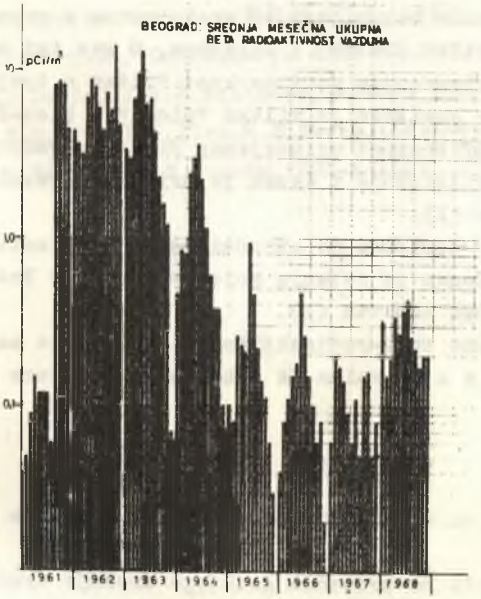
## Rezultati merenja

Sva merenja su vršena 12o časova posle uzimanja uzorka.

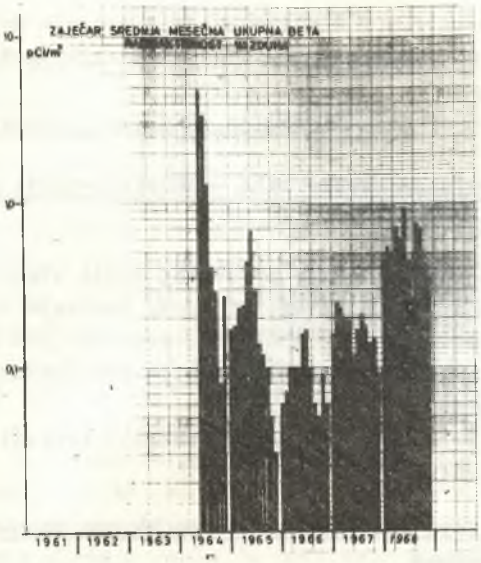
Na tab. 1 date su prosečne godišnje srednje vrednosti ukupne beta-radioaktivnosti u vazduhu na teritoriji SR.



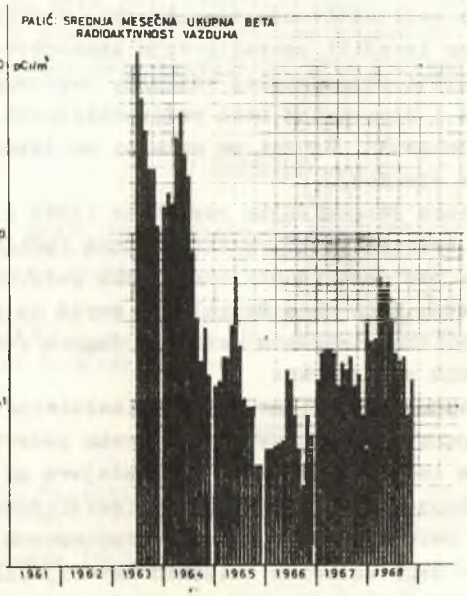

GRAFIK 1




GRAFIK 2




GRAFIK 3




GRAFIK 4

Srbije. Dijagrami 2,3 i 4 pretstavljaju srednje mesečne vrednosti za sva tri ova mesta u periodu 1962-1968 god.

## Diskusija rezultata i merenja

### a) Kretanje ukupne beta -radioaktivnosti od 1962 - 1968 god.

Trend kontaminacije prizemnog sloja atmosfere fisionim produktima u periodu 1962-1968 god. pokazuje stalno smanjenje ovih vrednosti. Tako u 1962 god. prosečna godišnja vrednost iznosila je 6,4 pCi/$m^3$, što pretstavlja maksimalnu vrednost za čitav ovaj period.

Najniža srednja godišnja vrednost iznosila je 0,11 pCi/$m^3$ - 1967 god.

### b) Uticaj sero-zagadjenja naUukupnu beta-radioaktivnost vazduha

U literaturi su dati podaci o uticaju sero-zagadjenja na ukupnu beta radioaktivnost atmosferskog vazduha (3).

Mi smo izvršili uporedjivanje koncentracija ukupne beta-radioaktivnosti atmosferskog vazduha, aerozagadjenja taložnim materijama i deponovane beta radioaktivnosti preko mesečnog fall-out-a u Beogradu. Uzorci su uzimani na istom mestu (Hidrometeorološka stanica).

Analizom dvogodišnjih rezultata (1967 i 1968 god.)merenja: ukupne beta radioaktivnosti vazduha (pCi/$m^3$), deponovane ukupne beta radioaktivnosti preko svih padavina (mCi/$km^2$/mes) i rezultata, koje daje Republički zavod za zdravstvenu zaštitu dnevne količine taložnih materija (mgr/$m^2$/dan) može se doći do sledećih zaključaka:

1. Ukupna specifična beta-radioaktivnost vazduha raste ukoliko deponovana radioaktivnost preko padavina opada a raste količina taložnih materija (5 slučajeva od 21).

2. Ukupna specifična beta radioaktivnost vazduha opada ukoliko se relativno više povećava deponovana radioaktivnost preko padavina nego količina taložnih materija,ili ako se deponovana aktivnost preko padavina povećava a količina taložnih materija smanjuje (6 slučajeva od 21).

3. Ukupna specifična beta radioaktivnost vazduha opada ukoliko je relativno smanjenje količine taložnih materija veće od relativnog smanjenja radioaktivnosti deponovane preko padavina (5 slučajeva od 21).

4. Ukupna specifična beta radioaktivnost vazduha raste ukoliko je relativno povećanje količine taložnih materija veće od relativnog povećanja deponovane radioaktivnosti preko padavina, ili ako je relativno opadanje deponovane radioaktivnosti preko padavina veće od relativnog opadanja količine taložnih materija (3 slučaja od 21).

5. U toku januara i aprila 1968 godine količina taložnih materija na ispitivanom mestu je opadala u odnosu na prethodne mesece, istovremeno je rasla količina deponovanih radioaktivnih materija preko padavina, a jednovremeno je došlo do povećanja radioaktivnosti vazduha, iz čega bi se dalo zaključiti da je u ovom slučaju došlo do povećanja globalne aktivnosti u atmosferi iznad Beograda.

Dakle sa ovim preliminarnim ispitivanjima može se pretpostaviti da, u suštini, povećana koncentracija taložnih materija uslovljava povećanje specifične beta radioaktivnosti vazduha.


## Summary

In the paper the results of the measurements of total beta radioactivity of atmospheric air in thres points on territory of SR Serbia: Beograd, Zaječar and Subotica (Palić) are presented.

The results of the measurements show the highest concentrations were registered on 1962 with a tendency towards decrease in next to come years.


## Literature


1. Delonce M.,G.Madeleine: Eteblissements de la granulometrie d'un aerosol par détection photoelectrique. Applications Seminaire de Physique des aérosols-Faculté des sciences de Paris. Année 1963-1964.

2. P. Pellerin, M.L. Remy, P. Evet et J.F. Moront: Premier bilan de sept année des Recherche sur les niveaux de la contamination du milieu ambiant et de la chaine alimentaire par les retombées radioactives sur le teritoire France. Bulletin de l'I.N.S.E.R. M.T. 22.No 2,pp.357-382.1967.

3. M.V. Kozlova i sar., : Gigijena i Sanitarija, God. 1968, br.3., str.45.

4. Elaborati radioaktivnosti životne sredine od 1962-1968 god. Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr Dragomir Karajović" Beograd

# MOGUĆNOST BRZE REGISTRACIJE RADIOAKTIVNIH PADAVINA U ATMOSFERI U PRISUSTVU PRIRODNIH RADIOAKTIVNIH ELEMENATA NA OSNOVU NJIHOVIH KRIVULJA RASPADA

## A. Teoretska razmatranja

BISTROVIĆ M., PICER M. i POPOVIĆ V.

Klinički bolnički centar, Zagreb, i Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

U toku postupka mjerenja faktor raspada F bilo da sadrži početnu vrijednost 1, ako kontaminacije fisionim produktima ima, bilo postane manji od 1, ako ovih produkata nema. Neka je F′rezultat jednog pojedinačnog mjerenja. Autori pokušavaju naći, koliko neki mjereni F′ može da da pozitivan odgovor na pitanje "IMA LI FISIONIH PRODUKATA U ATMOSFERI?"

Rezultati mnogih mjernih postupaka F′-ovi, normalno se rasporeduju oko F, ili oko 1, ovisno o tome da li je DA ili NE odgovor na pitanje DA LI IMA. Pomoću dviju funkcija distribucije DA(F′) i NE(F′) definira se funkcija pouzdanosti R(F′) ovako:

$$R(F') = DA(F') / NE(F')$$

gdje je F′ neki pojedinačni rezultat jednog mjerenja. Funkcija R(F′) ima eksponencijalnu formu i za svaki F′ nam kaže koliko je odgovor DA vjerojatniji od odgovora NE. Funkcija R(F′) se superponira multiplikativno, tako da dva uzastopna rezultata $F_1'$ i $F_2'$ daju $R = R(F_1') \times R(F_2')$.

Autori također pokušavaju procijeniti eksperimentalne uvjete za najkraće trajanje mjernog postupka.

### Funkcija pouzdanosti

Za otkrivanje zagađenosti atmosfere fisionim produktima na temelju fenomena radioaktivnog raspada, potrebno je određeno vrijeme da bi se bar s nekom pouzdanošću moglo reći postoji li ona ili ne. Jer treba izvršiti dva brojenja u okolišu dva distantna časa.

U principu bi se otkrivanje fisionih produkata temeljilo na slijedećem postupku:

Prirodni zrak sadrži određenu količinu radioaktivnosti koja se propumpavanjem može retenirati na filtrir papiru. Ako je početna radioaktivnost 1, nakon nekog vremena ona će biti "teoretski faktor raspada" F 1. Vrijeme poluraspada prirodne radioaktivnosti je 36 min. Fisioni produkti imaju vrijeme poluraspada naj-

manje Th neposredno nakon eksplozije, a poslije i dulje. To znači da je u vremenu od pola sata njihova aktivnost praktički konstantna. Sada, dva uzastopna brojenja u dva jednaka vremenska intervala u okolišu časova $T_1$ i $T_2$ broje $N_1$ i $N_2$. Stavljeni u omjer oni daju "mjereni faktor raspada":

$$F' = \frac{N_2}{N_1}$$

Veliki broj ovako izmjerenih F′ normalno se raspodjeljuje oko F, ako fisonih produkata nema na filtrir papiru. Naprotiv, oni će se raspodijeliti oko 1 ako ih ima. U prvom slučaju funkcija raspodjele je NE(F′), a u drugom DA(F′).

Pošto nam je u interesu da do odgovora DA ili NE dođemo što brže, ne dolazi u obzir da vršimo statistiku velikog broja F′, već tražimo odgovor na pitanje, kolikom pouzdanošću možemo odgovoriti DA ili NE na temelju jednog ili dva pojedinačna mjerena faktora F′.

Prirodno se mjerilom pouzdanosti nameće omjer DA/NE između

- mogućnosti da se kaže DA i
- mogućnosti da se kaže NE.

Taj je omjer očito jednak omjeru funkcija DA(F′) i NE(F′), a taj ćemo omjer nazvati funkcijom pouzdanosti P(F′)

$$P(F') = DA(F') / NE(F')$$

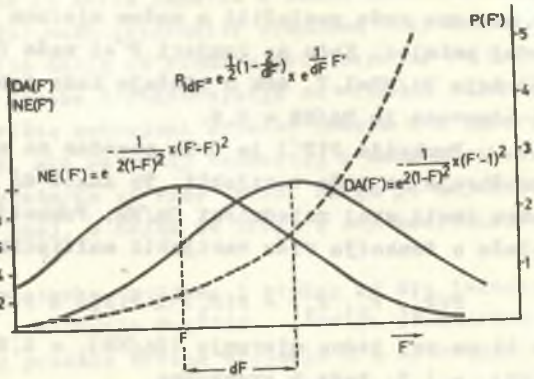
Međutim, pojedinačni rezultat F′ treba da ima bar određeni minimalni smisao. Stoga razmak između dvije sredine intervala vremena u kojima se broji mora biti dovoljno velik, tako da teoretski faktor F bude bar za jednu standardnu devijaciju manji od 1

$$F = 1 - dF.$$

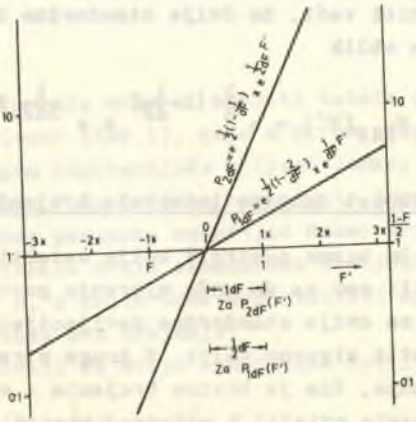
$$NE(F') = e^{-\frac{1}{2(1-F)^2} \times (F'-F)^2}$$

$$DA(F') = e^{-\frac{1}{2(1-F)^2} \times (F'-1)^2}$$

$$P_{1dF}(F') = e^{\frac{1}{2}\left(1-\frac{2}{dF}\right)} \times e^{\frac{1}{dF}F'}$$




Slika 1




Slika 2

Funkcija pouzdanosti $P(F')$ je eksponencijalna funkcija u $F'$, a za jednu standardnu devijaciju $F = 1 - dF$ je dosta položena. Koliko nam ona može poslužiti u našem mjernom postupku, neka pokaže ovaj primjer. Kada se izmjeri $F'=1$ naša funkcija pouzdanosti $P(F')$ daje DA/NE=1.7, dok u slučaju kada ispadne $F' = F$, pouzdanost odgovora je DA/NE = 0.6.

Funkcija $P(F')$ je vrlo pogodna za naše svrhe, jer se lako proširuje na više varijabli. To znači da i dva i tri mjerena $F'$ mogu imati svoj zajednički DA/NE. Funkcija pouzdanosti $P(F')$ se slaže u funkciju više varijabli multiplikativno

$$P(F_1', F_2', F_3') = P(F_1') \times P(F_2') \times P(F_3').$$

Dade li na pr. jedno mjerenje $(DA/NE)_1 = 1.5$, a drugo mjerenje $(DA/NE)_2 = 1.2$, tada je sveukupno

$$(DA/NE)_{sv} = (DA/NE)_1 \times (DA/NE)_2 = 1.5 \times 1.2 = 1.8.$$

Funkcija pouzdanosti $P(F')$ za jednu standardnu devijaciju $F=1-dF$ pokazuje slabu selektivnost između odgovora DA i NE. Za dvije a i više standardnih devijacija selektivnost je sve oštrija (sl.2), no naravno razmak između dva intervala brojenja mora sada biti veći. Za dvije standardne devijacije funkcija pouzdanosti ima oblik

$$P_{2dF}(F') = e^{\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{dF}\right)} \times e^{\frac{1}{2dF}F'}$$

## Ovisnost duljine intervala brojenja o brzini brojenja A

Da bismo postigli bolju selektivnost našeg odgovora DA i NE odlučili smo se da naša mjerenja provodimo tako da nam se F smanjuje za dvije standardne devijacije: $F=1-2dF$. Vrijeme brojenja će sada biti sigurno dulje. S druge strane standardna devijacija je tim manja, čim je brzina brojenja A veća. Pa će zbog toga vrijeme brojenja ovisiti o početnoj brzini brojenja, i to tako da je to vrijeme kraće, kada je brzina brojenja A veća. Uz veću brzinu brojenja štedimo na trajanju mjernog postupka, ako ne želimo da se F smanji za više od dvije standardne devijacije. Preostaje još pitanje, što da se učini s nebrojenim prostorom između dva intervala brojenja.

Može se pokazati čisto matematskim putem, da se brzina brojenja A, izračunata iz broja impulsa u nekom intervalu vremena s velikom tačnošću (2%) može pridružiti srednjem času intervala brojenja, ako ovaj nije dulji od vremena poluraspada. No naša će brojenja uvijek biti daleko kratkotrajnija od vremena poluraspada $T_{1/2}$, te s tog stanovišta nebrojeni prostor između dva intervala brojenja ide na uštrb, ako ne većoj tačnosti, a onda kratkotrajnosti čitavog mjernog postupka et vice versa. Stoga je najekonomičniji mjerni postupak onaj, u kojem se broji u dva susjedna vremenska intervala.

Uz ove pretpostavke, vrijeme t svakog od dva jednaka susjedna intervala, sa postizanje F=1-2dF - dvije standardne devijacije, ovisi samo od početne brzine brojenja A i od vremena poluraspada $T_{1/2}$. Aproksimativna kalkulacija daje slijedeću ovisnost:

$$t = \sqrt[3]{4}\ \sqrt[3]{\left(\frac{T_{1/2}}{\ln 2}\right)^2} \times \frac{1}{\sqrt[3]{A}}$$

što za naš slučaj $T_{1/2}$ = 36 min daje

$$t = 22.2\ \frac{1}{\sqrt[3]{A}}$$

Na temelju ove formule može se složiti tabela za dvije standardne devijacije F=1-2dF (tab.1), gdje u prvom stupcu stoje brzine brojenja A, u drugom odgovarajuće vrijeme jednog brojenja t i u trećem teoretski faktor F za vrijeme raspada t. Pomoću ove tabele već na početku mjernog postupka unaprijed znamo vrijeme brojenja t potrebne za postizanje dvije standardne devijacije, a također i teoretski faktor F, s kojim ćemo usporedivati mjereni faktor F′ izračunat iz podataka dva brojenja.

Funkcija pouzdanosti za dvije standardne devijacije se

$$P_{2dF}(F') = e^{\frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{dF}\right)} \times e^{\frac{1}{2dF} F'}$$

isto dade utabličiti za razne vrijednosti teoretskog faktora F (tab.2). Znajući F i F′ iz ove tabele možemo očitati omjer DA/NE.

TAB. br. 1

Tabela odgovarajućih brzina brojenja, vremena brojenja za dF i faktora raspada

| A imp/min | t min | F |
|---|---|---|
| 400 | 3·0 | 0·95 |
| 300 | 3·3 | 0·94 |
| 200 | 3·8 | 0·93 |
| 100 | 4·8 | 0·91 |
| 90 | 5·0 | 0·91 |
| 80 | 5·2 | 0·91 |
| 70 | 5·4 | 0·91 |
| 60 | 5·7 | 0·90 |
| 50 | 6·0 | 0·90 |
| 40 | 6·5 | 0·90 |
| 30 | 7·1 | 0·89 |
| 20 | 8·2 | 0·88 |
| 10 | 10·3 | 0·86 |
| 9 | 10·6 | 0·82 |
| 8 | 11·0 | 0·81 |
| 7 | 11·6 | 0·80 |
| 6 | 12·2 | 0·79 |
| 5 | 13·0 | 0·78 |

TAB. br. 2

Tabela vrijednosti funkcije pouzdanosti DA/NE

| F / F′ | ·750 | ·800 | ·850 | ·900 | ·950 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0·600 | ·012 | ·002 | | | |
| 0·650 | ·027 | ·006 | | | |
| 0·700 | ·060 | ·018 | ·003 | | |
| 0·750 | ·135 | ·05 | ·01 | | |
| 0·800 | ·32 | ·135 | ·036 | 0·003 | |
| 0·850 | ·68 | ·38 | ·13 | 0·018 | ·001 |
| 0·900 | 1·6 | 1·0 | ·54 | ·135 | ·03 |
| 0·950 | 3·4 | 2·90 | 2·0 | 1·0 | ·135 |
| 1·000 | 7·5 | 7·5 | 7·5 | 7·5 | 7·5 |
| 1.050 | 18 | 21 | 32 | 54 | 400 |
| 1.100 | 40 | 60 | 100 | 400 | |
| 1.150 | 80 | 200 | 300 | | |
| 1.200 | 300 | 600 | 400 | | |

## Postupak mjerenja

Na temelju gornjih razmatranja možemo preporučiti slijedeći redoslijed operacija u mjernom postupku:

1. Pumpanjem nanesemo radioaktivni sadržaj zraka na filtrir papir.

2. Brojimo impulse i nakon tačno jedne minute očitamo broj impulsa A, npr. A=50. Brzo s tab.1 čitamo odgovarajuće vrijeme brojenja t-6 min, i teoretski faktor F=0.90.

3. Bez prekida brojenje produžimo do ukupno 6 min i zapišemo broj impulsa npr. $N_1$=290. Smjesta bez prekida počinjemo s brojenjem u idućem 6-minutnom intervalu, koje broji $N_2$=250 impulsa.

4. Izračunamo $F'=N_2/N_1$ = 0.79. Za F=0.90 i F'=0.79 očitavamo iz tab.2 $(DA/NE)_1$=0.003, što znači da se odgovor DA prema odgovoru NE odnosi kao DA : NE = 3 : 1000.

5. Ako treba ponavljamo čitav postupak, koji na kraju daje rezultat npr. $(DA/NE)_2$ = 0.68.

6. Izračunavamo sveukupni odnos

$$(DA/NE)_{sv} = 0.003 \times 0.68 = 0.00204,$$

tako da se sada DA prema NE odnosi kao 2 : 1000.

## Zaključak

Gore navedene dvije tabele moraju se provjeriti praktičnim mjerenjima. Eventualni bi rezultati nekonsistentni s teorijom mogli ukazivati na potrebne izmjene u gornjim postavkama. Jedna od ovih izmjena moglo bi da bude proširenje na više standardnih devijacija. Nije isključena niti mogućnost da F' nije normalno raspodijeljen oko F. Posljednji slučaj mogao bi se i očekivati, pošto F' ne može biti nula, a niti negativan. Ako se ne bi mogla naći adekvatna analitički izraziva raspodjela, onda bi se ona na temelju velikog broja mjerenja trebala eksperimentalno odrediti. I druge bi izmjene mogle doći u obzir. Gornja razmatranja imaju intenciju tek da odrede, koliko teorijski činioci u jednu ruku već unaprijed ograničavaju tačnost mjerenja, a u drugu, koliko mogu da olakšaju određivanje optimalnih uvjeta mjernog postupka.

## Summary

### A POSSIBILITY OF FAST DETERMINATION OF RADIOACTIVE FALL-OUT IN THE ATMOSPHERE IN THE PRESENCE OF NATURAL RADIOACTIVE ELEMENTS ON THE BASIS OF THEIR DECAY CURVES

### A. Theoretical Considerations

During the measuring procedure the decay factor F either retains its initial value 1, if fission product contaminations exists, or becomes less than 1, if the contamination does not exist. Let F′ be the result of one individual measuring procedure. The authors are trying to find out to what extent a measured F′ can give a positive answer to the question "Are there fission products in the atmosphere?"

The results of many measuring procedures F′ are normally distributed either around F or around 1, depending on whether YES or NO is the answer. By means of two distribution functions YES (F′) and NO (F′) the function of reliability R (F′) is defined as

$$R(F') = YES(F') \;/\; NO(F')$$

where F′ is any individual result of one measuring procedure. The function R(F′) has the exponential form, and for each F′ provides information about how many times the YES answer is more probable than the NO answer. The function R(F′) is superposed multiplicatively, two successive results $F_1'$ and $F_2'$ thus giving $R=R(F_1') \times R(F_2')$.

The authors also try to evaluate the experimental conditions for the shortest measuring time.

# MOGUĆNOST BRZE REGISTRACIJE RADIOAKTIVNIH PADAVINA U ATMOSFERI U PRISUSTVU PRIRODNIH RADIOAKTIVNIH ELEMENATA NA OSNOVU NJIHOVIH KRIVULJA RASPADA

## B. Eksperimentalna provjera teoretskih razmatranja

POPOVIĆ V., PICER M. i BISTROVIĆ M.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb, i Klinički bolnički centar, Zagreb

Radi evaluacije teoretskih razmatranja prikazanih u prethodnom članku vršena su mjerenja početne radioaktivnosti i praćen je radioaktivni raspad smjese prirodnih radionuklida reteniranih na filtrir papiru nakon prosisavanja izvjesne količine zraka kroz filtrirajući sistem.

Na temelju dobivenih rezultata mjerenja diskutiran je utjecaj vremena prosisavanja, brojenja i razmaka između pojedinih brojenja te nivo prirodne radioaktivnosti na duljinu i tačnost metode brze detekcije svježih radioaktivnih padavina u atmosferi. Dobiveni rezultati mjerenja uspoređeni su sa rezultatima teoretskih razmatranja.

## Uvod

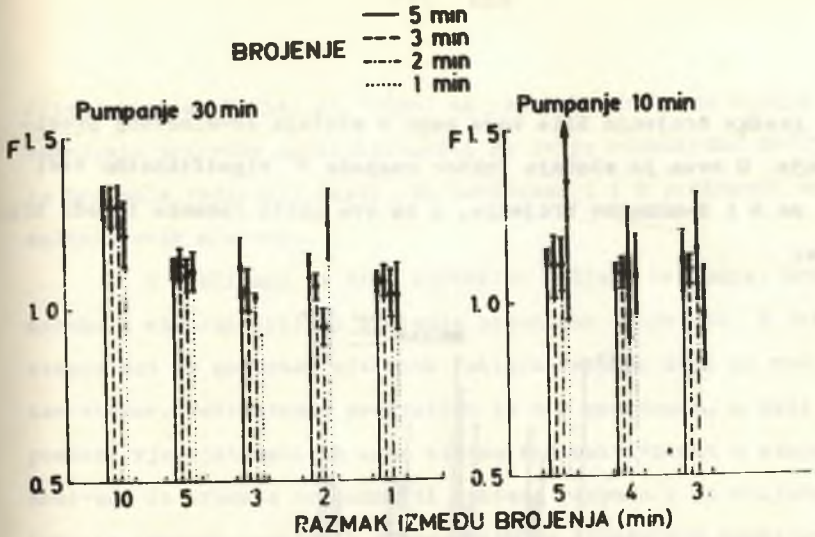
Brza detekcija ukupne beta radioaktivnosti u zraku kao posljedica nuklearne eksplozije otežana je prisustvom prirodnih radioaktivnih elemenata u ispitivanoj sredini. U prethodnim našim ispitivanjima (1, 2, 3) istražene su među ostalim i krivulje raspada prirodne beta radioaktivnosti radionuklida reteniranih na filtrir papiru dobivenih prosisavanjem izvjesne količine zraka. Ispitivana je ovisnost krivulje raspada o raznim vremenskim uvjetima (vlažnost, temperatura, tlak zraka, opća vremenska situacija) i eksperimentalnim uvjetima (brzina prosisavanja, dužina prosisa-

vanja i vrsta filtrir papira). Kako su nađene prilično konstantne krivulje raspada kod svih uvjeta, to smo nastojali da iz razlika brzina raspada prirodne beta radioaktivnosti atmosfere te fisionih ili nekih drugih radioaktivnih produkata dademo metodu što brže detekcije kontaminacije atmosfere.

## Metodika, rezultati i diskusija

Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti zraka vršili smo na isti način kao što je već opisano u našim prethodnim radovima (1, 2, 3), osim što je prosisavanje zraka bilo kraće, i kretalo se od 2-30 min, a brojenje od 1-12 min. U ovim mjerenjima pratio se raspad beta radioaktivnosti prirodnih radionuklida, te se radioaktivnost mjerila u dva po duljini brojenja jednaka intervala. Odnos brzina brojenja u ta dva intervala nazvali smo "faktor raspada" F'. Faktor raspada, ako se dobije dijeljenjem broja impulsa u prvom intervalu brojenja s brojem impulsa u drugom intervalu zbog raspada prirodnih radioaktivnih elemenata morao bi biti $F' > 1$, a ukoliko je on statistički značajno manji od 1, onda to ukazuje na postojanje nekih drugih radionuklida u atmosferi. Međutim, ukoliko se uzme za faktor raspada obrnuti odnos, tj. F' se dobije dijeljenjem broja impulsa drugog intervala s prvim onda je $F' < 1$, te ukoliko je statistički značajno veći od 1, onda nam to ukazuje na radioaktivnu kontaminaciju atmosfere drugim izvorima osim prirodnih.

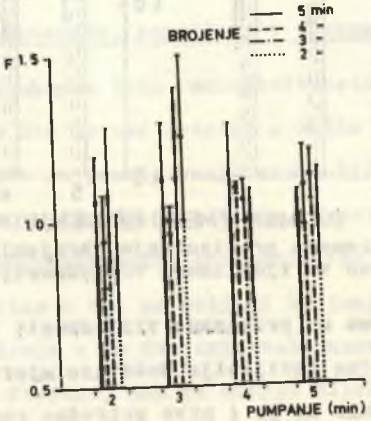
U preliminarnim ispitivanjima faktora raspada prirodne beta radioaktivnosti atmosfere istraživali smo utjecaj vremena prosisavanja, brojenja i razmaka između dva intervala brojenja na statističku signifikantnost faktora raspada. Na slikama 1 i 2 prikazani su rezultati ovih mjerenja.




Sl.1 Utjecaj vremena prosisavanja, brojenja i razmaka između brojenja na varijabilnost vrijednosti faktora raspada.

Na slikama su prikazane vrijednosti faktora raspada F' i njegove standardne devijacije dobivene mjerenjem 3 uzorka u 3 različita dana, tako da je i nivo prirodne radioaktivnosti za svaki uzorak različit. U ovim mjerenjima faktor raspada F' dobiven je omjerom broja impulsa prvog i drugog intervala brojenja, što znači da ukoliko nema povišene radioaktivnosti u atmosferi (što je sada slučaj) njegova vrijednost mora biti veća od 1. Na slici 1 vidimo da kod prosisavanja zraka 30 min, razmaka između prvog i drugog brojenja od 10 i 5 min, te prilikom brojenja 5,3, 2 i 1 minute F' je signifikantno veći od 1, što govori da u zraku ne postoji neka strana radioaktivnost, a što je u današnjim uvjetima istina. Međutim, smanjivanjem razmaka između brojenja na 3, 2 ili 1 minutu vidimo da je F' signifikantno veći od 1 samo pri brojenju od 5 min. U slučaju 5 min prosisavanja zraka uzeti su u obzir samo rezultati faktora raspada F' za razmake od 5, 4 i 3 min, jer su zbog manje početne radioaktivnosti na filtrir pa-

piru greške brojenja bile veće nego u slučaju 30-minutnog prosisavanja. U ovom je slučaju faktor raspada F′ signifikantno veći od 1 za 5 i 3-minutno brojenje, a za sve uzete razmake između brojenja.




Sl.2 Utjecaj vremena brojenja i prosisavanja na varijabilnost vrijednosti faktora raspada

Na slici 2 prikazane su srednje vrijednosti i standardne devijacije faktora raspada za razna vremena brojenja i prosisavanja, dok je razmak između dva brojenja konstantan i iznosi jednu minutu. Vidimo da je F′ signifikantno veći od 1 kod 5-minutnog pumpanja dva puta, 4-minutnog jednom, dok kod 3 i 2-minutnog pumpanja nije niti jednom.

Radi eksperimentalne provjere teoretskih razmatranja prikazanih u prethodnom izlaganju načinjen je čitav niz mjerenja faktora raspada za 5 i 10-minutno prosisavanje zraka. Prilikom tih mjerenja koristili smo se tablicom odnosa početne radioaktivnosti filtrir papira i optimalnog vremena brojenja. Ako je "t" optimalno vrijeme brojenja uzorak se brojio u t-1, t, t+1, 2(t-1), 2t i

2(t+1) minuta. Pokusi su rađeni za optimalno vrijeme t gdje je smanjenje prirodne radioaktivnosti za dvije standardne devijacije brojenja radioaktivnosti. Na tablicama 1 i 2 prikazani su rezultati ovih mjerenja.

U tablicama je dato optimalno vrijeme brojenja, broj uzoraka i stvarno vrijeme brojenja pojedinih intervala. U četvrtom stupcu dat je postotak mjerenih faktora raspada koji su veći od teoretskog. Peti stupac podijeljen je u 3 podstupca, a dati su postoci vjerojatnosti da nema strane radioaktivnosti u atmosferi dobivene iz srednje vrijednosti faktora raspada i za vrijednosti faktora raspada umanjenih i povećanih za standardnu devijaciju srednje vrijednosti faktora raspada.

TAB. br. 1

Faktor raspada i njegova varijabilnost za 5-minutno prosisavanje zraka

| Optimalno vrijeme brojenja min | Broj uzoraka | Vrijeme brojenja min | F(mjer.) > F(teor.)(%) | % "NE" | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $\bar{F}$ | $\bar{F}-\delta F$ | $\bar{F}+\delta F$ |
| 3,8 | 3 | 2,8 | 70 | 50,0 | 96,2 | 5,0 |
| | | 3,8 | 70 | 63,0 | 89,0 | 27,0 |
| | | 4,8 | 100 | 19,2 | 36,5 | 7,7 |
| 5,0 | 8 | 4,0 | 50 | 77,0 | 98,8 | 11,8 |
| | | 5,0 | 75 | 68,5 | 97,4 | 11,8 |
| | | 6,0 | 62 | 77,0 | 89,0 | 60,0 |
| 5,4 | 11 | 4,4 | 82 | 40,0 | 91,7 | 3,8 |
| | | 5,4 | 64 | 77,0 | 98,2 | 16,7 |
| | | 6,4 | 73 | 68,5 | 97,4 | 11,8 |
| 6,0 | 15 | 5,0 | 73 | 60,0 | 98,2 | 3,8 |
| | | 6,0 | 47 | 68,5 | 98,8 | 5,6 |
| | | 7,0 | 73 | 77,0 | 98,2 | 16,7 |
| 7,1 | 17 | 6,1 | 82 | 41,6 | 88,1 | 6,8 |
| | | 7,1 | 53 | 80,0 | 98,8 | 15,9 |
| | | 8,1 | 58 | 80,0 | 98.2 | 21,0 |
| 10,3 | 3 | 9,3 | 67 | 55,5 | 35,4 | 9,5 |
| | | 10,3 | 67 | 59,2 | 95,7 | 11,8 |
| | | 11,3 | 67 | 44,0 | 89,7 | 6,2 |

TAB. br. 2

Faktor raspada i njegova varijabilnost za 10-minutno prosisavanje zraka

| Optimalno vrijeme brojenja min | Broj uzoraka | Vrijeme brojenja min | F(mjer.) > F(teor.)(%) | % "NE" | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $\bar{F}$ | $\bar{F}-\sigma F$ | $\bar{F}+\sigma F$ |
| 3,0 | 2 | 2,0 | 50 | 99,0 | 99,9 | 88,1 |
| | | 3,0 | 50 | 93,5 | 99,9 | 0,5 |
| | | 4,0 | 50 | 88,1 | 96,9 | 66,7 |
| 3,8 | 40 | 2,8 | 72 | 50,0 | 99,9 | 1,8 |
| | | 3,8 | 60 | 80,0 | 99,7 | 3,4 |
| | | 4,8 | 70 | 80,0 | 98,2 | 21,0 |
| 5,0 | 9 | 4,0 | 78 | 77,0 | 96,2 | 31,2 |
| | | 5,0 | 44 | 91,7 | 99,2 | 50,0 |
| | | 6,0 | 67 | 83,4 | 91,2 | 16,7 |
| 5,4 | 6 | 4,4 | 33 | 77,0 | 98,2 | 16,7 |
| | | 5,4 | 83 | 68,5 | 94,4 | 42,3 |
| | | 6,4 | 67 | 68,5 | 98,8 | 5,6 |
| 6,0 | 6 | 5,0 | 50 | 68,5 | 99,5 | 2,4 |
| | | 6,0 | 50 | 91,7 | 99,9 | 16,7 |
| | | 7,0 | 50 | 88,1 | 99,7 | 16,7 |
| 7,1 | 8 | 6,1 | 50 | 80,0 | 95,7 | 41,6 |
| | | 7,1 | 62 | 80,0 | 98,2 | 21,0 |
| | | 8,1 | 37 | 91,2 | 98,8 | 58,9 |

Iz jedne i druge tabele vidimo da su u većini slučajeva mjereni faktori raspada veći od teoretskog (4 stupac). S obzirom na srednje vrijednosti faktora raspada postoci vjerojatnosti "NE" kod t-1 duljine brojenja idu od 25 do 84%-tne tvrdnje, u optimalnom vremenu brojenja t od 40 do 80%, u t+1 od 50 do 88% sigurnosti da nema nikakve druge radioaktivnosti u atmosferi osim prirodne. Slična je raspodjela i za 10-minutno prosisavanje zraka.

Pogledamo li općenito raspodjelu odgovora "NE" tj. uključujući i + standardnu devijaciju srednje vrijednosti faktora raspada vidimo da je rasap odgovora veoma velik, a kreće se u optimalnom vremenu brojenja od 0,5 do 99%-tne sigurnosti da nema povećanog nivoa radioaktivnosti.

## Zaključak

Kako nije opažena normalna raspodjela F′ oko tačke F, nego je pomaknuta u korist odgovora "DA" možemo zaključiti da se radi ili o normalnoj raspodjeli oko neke druge vrijednosti F, ili se uopće ne radi o normalnoj raspodjeli. Zato bi trebalo ispitati eksperimentalnim putem tačan F(t), te zatim na temelju statistike odgovora "NE" vidjeti o kakvoj se raspodjeli radi.


## Summary

A POSSIBILITY OF FAST DETERMINATION OF RADIOACTIVE FALL-OUT IN THE ATMOSPHERE IN THE PRESENCE OF NATURAL RADIOACTIVE ELEMENTS ON THE BASIS OF THEIR DECAY CURVES

### B. Experimental Checking of Theoretical Considerations

To evaluate theoretical considerations presented in the preceding article measurements of initial radioactivity were performed and decay of a mixture of natural radionuclides retained on filter paper after pumping a certain quantity of air through the filtering system was studied.

On the basis of the results obtained the effect of the duration of pumping and of intervals between the two successive countings as well as of the level of natural radioactivity on the length and accuracy of the method are discussed. The results of measurements are compared to the results of theoretical considerations.

## Literatura

1. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-3, 1967.

2. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-6, 1968.

3. POPOVIĆ V., PICER M., Mogućnost brze registracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata. III Simpozijum Merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizujućeg zračenja. Banja Luka, 1967. Zbornik materijala, str. 262.

# DISTRIBUCIJA Cs-137 i Sr-9o U PŠENICI I RAZNIM VRSTAMA HLEBA

RADOVANOVIĆ R., BRNOVIĆ R.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd

## Rezime

U ovom radu dat je pregled merenja koncentracija Cs-137 i Sr-9o u zrnima pšenice, raznim vrstama brašna i hleba, i mekinjama od iste.

Pri mlevenju pšenice utvrdjen je udeo pojedinih vrsta brašna, pa se merenjem koncentracije Cs-137 i Sr-9o u istim može pratiti distribucija ovih radionuklida.

Poznavanjem ove distribucije može se u izvesnom smislu uspostaviti opšti dekontaminacioni postupak za pšenicu kontaminiranu putem radioaktivnih padavina i ovim radionuklidima iz zemljišta, u toku rasta biljki.

## Uvod

Pšenica iz okoline Beograda roda 1967 i 1968 godine kontaminirana je u toku rasta sa Cs-137 i Sr-9o koji su se deponovali sa padavinama i sadržali u zemljištu. Proces ovakvog načina kontaminacije je veoma složen. Za razliku od eksperimentalnih uslova, koji se za ovakva proučavanja mogu postaviti, u ovom radu dati su rezultati koji proističu iz sve kompleksnosti prirodnih uslova, podrazumevajući pod tim i postojanje globalnih radioaktivnih padavina kao i sadržaj fisionih produkata Cs-137 i Sr-9o u zemljištu.

Verovatno je da nivo kontaminacije pšenice zavisi od dinamike deponovanja ovih izotopa sa padavinama u toku rasta biljke. Zbog toga, i mnogih drugih faktora kao što su količina padavina, mineralni sastav i vrsta zemljišta, temperatura i td., rezultati naših proučavanja u toku 1967 i 1968 godine, mogu biti samo mali prilog upoznavanju ovog problema.

## Metoda ispitivanja

Odredjivanje koncentracija Cs-137 i Sr-9o vršeno je u pšenici pripremljenoj za mlevenje koja je poticala iz okoline

Beograda. Posle njenog mlevenja odredjivana je koncentracija ovih izotopa u mekinjama i raznim vrstama hleba koji je dobijen od brašna te pšenice. U industrijskom načinu mlevenja i proizvodnje hleba udeli pojedinih vrsta brašna u 1 kg pšenice su praktično konstantni, kao i količina hleba koja se dobija od 1 kg brašna. U toku dvogodišnjeg ispitivanja izvršena su ukupno po četiri odredjivanja koncentracija Cs-137 i Sr-9o u delovima lanca: pšenica - mekinje - crni hleb - polubeli hleb - beli hleb.

Merenje koncentracije Cs-137 vršeno je gama-spektrometrijskom metodom, a merenje Sr-9o po posebnoj metodi za odredjivanja ovog izotopa gde je aluminijum služio kao nosač za Y-9o.

## Rezultati merenja

U tabeli 1 date su srednje vrednosti rezultata sve četiri grupe izvršenih merenja koncentracije Cs-137 u pšenici, mekinjama i raznim vrstama hleba u periodu 1967 - 1968 godine.

TAB. 1

Cs-137 u pšenici, mekinjama i raznim vrstama hleba (1967-1968)

| Naziv | pCi/kg | grK/kg | pCi/grK |
|---|---|---|---|
| Pšenica | 55,5 | 3,687 | 15,o |
| Mekinje | 145,o | 8,o72 | 17,9 |
| Crni hleb | 18,9 | 2,273 | 8,3 |
| Polubeli hleb | 14,9 | 1,5o7 | 9,9 |
| Beli hleb | 4,1 | 1,o47 | 3,9 |

U tabeli 2, pored podataka o sadržaju Cs-137 i K u jednom kg pšenice, dati su i podaci o sadržaju istih u mekinjama i raznim vrstama brašna koji potiču od jednog kg pšenice.

TAB. 2

Distribucija Cs-137 i K u pšenici, mekinjama i raznim vrstama brašna

| Naziv | Težina | pCi | % | grK | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Pšenica | 1 | 55,5 | 1oo | 3,687 | 1oo |
| Mekinje | o,2 | 39,1 | 7o,4 | 1,614 | 43,7 |
| Crno brašno | o,5 | 11,8 | 21,2 | 1,53o | 41,5 |
| Polubelo brašno | o,2 | 4,o | 7,2 | o,4o2 | 1o,8 |
| Belo brašno | o,1 | o,6 | 1,2 | o,141 | 4,o |

Na osnovu podataka iz tabele 2 vidi se da oko 7o% Cs-137 iz zrna pšenice odlazi u mekinje, dok oko 3o% odlazi u razne vrste brašna.

Kvalitativna raspodela Cs-137 odgovara raspodeli K, ali očigledno te raspodele nisu kvantitativno iste, jer u raznim vrstama brašna ostaje preko 56% od ukupnog kalijuma u zrnima pšenice.

Dakle, verovatno se radi o različitoj mikro distribuciji Cs-137 i K u samom zrnu pšenice.

U tabeli 3 date su srednje vrednosti rezultata sve četiri grupe izvršenih merenja koncentracija Sr-9o i Ca u pšenici, mekinjama i raznim vrstama hleba u periodu 1967 do 1968 godine.

TAB. 3

Sr-9o u pšenici, mekinjama i raznim vrstama hleba (1967 - 1968)

| Naziv | pCi/kg | grCa/kg | pCi/grCa |
|---|---|---|---|
| Pšenica | 34,47 | o,437 | 78,8 |
| Mekinje | 137,9o | 1,137 | 121,2 |
| Crni hleb | 7,31 | o,218 | 33,5 |
| Polu beli hleb | 6,55 | o,2o3 | 32,3 |
| Beli hleb | 5,36 | o,187 | 28,6 |

TAB. 4

Distribucija Sr-9o i Ca u mekinjama i raznim vrstama brašna od 1 kg pšenice

| Naziv | težina kg | pCi | % | grCa | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Pšenica | 1 | 34,47 | 1oo | o,437 | 1oo |
| Mekinje | o,2 | 27,58 | 8o,o | o,227 | 51,9 |
| Crno brašno | o,5 | 4,58 | 13,3 | o,136 | 31,2 |
| Polubelo brašno | o,2 | 1,64 | 4,7 | o,o51 | 11,7 |
| Belo brašno | o,1 | o,67 | 2,o | o,o23 | 5,2 |

Po podacima iz tabele 4 se vidi da oko 8o% Sr-9o iz pšenice odlazi sa mekinjama dok samo 2o% tog izotopa ostaje u raznim vrstama brašna, dok se u mekinjama sadrži oko 52% ukupnog Ca iz pšenice a u raznim vrstama brašna oko 48%.

## Diskusija rezultata merenja

Rezultati merenja koncentracija Cs-137 i Sr-9o dati u tabelama 1 i 3 ukazuju da se proces mlevenja zrna pšenice i odstranjivanje mekinja može smatrati kao dekontaminacioni postupak, kojim se postiže značajno smanjenje koncentracija ovog izotopa u hlebu.

Istina, tom prilikom dolazi i do značajnog smanjenja koncentracija K i Ca u hlebu, ali i sa stanovišta broja cezijumovih i stroncijumovih jedinica ovaj postupak se može smatrati dekontaminacionim.

Za ispitivano područje mogu se postaviti sledeće relacije za izračunavanje koncentracija Cs-137, broja cezijumovih jedinica, Sr-9o i broja stroncijumovih jedinica u raznim vrstama hleba, i u mekinjama, ako su navedene vrednosti poznate za pšeniou:

Kc = o,34 . Kp
Kpb = o,27 . Kp
Kb = o,o7 . Kp
Km = 2,61 . Kp

gde su Kc, Kpb, Kb i Km - koncentracije Cs-137 u crnom, polubelom, belom hlebu i mekinjama, a Kp koncentracija ovog izotopa u pšenici.
Na sličan način relacije za broj cezijumovih jedinica (pCi Cs-137/grK) su:

Bc = o,55. Bp
Bpb = o,66. Bp
Bm = 1,19. Bp

gde su: Bc, Bpb, Bb i Bm - brojevi cezijumovih jedinica u crnom, polubelom, belom hlebu i mekinjama, a Bp-broj cezijumovih jedinica u pšenici.

Iz gornjih relacija koje se odnose na crni i polubeli hleb može se videti različitost distribucije Cs-137 i K u zrnu pšenice. Bez obzira na nešto povećan broj Cs-jedinica u polubelom hlebu u odnosu na crni smatramo da je ipak radijaciono povoljniji za ishranu, s obzirom na manju koncentraciju Cs-137, a imajući u vidu ukupno unošenje K u ljudski organizam putem hrane.

Relacije koje pokazuju zavisnost koncentracije Sr-9o i broja stroncijumovih jedinica u raznim vrstama hleba i mekinjama od njihovih vrednosti u pšenici su sledeće:

Sc = o,212 . Sp
Spb = o,19o . Sp
Sb = o,155 . Sp
Sm = 4,o . Sp

gde su: Sc, Sbp, Sb i Sm - koncentracije Sr-9o u crnom, polubelom, belom hlebu i mekinjama, a Sp - koncentracija ovog izotopa u pšenici.

Na sličan način mogu se dobiti i relacije za sadržaj stroncijumovih jedinica.

Jc = o,425 . Jp
Jpb = o,4o9 . Jp
Jb = o,363 . Jp
Jm = 1,538 . Jp

## Zaključak

Sadržaj Cs-137 u kg belog hleba iz Beograda je za više od lo puta manji nego u 1 kg pšenice, dok je sadržaj Sr-9o u istom manji za oko 6 puta.

Ovakvo stanje uslovljeno je pretežnim deponovanjem ovih izotopa u mekinjama koje se odbaciju prilikom mlevenja, pa se ovaj tehnološki proces može smatrati i kao postupak dekontaminacije.

## Summary

DISTRIBUTION OF Cs 137 AND Sr 9o IN WHEAT AND VARIOUS SORTS OF BREAD. In this paper a revieq of the measurements of Cs 137 and Sr 9o concentrations in the grains of wheat,warious sorts of flour and bread, and bran was given.

At griding grains into flour a share of individual sorts of flour was estabilished, and bay measurement of Cs 137 and Sr 9o concentrations in it the distribution of chese radionuclides may be followed.

By knowledge of this distribution a general decontamination procedure for wheat contaminated by radioactive fallouts and these radionuclides from the soil during growth of the plants may be established in a certain sense.

# CEZIJUM-137 U PADAVINAMA I ŽIVOTINJSKIM KOSTIMA

RADOVANOVIĆ R.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd

## Rezime

U periodu od 1955 do 1968.godine u okolini Beograda deponovano je sa padavinama oko 82 mCi Cs-137/km$^2$. Najviše Cs-137 deponovano je 1963.godine (21,1 mCi/km$^2$).

Na osnovu merenja koncentracija ovog izotopa u mesu i životinjskim kostima u toku 1967 i 1968.godine njihov ustanovljeni odnos iznosi 1,1.

Najveća koncentracija Cs-137 izmerena je u dugim kostima krave (95,5 pCi/kg). Ustanovljeni diskriminacioni faktor (pCi/grK - kosti/pCi/grK-hrana) iznosi za krave 1,76-2,39.

## Uvod

Koncentracija Cs-137 u padavinama merena je u Beogradu od 1966.godine. Na osnovu podataka o merenjima ovog izotopa u padavinama na teritorijama SAD, Novog Zelanda, Čehoslovačke, Istočne Nemačke, Francuske, SSSR-a i Austrije, te na osnovu merenja koncentracije Sr-90 u padavinama na teritoriji Beograda od 1962. godine izvršena je procena godišnjeg deponovanja Cs-137 u okolini Beograda za period 1955-1966 godine (1). Ova procena proverena je merenjem sadržaja Cs-137 u zemljištu.
Na taj način došli smo do podatka da je u periodu od 1955 do 1966 u okolini Beograda deponovano ukupno oko 75 mCi Cs-137/km$^2$.

U toku 1966, 1967 i 1968 godine merenjem smo ustanovili da je deponovano, na istom terenu, novih 7,8 mCi Cs-137/km$^2$.

Prvi rezultati merenja koncentracije ovog izotopa u mesu i kostima od krava sa PK "Beograd" koje smo dobili 1966 godine ukazivali su da je sadržaj Cs-137 u kostima značajan, što je u izvesnoj meri otstupalo od tadašnjih literaturnih podataka. Imajući u vidu da je radiosetljivost koštane moždine veća od radiosetljivosti mišićnog tkiva u toku 1967 i 1968 godine nas-

tavili smo komparativna merenja koncentracije ovog izotopa u mesu, kostima i padavinama.

## Metoda merenja

Sva merenja vršena su gama - spektrometrijskom metodom. Kao gama-spektrometar korišćen je 400 kanalni analizator sa kristalom NaJ (Tl) prečnika 10 cm i visine 7,6 cm.

Kalibracija spektrometra proverena je sa standardima dobijenim od IAEA (set No 48 Code No. D-8), i standardom Ra-226 dobijenim iz SAD.

Uzorci mesa i kostiju spaljivani su na temperaturi koja nije bila veća od 400°C. Uzorci padavina uparavani su do suva.

Vodjeno je računa o samoapsorpciji gama zračenja u zavisnosti od specifične težine uzorka pepela. Vreme merenja uzoraka kretalo se od 5-15 časova. Merenja uzoraka mesa i kostiju vršena su nakon postizanja radioaktivne ravnoteže izmedju Ra-226 i njegovih potomaka.

## Rezultati merenja

U tabeli 1 dati su podaci o koncentraciji Cs-137 u padavinama u okolini Beograda. Najveća mesečna vrednost izmerena je u septembru 1967.godine.

TAB. 1

Cs-137 u padavinama u okolini Beograda

| Mesec | mCi/km2 | | |
|---|---|---|---|
| | 1966 | 1967 | 1968 |
| I | 0,178 | 0,192 | 0,067 |
| II | 0,100 | 0,269 | 0,113 |
| III | 0,455 | 0,188 | 0,105 |
| IV | 0,350 | 0,317 | 0,113 |
| V | 0,371 | 0,339 | 0,207 |
| VI | 0,592 | 0,120 | 0,168 |
| VII | 0,449 | 0,111 | 0,479 |
| VIII | 0,189 | 0,032 | 0,301 |
| IX | 0,081 | 0,648 | 0,172 |
| X | 0,041 | 0,047 | 0,060 |
| XI | 0,129 | 0,033 | 0,149 |
| XII | 0,376 | 0,142 | 0,132 |
| Ukupno | 3,311 | 2,438 | 2,066 |

U tabeli 2 date su izračunate vrednosti aktivnosti deponovanog Cs-137 sa padavinama u okolini Beograda u periodu od 1955 - 1965 godine.

Najveća godišnja vrednost izračunata je za 1963.godinu.

TAB. 2

Izračunate aktivnosti deponovanog Cs-137 preko padavina u okolini Beograda

| God. | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mCi/km$^2$ | 3,1 | 3,2 | 3,9 | 4,6 | 8,0 | 1,1 | 2,3 | 9,2 | 21,1 | 12,7 | 5,4 |

Napred navedene aktivnosti deponovanog Cs-137 preko padavina uslovile su da krave sa Poljoprivrednog kombinata "Beograd" u toku 1967 i 1968 godine sa hranom unose u organizam i ovaj izotop. Podaci o dnevnom unošenju Cs-137 u organizam krava sa PK "Beograd" dati su u tabeli 3.

TAB. 3

Dnevno unošenje Cs-137 u organizam krava sa hranom

| Godina | pCi/dan | grK/dan | pCi/grK |
|---|---|---|---|
| 1967 | 2740 | 136 | 20,2 |
| 1968 | 2163 | 115 | 18,8 |

Naglašavamo da postoje značajne razlike u dnevnom unošenju ovog izotopa u letnjem periodu (3396 pCi/dan, 2180 pCi/dan za letnji period 1967 i 1968.godine) i zimskom periodu (2085 pCi/dan i 2145 pCi/dan za zimski period 1967 i 1968.godine).

Podaci u tabeli 3 pretstavljaju srednje vrednosti za dan u toku godine.

Unošenjem preko hrane (koja se može praktično smatrati jedinim izvorom) u mesu i kostima krava uslovljen je sadržaj Cs-137. Izmerene koncentracije ovog izotopa u mesu i kostima krava i još nekih vrsta životinja date su u tabeli 4.

TAB. 4

Koncentracija Cs-137 u mesu i kostima
(1967 - 1968)

| Vrsta | Kosti | | | Meso | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pCi/kg | grK/kg | pCi/grK | pCi/kg | grK/kg | pCi/grK |
| Krave | 74,oo | 1,586 | 46,6 | 81,39 | 3,1o9 | 26,1 |
| Tele | 15,53 | 1,569 | 9,9 | 28,91 | 3,12o | 9,3 |
| Junе | 22,31 | 1,o98 | 2o,3 | 26,5o | 2,88o | 9,2 |
| Svinja | 64,56 | 1,31o | 49,2 | 51,o6 | 3,114 | 16,4 |
| Ovce | NM | NM | NM | 97,6o | 2,91o | 33,5 |

Rezultati u tabeli 4 koji se odnose na sadržaj Cs-137 u kostima predstavljaju srednje vrednosti za po najmanje 1o uzoraka kostiju (dve duge kosti, dva kosti skočnog zgloba, dva kosti rebra, dve kičmenog pršljena i dve kosti kolena).

Najveća koncentracija Cs-137 izmerena je u dugim kostima i rebrima kod svih vrsta životinja.

U dugim kostima krava izmerena je koncentracija od 64 pCi/grK, a u rebrima istih od 61,9 pCi/grK. Koncentracija Cs-137 u dugim kostima teladi i junadi je znatno niža nego kod krava, dok je maksimalna izmerena vrednost u dugim kostima svinja 67,4 pCi/grK.

## Diskusija rezultata merenja

Kretanje Cs-137 u lancu: padavine-stočna hrana-kosti je veoma složeno. Ceo proces je u suštini toliko složen da bi svako generalisanje dobijenih rezultata bilo pogrešno. Zbog toga u ovom radu i govorimo samo o "ustanovljenim vrednostima" koje su karakteristične za sredinu u kojoj su izmerene i za procese i specifičnosti te sredine, kako u pogledu dinamike deponovanja Cs-137 sa padavinama u toku godina, tako i u pogledu strukture ishrane, načina dobijanja stočne hrane itd.

Na osnovu podataka u tabelama 3 i 4 ustanovljeni su diskriminacioni faktori koji su dati u tabelama 5 i 6.

TAB. 5

Ustanovljeni diskriminacioni faktori za Cs-137

| Vrsta | pCiCs-137/kg mesa | pCiCs-137/kg kostiju | pCi/kg mesa |
|---|---|---|---|
| | pCiCs-137/dan | pCiCs-137/dan | pCi/kg kostiju |
| Krava | 0,0332 | 0,0302 | 1,099 |
| Tele | NU | NU | 1,861 |
| June | NU | NU | 1,187 |
| Svinja | NU | NU | 0,790 |

NU = nije ustanovljeno

Na osnovu podataka iz tabele 5 moglo bi se pretpostaviti da se Cs-137 unet sa hranom sporije deponuje u kostima nego u mesu goveda, ali da je efektivno vreme poluizvodjenja ovog izotopa iz kostiju dužo nego iz mekog tkiva.

Ustanovljeni diskriminacioni faktor za Cs-137 (meso: kosti) kod svinja je manji od jedinice. Očigledno je da odredjen značaj ima i vrsta životinja.

Diskriminacioni faktori navedeni u tabelama 5 i 6 ustanovljeni su u neravnotežnom stanju unošenja i izlučivanja Cs-137 čiji je nivo znatno niži od maksimalno moguće depozicije u organima životinja.

TAB. 6

Ustanovljeni diskriminacioni faktori za Cs-137/K

| Vrsta | pCiCs-137/grK mesa | pCiCs-137/grK kostiju | pCi/grK mesa |
|---|---|---|---|
| | pCiCs-137/grK u hrani | pCiCs-137/grK hrani | pCi/grK kosti |
| Krava | 1,35 | 2,37 | 0,56 |
| Tele | NU | NU | 0,84 |
| June | NU | NU | 0,45 |
| Svinja | NU | NU | 0,33 |

Buldakov i Moskaljev (2) navode da ovi faktori i ne zavise bitno od reda pCi do/uCi aktivnosti prema eksperimentalnim radovima.

Odnos deponovanih aktivnosti Cs-137 preko padavina u toku rasta biljaka koje se upotrebljavaju za hranu krava sa PK "Beograd" za 1967 i 1968.godinu iznosi 1,o9, dok odnos dnevno unetih aktivnosti Cs-137 u organizam krava sa hranom iste strukture i porekla iznosi za zimske periode ishrane1,o16. Dakle, u toku 1968 godine relativno više se smanjila deponovana aktivnost nego što se smanjilo dnevno unošenje Cs-137 u organizam krava u toku zime. Posmatranje zimskog perioda vršimo upravo zbog daleko veće stabilnosti strukture ishrane nego što je u toku leta.

Različiti trend opadanja gornjih vrednosti, rezultat je ranije deponovanog Cs-137 u zemljištu. Našim proučavanjima došli smo do zaključka da je u 1968.godini Cs-137 deponovan u zemljištu pre rasta biljaka koje se koriste kao hrana za krave sa PK "Beograd" bio odgovoran za oko 32% dnevno unete aktivnosti ovog izotopa u njihov organizam, a 1967 godine za oko 28%.

Povećanje odgovornosti Cs-137 deponovanog u zemljištu pre rasta biljki u nivou dnevnog unošenja ovog izotopa rezultat je trenda aktivnosti kumulativne depozicije istog, u zemljištu. Praktično tek zadnjih meseci 1968 godine u okolini Beograda dostignuto je stanje pri kome se fizičkim raspadom Cs-137 deponovanim u zemljištu više smanjuje njegova aktivnost nego što je aktivnost tog izotopa deponovana preko padavina.

Medjutim, 1 mCi/km$^2$ Cs-137 deponovan preko padavina u doba rasta biljaka uslovljava na terenu PK "Beograd" lo puta veće dnevno unošenje ovog izotopa u organizam krava, nego 1 mCi Cs-137 deponovan u toku prethodne dve godine u zemljištu ili oko loo puta veće dnevno unošenje, nego što uslovljava ista aktivnost deponovana u zemlju pre više od 5-6 godina. U svakom konkretnom slučaju ovo zavisi i od vrste biljaka u strukturi ishrane, vrste zemljišta, agro-mera, hidrometeoroloških uslova itd.

## Zaključak

Diskriminacioni faktori za Cs-137 (meso:kosti) kod životinja zavise od vrste životinja i njihove starosti.

Pri postojećoj strukturi ishrane i poreklu biljne hrane jedan mCi Cs-137/km$^2$ deponoan sa padavinama u toku rasta biljaka uslovljava koncentraciju ovog izotopa u kostima krava sa PK "Beograd" od oko 34 pCi/kg, odnosno oko 37 pCi/kg mesa.


## Summary

Cs-137 IN FALLOUT AND ANIMAL BONES. In the period from 1955 to 1968 about 82 mCi of Cs-137/km$^2$ was deponed with fallout in Belgrade suraundings. The most of Cs-137 was deponet in 1963 (21,1 mCi/km$^2$).

According to the measurement of this izotope concentrations in meat and animal bones during 1967 and 1968 their founded ratio amount to 1,1.

The highest concentration of Cs-137 was measured in the longbones of cows (95,5 pCi/kg).

Founded ciscrimination factor (pCi/grK-bones/pCi/grK-food) for cows is 1,76 - 2,39.


## Literatura


1. Radovanović R., Brnović R., Panov D.: Uticaj nuklearnih eksplozija na povećanje radioaktivne kontaminacije hrane stanovnika SR Srbije
V jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid (3o.IX - X 1968)

2. Buldakov A.L., Moskalev J.Ju: Problemi raspredelenija i eksperimentaljnoj ocenki dopustimih urovnej Cs-137, Sr-9o, Ru-1o6. Atomizdat. Moskva (1968)

# MERJENJE RADIOAKTIVNOSTI VODE IN ZRAKA PRI REAKTORJU TRIGA

Kristan J., Gabrovšek Z., Grgič M.
Nuklearni institut "Jožef Stefan"

Abstrakt

Nuklearni reaktor Triga nam kot reaktor z odprtim bazenom nudi edinstveno priliko za študij nastajanja in širjenja radioaktivnih snovi v vodi in zraku v reaktorju in njegovi okolici. Študiran je mehanizem nastajanja in izločanja izotopov Na-24, N-16 in Mg-27 v vodi. V zraku, v vseh odprtinah reaktorja pa nastaja A-41. Podane so primerjave med izračunanimi in izmerjenimi koncentracijami A-41. Opisana je naprava za umerjanje G.M. cevi za različne koncentracije A-41 v zraku in rezultati meritev pri Trigi.

## Uvod

Pri vsakem nuklearnem reaktorju se med normalnim obratovanjem odvijajo procesi in reakcije, ki povečujejo stopnjo sevanja v okolici reaktorja. Hladilna voda postaja vedno bolj radioaktivna, v atmosfero pa uhajajo radioaktivni plini in prah. Ti spremljajoči pojavi normalnega obratovanja so bili vedno velika skrb ljudi, zadolžene za varne pogoje dela ob reaktorju. Res, da je stopnja kontaminacije atmosfere in sevanje v okolico mnogo pod dovoljeno mejo, vendar bi ob posebnih pogojih mogle postati resen problem in ogrožati zdravje delavcev.

Zato je bil naš namen študirati procese nastajanja teh kontaminantov in predvideti izboljšane metode merjenja. Reaktor Triga, nam kot reaktor z odprtim vodnim bazenom nudi edinstveno priliko za študiranje teh pojavov.

## 1.) Radioaktivnost v hladilni vodi

Reaktorski bazen je napolnjen z 18,5 $m^3$ zelo čiste, demineralizirane vode, katere specifična prevodnost ne sme biti ve-

čja kot 2 $\mu$ S - ($2.10^{-6}$ $ohm^{-1}cm^{-1}$), oziroma specifična upornost manjša kot 500.000 ohm.cm. Voda mora biti nevtralna s pH med 6 in 7, da se čimbolj zmanjša korozija aluminijaste posode - tanka in drugih delov reaktorja.

Reaktorska sredica se nahaja 490 cm pod gladino vode, ki zmanjša gama sevanje iz sredice vsaj za faktor $10^8$. Voda s konvekcijo odvaja toploto iz sredice in se segreva. Potrebno jo je s črpalko cirkulirati preko toplotnega izmenjalca, filtra in čistilne kolone. Shema tega takozvanega primarnega krogotoka je nakazana na sliki št.1.

Čistilna kolona ali demineralizator (Ø = 37,5 cm, višina 93 cm) je polnjena s cca. 80 litri ionskega izmenjevalca Amberlita IRN 150, ki je mešanica anionsko in kationsko aktivne smole.

Reaktorska hladilna voda postaja med obratovanjem vedno bolj radioaktivna, ker so v njej raztopljeni korozijski produkti in plini. Največja radioaktivnost pa izvira od Na-24, ki nastaja vsled nuklearne reakcije med Al in hitrimi nevtroni.

Al-27 (n, $\alpha$) ——— Na-24

Pri tej reakciji, ki ima presek $\sigma$ = 130 mb so udeleženi samo hitri nevtroni, ki imajo energijo večjo kot 3,25 MeV. Fluks teh nevtronov je v območju sredice cca. $5,3.10^5$ $n/cm^2/s/W$. Na-24 ima razpolovno dobo $T_{1/2}$ = 15,0 ur in oddaja prodorno beta in gama sevanje:

beta: 1,39 MeV ——— 100%
gama: 1,37 MeV ——— 100%; 2,75 MeV ——— 100%

Radioaktivnost v tanku ne narašča v nedogled, temveč se že po cca. 10 urah vzpostavi ravnotežje, zaradi čiščenja vode v demineralizatorju, ki pobere ves Na-24 (in seveda tudi druge ione). Ker je pretok skozi izmenjalec cca. 2,3 $m^3$ vode/uro, se v 8 urah torej prečisti vsa voda.

Radioaktivnost vode smo merili večinoma z G.M. tekočinsko sondo s prostornino 5 ml, ali s scintilacijskim kristalom. Števce smo kalibrirali z raztopinami Na-24.

Hitrost štetja 1100 cpm na G.M. cevi odgovarja aktiv-

nosti 1 μCi/liter vode, kar predstavlja povprečno ravnotežno koncentracijo Na-24 pri obratovanju reaktorja na moči 25o kW.

Če računamo, da čistilna kolona odstrani v eni uri cca. 2,3 mCi Na-24, ga mora v reakterju prav toliko nastati v istem času, seveda če še vzamemo korekturo za razpadle atome v času zadrževanja v tanku (o,7) in predpostavko, da je voda dobro premešana.

V tanku nastaja torej 3,3 mCi Na-24 na uro, kar pomeni, da je v tem času šlo v raztopino:

$1,6.10^{11}$ atomov ali $7,2.10^{-12}$ g/uro.

Kakor vidimo, je korozija aluminijastih delov reaktorja zaradi te reakcije zanemarljiva.

Kakor je bilo že povedano, se ves Na nabira v demineralizatorju, ki sčasoma postane močno radioaktiven in je najbolj "vroče", nezaščiteno mesto ob rekatorju. Najvišja intenziteta doze na površini je bila izmerjena 1,1 R/uro; na 1 m razdalje pa 3o mR/uro.

Če vzamemo v račun oslabitev sevanja zaradi zaščite in absorbcije izmenjalca za 1/3 in Rhm faktor 1,84 - dobimo maksimalno nakopičeno količino: 78 mCi Na-24, kar se dobro ujema z izračunano količino po formuli za ravnotežno koncentracijo pri dovajanju 2,3 mCi Na-24 na uro.

$$\frac{dN}{dt} = P_{(produkcija)} - N\lambda$$

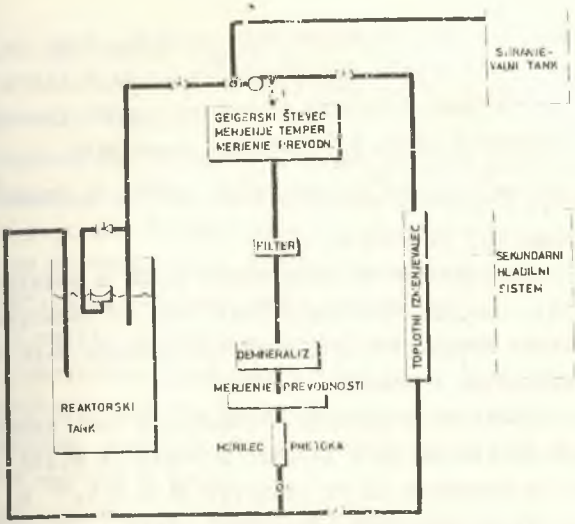
v ravnotežju je $\frac{dN}{dt} = 0$, zato je $N = \frac{P}{\lambda} = \frac{2,3.15}{o,693} = \underline{5o\ mCi}$

Ta rezultat je malo nižji od izmerjenega, ker so v vodi še drugi radioaktivni ioni, korozijski produkti.

V vodi, ki obdaja in hladi reaktorsko sredico se zaradi gama in nevtronskega sevanja dogajajo tudi drugi procesi in nuklearne reakcije, ki privedejo do povečanja radioaktivnih atomov in ionov v vodi.

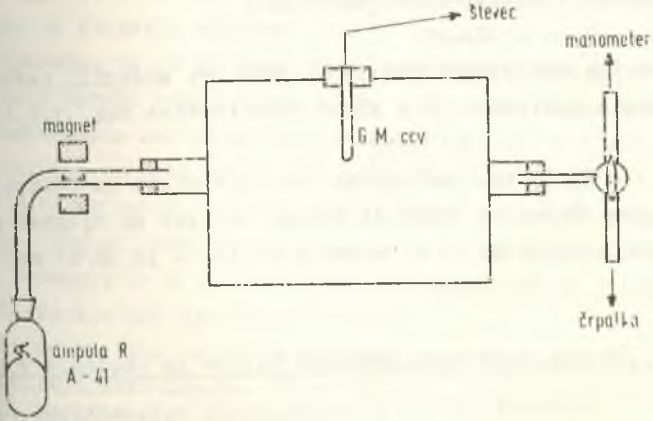
Najvažnejša reakcija je O-16 (n,p) s katero nastaja dušikov izotop N-16 z razpolovno dobo 7,3 sekunde.

Reakcija ima povprečni presek 4o mb in prag pri 1o,25 MeV. Tako energijo pa ima le $4,6.10^{-4}$ del vseh hitrih nevtronov.




Slika 1

VODNI SISTEM REAKTORJA




Slika 2

SISTEM ZA UMERJANJE G M CEVI

Če vzamemo, da je v najožjem delu sredice, kjer je fluks hitrih nevtronov pri 25o kW $2,5.10^{12} n/cm^2/s$ le 44,2 litra $H_2O$, v kateri je $3,3.10^{22}$ atomov O-16/ml, moremo po znanih formulah izračunati število atomov N-16/s, ki v sredici nastajajo

$$N/_s = 1,15.10^9.3,3.10^{22}.4,42.10^4.4.10^{-26} = 6,75.10^{10} \text{at. N-16/s},$$

kar je cca. 1,8 Ci N-16/s.

Ta rezultat se zelo dobro ujema s podstkom ($2,56.10^{11}$ at.N-16/s), kar so izračunali L.di Palo in sodelavci za njihov (2) 1 MW reaktor Triga. Po isti reakciji nastaja N-16 tudi iz kisika, ki je raztopljen v vodi.

Dušik N-16 nastaja v reaktorju tudi zaradi aktivacije izotopa N-15 (ki ga je v dušiku iz zraka le o,37%), s termičnimi nevtroni in presekom za to reakcijo $\sigma = 2.10^{-5}$ b.

Če iz podatkov približno izračunamo količino, vidimo, da ga nastaja le cca. $10^4$ at./s - kar je vsaj za faktor $10^6$ manj kakor pri nastajanju iz O-16, iz vode.

Med reakcijami, ki se dogajajo v reaktorski vodi oziroma na mejnih površinah , moramo omeniti reakcijo hitrih nevtronov z aluminijastimi deli reaktorja:

Al-27 (n,p) ——— Mg-27

ta reakcija ima presek 1oo mb in prag pri energiji nevtronov 5,5 MeV. Takih nevtronov je v ožjem delu sredice cca. $3,5.10^8$ $n/cm^2$. .s.kW.

Mg-27 ima razpolovno dobo 9,5 minut in oddaja močne beta in gama žarke. V zraku ga skoraj ni, pač pa njegovi gama žarki doprinesejo nekaj % k skupni dozi (2o - 3o mR/h) nad gladino vode.

## 2.) Nastajanje radioaktivnih plinov in uhajanje v atmosfero

Argon-41 (A-41) je najvažnejši radioaktivni plin, ki nastaja pri rednem obratovanju reaktorja in se v velikih količinah sprošča v atmosfero. Nastaja iz A-4o (99,6% v naravnem argonu), ki ga je 1,28 ut.% ali o,93 vol.% v zraku. A-4o (n,$\gamma$) - A-41, termalni presek za aktivacijo je o,53 b. A-41 ima razpolov-

no dobo 110 minut in oddaja žarke:

beta: 1,20 MeV ——— (99,1%) ; 2,49 MeV ——— (0,9%)

gama: 1,29 MeV ——— (99,1%).

Za dozimetrijo so važni predvsem njegovi beta žarki, ker te registriramo. K skupni dozi v oblaku pa največ prispevajo gama žarki. Ker je argon žlahtni plin, ne ostane v telesu, zato ni toliko nevaren za vdihavanje, kolikor je znatno zunanje obsevanje iz "oblaka", v katerem se ljudje zadržujejo.

A-41 v reaktorju nastaja v vseh odprtinah, kjer je velik fluks termalnih nevtronov, predvsem v vrtiljaku, pnevmatski pošti in v eksperimentalnih kanalih. Nekaj ga uhaja tudi iz gladine vode na vrhu reaktorja. Argon se namreč v vodi bolje topi in ga je v vodi relativno več kot v zraku.

Po podatkih General Atomic Division (1) je ravnotežna koncentracija A-41, ki se vzpostavi še po nekaj urah obratovanja - 7,5 µCi/ml zraka v delih, kjer je velik termalni fluks.

Ravnotežne količine pri moči 250 kW so: - v vrtiljaku 250 mCi, - v pnevmatski pošti 12 mCi, - v 4 kanalih do 125 mCi.

Argon iz vrtiljaka prosto uhaja v atmosfero, posebno pri vlaganju in dviganju vzorcev.

Vzamemo, da je volumen reaktorske hale 5.600 $m^3$ in da se zrak v hali zaradi ventilacije v eni uri 3 krat zamenja.

Maksimalna dopustna koncentracija za A-41 v zraku je $2.10^{-6}$ µCi/ml (za 40 urni teden, Ur.list SFRJ) in se ga sme v reaktorsko halo sprostiti le 33,5 mCi/uro - v vrtiljaku pa ga nastaja le cca. 100 mCi/uro. Torej vidimo, da bi to dopustno koncentracijo presegli le z izpihavanjem vrtiljaka, ne pa z rednim delom, manipulacije pri obsevanju vzorcev.

Iz pnevmatske pošte je speljana prezračevalna cev v kamin, iz ventilacijskih kanalov pa so odvodi preko ventilatorja prav tako v kamin.

Merili smo pretok zraka skozi ventilator in dobili pretok 13 $m^3$/uro, pri odprtih prezračevalnih ceveh, a le 0,6 $m^3$/uro pri zaprtih.

Da bi ugotovili, kolike količine A-41, ki se sprošča-

jo skozi ventilator, smo kalibrirali naše števce. V ta namen smo si zgradili komoro iz aluminija, ki ima volumen 24 litrov (Slika št.2). Komora ima odprtine za črpanje, dovajanje plina in za sondo - G.M. števec.

V reaktorju smo aktivirali A-4o (11,6 ml) pri znanem fluksu - jo priključili na komoro, razbili in posesali A-41 v komoro. Začetna količina je bila 235 µCi A-41 - t.j. 9,8 µCi/l.

Za meritve smo uporabljali: 1.) Mullard G.M. cev - tip MX115 s stekleno steno 375 mg/cm$^2$, ki je bila priključena na "Gelman" - Automatic Recording Radiation Rate Meter. Ves sistem je imel do 1oo µs mrtvega časa. 2.) 2o$^{th}$ Century Ltd. - G.M. cev B12H s stekleno steno 3o - 35 mg/cm$^2$. Cev je bila priklučena na "Airmac" - Radiation Monitor Type 225. Sistem je imel cca. 4oo µs mrtvega časa.

Umerjanje G.M. cevi:

| A-41 v µCi/l | Mullard v mR/h | 2o$^{th}$ Century v cps |
|---|---|---|
| 7,6 | 8,o | - |
| 1,97 | 2,8 | 158o |
| o,42 | - | 6oo |
| o,o137 | - | 3o |
| o,55.1o$^{-3}$ | - | 4 |

Korekture zaradi mrtvega časa smo izračunali, vendar v tabeli navajamo le dejanske odčitke z instrumentov, ker nam taki pri naših meritvah najbolj koristijo.

Kalibrirano komoro smo priključili v odvodni argonski sistem neposredno pred ventilatorjem.

Merili smo v ravnotežnem stanju A-41, t.j. po 22 urah med obratovanjem reaktorja na 25o kW. Izmerili smo 5,2 ± o,5 µCi/l zraka. Če računamo, da črpamo v kamin 3,6 l zraka/s, je skupni pretok 18,7 µCi/s, to je 1,6 Ci/dan.

Po znani formuli moremo izračunati ravnotežno količino A-41 v vseh praznih prostorih skupaj, ki torej znaša:

$$N_{41} = P/\lambda = \frac{18,7}{1,o6.1o^{-4}} = \underline{\underline{175\ mCi}}$$

Vidimo, da so rezultati le za 4o% višji, kakor so napovedali v priročniku G.A., ker je pač odvisno, koliko odprtin je priključenih na ventilacijski sistem.

Merili smo tudi A-41 v kaminu - zgoraj - neposredno preden se izpušča na prosto. Pod enakimi pogoji smo izmerili:

| | |
|---|---|
| 1 m globoko v kaminu | o,o15 µCi/l |
| o,5 m globoko v kaminu | o,o14 µCi/l |
| 1 m zunaj, v struji zraka | o,olo µCi/l |

Če dovajamo v kamin 5,2 µCi/l.s, se je pred izstopom razredčil za faktor $3,5.10^2$.

A-41 smo merili tudi z 1 litersko ionizacijsko celico in elektrometrom "Vacutronik". Merili smo ~~pre~~tok $2.10^{-12}$ A in izračunali, da je koncentracija A-41 pri moči 25o kW = 6,4 ± ± 1,2 µCi/l. Ta rezultat se dobro ujema z našimi prejšnjimi meritvami.


Summary

The open pool of the reactor Triga offers the unique possibility to study the production and dispersion of radioactive nuclides of the reactor's water and air and also in the surroundings of the reactor. The study of production and circulation of Na-24, N-16 and Mg-27 is given. A-41 is produced in the air in the all openings of the reactor. The calculated and measured quantities of A-41 are compared. An assembley for G.M. calibration with different concentrations of A-41 in the air and results of A-41 measurments at the Triga reactor are given.


Literatura


1. Gabrovšek Z.: Hazards Summary Report for the Triga Mark II Reactor at the Nuclear Institute Jožef Stefan in Ljubljana, NIJS Report R-474, 1966
2. Di Palo L. et al.: Progetto definitivo rapporto di sicurezza, Rc-1 - 1 MW, CNEN - 1966

# MOGUĆNOST PROIZVODNJE PARA RADIOAKTIVNOG JODA -131 U CILJU SIMULIRANJA ATMOSFERE KONTAMINIRANE JODOM-131

BRNOVIĆ R., RADOVANOVIĆ R., RANKOVIĆ M.

Institut za medicinu rada i radiološku
zaštitu "Dr Dragomir Karajović"-Beograd

## R e z i m e:

U cilju odredjivanja koncentracije joda-131 u biosferi i radnoj okolini, koji se javlja kao posledica različitih akcidentalnih slučajeva, potrebno je izvršiti niz eksperimenata apsorpcije, separacije i kvantitativne identifikacije ovog izotopa u zavisnosti od različitih fizičkih i hemijskih parametara.

Mogućnost da se izvrše navedena ispitivanja pruža nam sistem za proizvodnju para radioaktivnog joda-131, koji je realizovan tokom 1968. g. u našem Institutu.

Funkcionisanje sistema zasnivano je na oslobadjanju jodnih para reakcijom oksidacije jodida u jod sa natrijum nitritom u kiseloj sredini.

Pare joda se zatim vakum pumpom povlače u rezervoar u kome se akumuliraju i iz njega se izvode na različite apsorpcione sisteme.

## U v o d:

Količine radioaktivnog joda-131 koje se mogu naći u atmosferi u slučaju nuklearne eksplozije ili u nekom drugom akcidentnom slučaju su znatne, pa je i način njegove kvalitativne i kvantitativne detekcije vrlo značajan.

U tom cilju mi smo pokušali da realizujemo sistem za proizvodnju gasovitih formi joda-131, kako bi ispitali mogućnost njegove apsorpcije na različitim vrstama filtera na kojima bi on u konkretnom slučaju bio identifikovan.

Osnovnu ideju za konstrukciju sistema za proizvodnju para joda-131, koristili smo iz radova francuskih autora Billard F. i Pradel J. (1,2). Po njihovim podacima navedeni sistem je ispitivan u domenu visokih aktivnosti joda-131, koje odgovaraju koncentracijama ovog izotopa u gasnim efluentima reaktora (oko $10^{-3}$ Ci J-131/$m^3$).

Naš sistem konstruisan je tako da se mogu proizvoditi pare radioaktivnog joda 131 u svim praktično značajnim koncentracijama kakve se mogu očekivati u spoljnoj sredini u slučajevima akcidenata na reaktorima ili pri nuklearnim eksplozijama.

Ovaj sistem daje tehničke mogućnosti da se utvrdi efikasnost različitih absorbentnih materijala u pogledu zaustavljanja joda-131 u obliku gasova ili aerosolnih čestica.

## Opis aparature

Sistem za proizvodnju para radioaktivnog joda-131 (slika 1) sastoji se iz: dve posude A, balona B, rezervoara C, dela sistema za apsorpciju joda D, zaštitnih cedila E, vakuum pumpe F i rotametra R.

Posude A su od "Pyrex" stakla, zapremine 100 ccm. Preko staklene cevi u obliku slova U, imaju zajednički šlifovani izvod za balon B. Balon B je od stakla "Pyrex" zapremine 500 ml. Ima tri izvoda: jedan za dovod reaktiva iz posude A, koji je regulisan slavinama $S_1$ i $S_2$, drugi, preko slavine $S_3$ služi za dovod svežeg vazduha i treći preko staklenih cevi prečnika 5 mm i slavine $S_4$ spaja balon B sa rezervoarom C.

Rezervoar C je takodje od "Pyrex" stakla cilindričnog oblika zapremine 10 l. Ima dva otvora. Na donji otvor se priključuje balon B, a gornji služi za: a) povezivanje rezervoara preko staklenih cevi i trokrake slavine $S_5$ sa kapter sistemom D za jod-131, zaštitnim cedilom B i vakuum pumpom F i

b) direktno povezivanje rezervoara C sa pumpom F. U tom slučaju je odvod za kapter D zatvoren.

Deo sistema za adsorpciju joda-131 - kapter D - prikazan je detaljno na slici 2. On se sastoji iz dve staklene kalote i cilindra 1270 ccm. Ovaj prostor služi za smeštanje aktivnog uglja čija se zapremina može menjati zavisno od eksperimenta odnosno od koncentracije joda-131.

Ispred i iza aktivnog uglja nalaze se papirni filteri Schneider-Poelman roze i plavi impregnirani srebrom. Oni su dobijeni tehnikom naparavanja metalnog srebra u vakuumu na filter papiru. Radovi su izvedeni u laboratoriji Zavoda za zdravstveno in tehničko varnost pri delu u Ljubljani, pod rukovodstvom M. Sterlea.

Deo E sastoji se iz dva zaštitna cedila fabrike "Miloje Zakić" iz Kruševca.

Vakuum pumpom F može se postići vakuum od oko $5x10^{-1}$ Torr-a.

Rotametar R je podešen za merenje protoka vazduha u intervalu 0-25 lit/čas (slika 1).

## Način funkcionisanja sistema za proizvodnju para radioaktivnog joda-131

Oslobadjanje para radio joda-131 vrši se reakcijom oksidacije joda sa natrijum nitritom u kiseloj sredini prema jednačini:

$$2NO_2^- + 2\,J^-131 + 4H^+ \longrightarrow 2NO + J_2\text{-}131 + 2H_2O$$

Jedna staklena posuda A služi za uvodjenje neaktivnih reagenasa (natrijum nitrit, sumporna kiselina), a druga za uvodjenje J-131 u obliku rastvora natrijum jodida u balon B, gde se

reakciona smeša zagreva na oko 40°C. Oslobodjeni jod-131 se vakuum pumpom povlači u rezervoar C. Pri tome su slavine $S_3$, $S_4$ i $S_5$ (a) otvorene, dok su $S_1$ i $S_2$ zatvorene. Iz rezervoara C jod se odvodi na sistem kapcer D. Za kaptaciju joda-131 predvidjeni su različiti apsorpcioni sistemi. U prvom redu to su papirni filtri velike efikasnosti impregnirani srebrom za apsorpciju joda kao aerosola, a zatim odredjena količina aktivnog uglja za apsorpciju gasnih formi joda-131.

Izvesna količina joda-131 koja je eventualno prošla kroz predhodni sistem filtera apsorbuje se na zaštitnim cedilima E. Na taj način moguće je izmeriti efikasnost ovih cedila u odnosu na jod - 131.

Evakuacija velikog dela joda-131 iz reakcionog balona B u rezervoar C izvrši se u toku jednog časa uz konstantno održavanje temperature od 40°C i optimalnog barbotiranje reakcione smeše u balonu (protok je oko 10 lit/čas.).

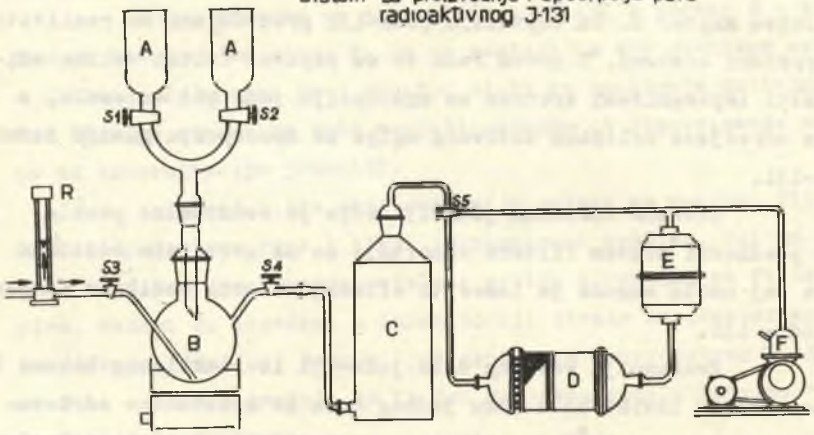
## Preliminarni rezultati merenja efikasnosti apsorbenih materija u odnosu na J-131

Eksperimenti ispitivanja efikasnosti navedenog sistema u odnosu na zaustavljanje J-131, vršeni su u domenu aktivnosti 5,44-56 μCi J-131. Rezultati pokazuju da efikasnost sistema: papirni filter roze impergniran srebrom + aktivni ugalj + dva zaštitna cedila, iznosi 99,99%.

Može se takodje reći da je efikasnost filtra impregniranog srebrom, kao i aktivnost uglja visoka u odnosu na J-131, ali da znatno zavisi od uslova temperature i vlažnosti u sistemu, kao i od koncentracije joda-131 u gasnoj struji. Ove varijacije efikasnosti pojedinih elemenata sistema u zavisnosti od različitih parametara (vlažnost, temperatura, brzina protoka gasne struje, vrsta i debljina sloja aktivnog uglja itd.) biće predmet naših daljih istraživanja.

ŠEMA 1

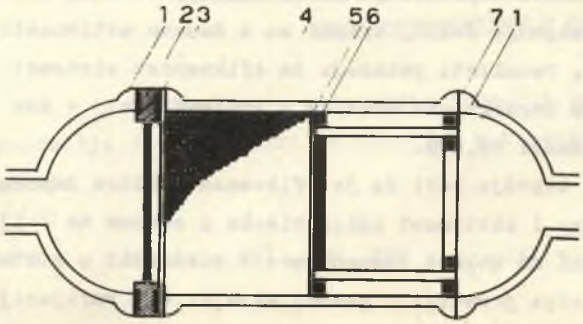
Sistem za proizvodnju i apsorpciju para radioaktivnog J-131




**Sl. 1 Sistem za proizvodnju i apsorpciju para radioaktivnog joda-131**

ŠEMA 2

KAPTER ZA J-131




LEGENDA :

1. kaloła
2. plastična mreža I
3. papirni filter sa Ag
4. aktivni ugalj
5. papirni filter sa Ag
6. plastična mreža II
7. plastični prsten

**Sl. 2 Filtrirajući deo sistema za jod-131**

## Summary

POSSIBILITY OF PRODUCTION OF RADIOACTIVE IODINE-131 VAPOUR IN ORDER TO SIMULATION OF ATMOSPHERE CONTAMINATED by IODINE-131

To determine concentration of radioiodine-131 in biosphere and working environment, who appears as a result of various accidental cases, it is necessary to perform series of experiments of absorption, separation and quantitative identification of this isotope in dependence of various physical and chemical parameters.

Possibility to be performed aforesaid investigations extends the system for production of radioactive iodine-131 vapours who was realized during 1968. Function of the system is based on liberation of iodine vapour by reaction of oxidation of iodides in iodine with sodium nitrate in an acid medium. Vapours of iodine than by vacuum-pump are drown out in a reservoir where they are accumulated and where from are transported to various absorption systems.

## Literatura

1. F Billard, G. Chevalier, J. Pradel:
Possibilités de genération de longue durée dans l' air de vapeur d'jode 131 on vue de son piegeage par les charbons actifs francais
Note C.E.A. no 413,1962

2. F. Billard, J. Pradel: Quelgues méthodes de détéction de contamination atmospherigues par l'iode 131
Note C.E.A. n° 48o

3. F. Billard, G. Chevalier, J. Caron: Influence, de l'humidité et de la concentration en iode sur l'adsorption de l'iode 131 par les charbons actifs.
Rapport C.E.A. R 2908,1966

4. F. Thal, G. Chevalier: Degagement, propriétés et piegeage des iodes radioactifs dans les effluents gazeux.
C.E.A. Serie "Bibliographie" n° 64,1965.

# MERENJE KONCENTRACIJA RADONOVIH POTOMAKA

HAJDUKOVIĆ D.

Institut za medicinu rada i radiološku
zaštitu SRS "Dr.Drag.Karajović"Beograd

Rezime: Merenja radonovih kratkoživećih potomaka vršena su u dva uranska rudnika .Prikazana je metoda uzimanja uzoraka na filtru i merenje-odredjivanje koncentracije radonovih potomaka.Uporedo su date vrednosti prema američkim autorima kao WL (woking level) ; prema francuskim na osnovu ravnotežnog stanja i računskom metodom na osnovu analize raspadne krive.Prikazane su istovremeno koncentracije radona i gama doze.

## Uvod

Za ocenu radijacione opasnosti u rudnicima urana s higijenske tačke gledišta ,važno je znati ne samo apsolutne koncentracije radona nego i stepen ravnoteže njegovih produkata raspada. Od posebnog je značaja zavisnost koncentracije od uslova ventilacije. Tako ,Kuznetz H.(1956) (1) saopštava rezultate ispitivanja u S.A.D.koja su vršena u 45 neventiliranih i 45 ventiliranih rudnika urana .U prvim je srednji odnos ravnoteže RaA:RaB:RaC kao 1,oo:0,88:0,79 odnosno kod ventiliranih kao 1,oo:0,46:0,34 . U svim slučajevima pomeranja ravnoteže od stanja koje se ima kod veoma loše pa do veoma intenzivne ventilacije ,registrovano smanjenje aktivnosti odnosi se glavnim delom na sniženje koncentracije RaC a u znatno manjoj meri na račun RaA.

U daljem tekstu biće dat opis metoda kojom se služe američki i francuski autori kao i računska metoda .

## Metoda za odredjivanje WL (woking level)-američka

Osnovu za ovu metodu dao je Harley 1953 a kasnije ju je modificirao Kuznetz,1956 (1).Uzimanje uzoraka vrši se u trajanju od 5 do 10 minuta na membranski filter tip Gelman sa porama 0,45 /u .Filtar je prečnika 20 mm i u vremenu uzimanja uzorka ostvari se ukupan protok od 50 do 250 lit. Radonovi potomci budu zadržani na filtru 100% a radon kao gas prodje kroz filter. Alfa aktiv-

nost se meri na filtru jonizacionom komorom tipa Juno od 40-tog do 90-tog minuta posle uzimanja uzorka .Dobija se broj dpm koji se podeli sa brojem litara protoka vazduha .Služeći se vrednostima sa grafika koji su dali Holaday i sar.1957 (2) a koji u vidu tabele dajemo na sledećoj strani , podeli se broj dpm/lit sa faktorom sa grafika koji odgovara vremenu očitavanja (npr.110 za 60-ti minut ) i dobije se umnožak ili deo od WL (woking level).Ovaj grafik je basiran na srednjim vrednostima koncentracije radonovih potomaka tako da WL za sva očitavanja koja se vrše u vremenu od 40-tog do 90-tog minuta posle uzimanja uzorka daje isti rezultat, što daje metodi praktičnost i jednostavnost u brzini merenja ali ne daje mogućnosti za izračunavanje svakog radonovog potomka pojedinačne.

Vrednost za 1 WL dolazi od usvojene dopuštene granice koncentracije radonovih potomaka u radnoj atmosferi za 8-mo časovni radni dan ,tj po 100 pCi/lit za svaki od tri kratkoživeća radonova potomka .Ima se da svaki atom radonovog potomka kada se raspada preko RaC' proizvodi odredjen iznos alfa energije tj.RaA sa energijom od 6 MeV raspadajući se preko RaC' pridonosi RaA još 7,7 MeV po atomu alfa energiji RaC' . Na sličan način RaB i RaC svaki doprinosi po 7,7 MeV po atomu . Zbog ekstremno kratkog poluživota RaC' ,što će biti i prikazano,može da bude zanemaren .

Ukupna alfa energija od 100 pCi/lit od svakog od prva tri radonova potomka je tada :

$$RaA = \frac{100\ pCi}{lit} \times \frac{2,22\ dpm}{pCi} \times \frac{1}{0,227} \times \frac{13,7\ MeV}{atom} = 13.400\ MeV/lit$$

$$RaB = \frac{100\ pCi}{lit} \times \frac{2,22\ dpm}{pCi} \times \frac{1}{0,0259} \times \frac{7,7\ MeV}{atom} = 66.000\ MeV/lit$$

$$RaC = \frac{100\ pCi}{lit} \times \frac{2,22\ dpm}{pCi} \times \frac{1}{0,0352} \times \frac{7,7\ MeV}{atom} = 48.500\ MeV/lit$$

UKUPNO : 127.960 MeV/lit tj. $1,3 \times 10^{-5}$ MeV/ lit

Ukupan raspad RaC' daće :

$$RaC' = \frac{100\ pCi}{lit} \times \frac{2,22\ dpm}{pCi} \times \frac{1}{2,54 \times 10^{5}} \times \frac{7,7\ MeV}{atom} = 6,8 \times 10^{-3}$$

što je neznatno u odnosu na RaA , RaB i RaC .

TAB.1

| FAKTOR | 150 | 130 | 110 | 90 | 75 | 60 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VREME | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | ( min) |

Autor ove metode navodi da su greške u odredjivanju koncentracije radonovih potomaka od 1 do 12% u zavisnosti od vremena merenja i stanja ravnoteže radonovih potomaka .

Metoda francuskih autora

Francuski autori (3) objavili su 1963 godine svoje metode za merenje koncentracije kratkoživećih radonovih potomaka .Upotrebljavaju filtar tip Membran no 6 koji ima dijametar pora 1,2 μ. Uzimanje uzorka traje 20 minuta .Na filtru ostaju radonovi potomci a radon ulazi u balone za merenje .Poseduju prenosni monitor sa alfa sondom sa fotomultiplikatorom što im omogućava merenje u samom rudniku gde uzimaju uzorak. Aktivnost sa filtra mere nultog minuta po uzimanju uzorka , 10-tog i 80-tog minuta .Proučavajući krive raspada konstatovali su da stanje u pogledu ravnoteže mogu da podele u četiri grupe i to : zona ulaska vazdušne struje ,gde se ima srednji odnos izmedju RaA:RaB:RaC ili bolje izmedju Rn:RaA: RaB i RaC kao 1,oo:0,82:0,59:0,43 , zatim zona povratne ventilacione struje kao odnos 1,oo:0,91:0,34:0,19 , dok se na otkopima rude ima odnos ravnoteže 1,oo:0,73:0,19:0,08 i najzad zona gde nema ventilacije i gde postoji srednji odnos ravnoteže 1,oo:0,90: 0,83:0,74 .

Uporedjujući svoja merenja sa američkim uočili su da su američke vrednosti manje tako da francuski način merenja pokazuje da su srednje vrednosti u zonama u kojima nema ventilacije 1,3 puta veće od američkih a u ostalim delovima rudnika da su veće srednje vrednosti od 4,15 do 5,55 puta . Uočava se da je RaA skoro uvek blizu ravnoteže sa radonom .Francuska metoda je reprezantativnija u pogledu opasnosti koja potiče od RaA dok je u američkoj u rezultatu zastupljena vrednost za RaB i RaC. Može se stoga verifikovati odnos izmedju koncentracija radonovih potomaka izmerenih američkom metodom prema koncentraciji radonovih potomaka merenih na francuski način kao odnos ( RaB + RaC ) : 2 Rn .

Računsko odredjivanje koncentracije potomaka radona

Uvod u metodu dao je Tsivoglou i sar.1953,(4) a u svom radu koristio se njom Rabson i Verwey ,1963 (5). Tehnika je veoma osetljiva na greške ali je realna i zadovoljava statistički.Uzorak se uzima na filtru 10 minuta a merenja se vrše 5-tog,

15-tog i 30-tog minuta posle uzimanja uzorka .Daju se tri jednačine koje daju aktivnost na filtru svakog pojedinačnog merenja . Simultano rešenje te tri jednačine odredjuje pojedinačnu koncentraciju svakog od kratkoživećih radonovih potomaka.

Broj atoma izotopa na filtru je : $N_{RaA}$ , $N_{RaB}$ i $N_{RaC}$ za vreme 5 , 15 i 30-ti minut ima se aktivnost $A_5$ , $A_{15}$ i $A_{30}$

$$N_{RaA} = 17,37 x A_5 - 39,35 x A_{15} + 24,84 x A_{30}$$

$$N_{RaB} = -6,88 x A_5 - 85,04 x A_{15} + 160,8 x A_{30}$$

$$N_{RaC} = -9,11 x A_5 + 110,7 x A_{15} - 80,14 x A_{30}$$

Ove tri jednačine daju vrednost Q za sakupljanje uzorka u trajanju od 10 minuta i za ukupnu količinu sakupljanja V litara kao:

$$( Q_{RaA} x V) = 0,2533 x N_{RaA}$$

$$( Q_{RaB} x V) = 0,1135 x N_{RaB} - 0,6227 x ( Q_{RaA} x V )$$

$$( Q_{RaC} x V) = 0,1186 x N_{RaC} - 0,0605 x ( Q_{RaA} x V ) - 0,1257 x ( Q_{RaC} x V )$$

Najzad se ima koncentracija radonovih potomaka izražena u vrednostima pCi/lit :

$$RaA = / 0,1023 x ( Q_{RaA} x V ) / : V \text{ lit}$$

$$RaB = / 0,01165 x ( Q_{RaB} x V ) / : V \text{ lit}$$

$$RaC = / 0,01585 x( Q_{RaC} x V ) / : V \text{ lit}$$

## Merenje koncentracije radonovih potomaka

Uzorke kratkoživećih radonovih potomaka uzimali smo na filtru"rose " Schneider efikasnom za radonove potomke 100% .Posedujemo nosač filtra tip EC 20 firme Gelman. Uzimanje uzorka pomoću prenosne vakuum pumpe na komprimovani vazduh Aero .Merenja smo vršili nultog minuta posle uzimanja uzorka , 5 -tog,10-tog, 15-tog, 30-tog ,60-tog i 80-tog minuta ,da bi smo mogli dati uporedne vrednosti za sve tri navedene metode. Uzorak je uziman u trajanju 10 min sa ukupnim protokom od 22,5 lit . Smatramo da nije poželjno duže uzimanje uzorka jer postoji znatna dezintegracija na samom filtru. Broj dez/sek merili smo prenosnim monitorom DT 12 firme Intertechnique i alfa sondom sa scintilatorom SZn(Ag)

etalonizirana sa U nat efikasnosti 25% . Na istim radnim mestima uzimani su uzorci radona u 125 ml staklene balone sa unutranje strane premazane cink sulfidom kao scintilatorom i mereni na uobičajeni način alfa sondom sa fotomultiplikatorom i brojačkim uredjajem posle uravnoteženja od 3 časa . Vrednost za radon data je u pCi/lit.vazd. Istovremeno su merene i gama doze na visini od 1 met.iznad tla , monitorom-ratemetrom firme Baird tip NE 148 sa kristalom NaJ(Tl) prečnika 1,9 cm i dužine 1,9cm. Doze su date u vrednostima /ur/H.

U tab. 2 dati su rezultati merenja . Radilišta su podeljena u tri grupe prema efikasnosti ventilacije . Date su vrednosti WL za sve tri metode radi lakšeg uporedjivanja .

Posmatrajući vrednosti za WL uočava se da su znatno manje vrednosti za američku metodu ; ako bi se uzele srednje vrednosti prema grupama ima se sledeće :

TAB. 5. Srednje vrednosti WL po grupama -zonama

| Grupa | WL ( amer.met.) | WL ( franc.met.) | WL ( rač.met.) |
|---|---|---|---|
| I | 0,07 | 0,3 | 0,15 |
| II | 2,21 | 4,15 | 4,46 |
| III | 10,33 | 16,25 | 14,30 |

tj. I grupa $\frac{WL\ fran.}{WL\ amer.} = 4$ $\frac{WL\ rač.}{WL\ amer.} = 2$

II grupa $\frac{WL\ fran.}{WL\ amer.} = 2$ $\frac{WL\ rač.}{WL\ amer.} = 2$

III grupa $\frac{WL\ fran.}{WL\ amer.} = 1,5$ $\frac{WL\ rač.}{WL\ amer.} = 1,4$

Iz TAB. 2 mogu se posmatrati i odnosi ravnoteža za sve tri zone tako da imamo odnose :

TAB. 4 Odnosi ravnoteža RaA: RaB : RaC

| Metoda | Zona I | Zona II | Zona III |
|---|---|---|---|
| FRANC. | 1.00:0.60:0.09 | 1.00:0.72:0,24 | 1.00:0,70:0,40 |
| RAČUN. | 1,00:0,58:0,02 | 1,00:0,70:0,22 | 1,00:0,71:0,49 |

TAB.2 - UPOREDNI REZULTATI MERENJA

| Zona | Radilište | Radon pCi/l vazd. | Gama doze μr/h | Amer.met. | | Francuska metoda | | | | | Računska metoda | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | WL | pCi/l | (WL) | pCi/l | RaA pCi/l | RaB pCi/l | RaC pCi/l | (WL) | pCi/l | RaA pCi/l | RaB pCi/l | RaC pCi/l |
| I* | $A_1$ | 24 | 3o | o,o8 | 24 | o,3 | 9o | 53 | 32 | 4 | o,15 | 45 | 25 | 13 | 7 |
| | $B_1$ | 15 | 3o | o,o2 | 6 | o,13 | 4o | 24 | 15 | 1 | o,13 | 4o | 28 | 17 | 5 |
| | $B_2$ | 21 | 3o | o,1o | 3o | o,4 | 12o | 77 | 46 | 7 | o,18 | 55 | 31 | 19 | 5 |
| II* | $A_2$ | 1o2o | 11oo | 2,32 | 696 | 4,5 | 1348 | 795 | 534 | 19o | 5,9o | 1768 | 9o9 | 659 | 2oo |
| | $A_3$ | 577 | 15o | 2,41 | 723 | 4,2 | 1266 | 725 | 523 | 18o | 4,85 | 145o | 72o | 545 | 185 |
| | $A_4$ | 561 | 13o | 2,13 | 639 | 4,1 | 1226 | 695 | 514 | 17o | 4,5o | 134o | 71o | 495 | 135 |
| | $A_5$ | 32o | 5o | 1,65 | 495 | 3,8 | 1133 | 64o | 48o | 138 | 2,58 | 774 | 435 | 249 | 9o |
| III* | $B_3$ | 74o | 7o | 4,66 | 138o | 1o | 3o45 | 144o | 1o25 | 58o | 8,1 | 244o | 1o6o | 87o | 51o |
| | $B_4$ | 182o | 17oo | 16 | 48co | 22,5 | 675o | 322o | 225o | 128o | 2o,5 | 615o | 283o | 189o | 143o |

* I- Zona - dobra ventilacija. Bušenje jalovine i dubinsko bušenje

II- Zona - ventilacija zadovoljavajuća. Bušenje, utovar rude i jalovine

III- Zona - nema ventilacije. Konzervirani otkopi. Ne radi se

Američka metoda pokazuje se kao praktična i jednostavna i odgovara za brzo odredjivanje ukupne koncentracije radonovih potomaka .S obzirom na znatno manje vrednosti WL za ovu metodu u odnosu na francusku i računsku ,bilo bi potrebno da se dobijeni rezultati koriguju faktorima prema uslovima ventilacije ili da se izvrši korekcija faktora u grafiku sa kojim se deli broj dpm/lit . Ovako korigovani faktori za naše uslove merenja i uslove ventilacije ,da bi se dobile iste vrednosti ,ili mnogo bliže , onima koje se dobijaju francuskom i računskom metodom , bile bi sledeće :

TAB . 5 Korigovane vrednosti faktora

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AMER. METODA | Vreme merenja | 40′ | 50′ | 60′ | 70′ | 80′ | 90′ |
| | FAKTOR | 150 | 130 | 110 | 90 | 75 | 60 |
| KORIGO-VANI FAKTORI | Zona I | 50 | 43 | 37 | 30 | 25 | 20 |
| | Zona II | 75 | 65 | 55 | 45 | 38 | 30 |
| | Zona III | 96 | 90 | 75 | 62 | 51 | 41 |

Francuska metoda je podesna što nam daje mogućnost izračunavanja svakog pojedinog radonovog kratkoživećeg potomka . Teškoća je što je potrebno odmah meriti filtar na samom radilištu posle uzimanja uzorka .

Računska metoda je obimna i nepraktična za terenski rad .

Summary :

The measurements of radon -daughters were performed in two uranium mines. The metod of sampling on the filter and estimation of radon-daughters concentrations were given.The values were presented comparatively according to the american authors as WL (woking level) ,acording to french based on equillibrium , and to calculation procedure based on analysis of the decay curve. At the same time radon concentrations and gamma doses reported .

Literatura:

1) Kuznetz H.L. - Radon daughters in mine atmospheres - A field method for determining concentrations . Amer.Ind. Hyg.Assoc.,Quarterly 17 (1956) 85.

2) Holaday D.A.,Rushing D.E., Coleman R.D., Woolrich P.F., Kuznetz H.L. and Bale W.F., - Control of radon and daughters in uranium mines and calculations on biologic effects ., US Public Health Service Publication ,no 494, Wachington D.C. (1957).

3) Billard F.,Madelaine G.,Miribel J., et Pradel J.,-Methodes de mesure du radon dans les mines d' uranium ,-Colloque sur la protection radiologique dans l'extraction et le traitement des minerais nucleaires , Vienne , 26-30 , aout (1963) .

4) Tsivoglou E.C., Ayer H.E., and Holaday D.A., - Occurrence of nonequilibrium atmospheric mixtures of radon and daughters , Nucleonics 11 (1953) 40.

5) Rabson S.R. and Werwey C.J. - Experience in the measurement of radon and radon daughters concentrations in South African Uranium Mines . - IAEA Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials , Vol.II , p. 335-347 , Vienna , 26-31, aug. (1963).

Acknowledgements

This paper was supported by the United States Governement, Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service - Bureau of State Services, Division of Occupational Health, Contract BSS-OH-YUG-2.

# SISTEM ZA VIŠEPARAMETARSKO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI RADNE OKOLINE

Muždeka S.,Koturović A.,Stojanović D.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

U radu se rasmatra struktura merne stanice kojom je omogućeno višeparametarsko merenje.Opisuju se detalji rešenjakoje obuhvata rad sa izvorima analognih jednosmernih i impulsnih signala i koje omogućuje neophodnu elementarnu obradu dobijenih podataka i njihovo zapisivanje u cifarskom obliku.

Kao ilustracija dati su rezultati merenja dobijeni dugoročnim praćenjem niskog aktiviteta gama zračenja,koncentracije dugoživećih radioaktivnih aerosola i temperature na jednom punktu u toku jednomesečnog perioda.

## Opis metode merenja i instrumentacije

Korišćenje aparature za sakupljanje i obradu podataka nalazi veliku primenu u sistemu merenja radioaktivnosti okoline.Opisani stacionarni merni punkt za kontrolu niskih aktivnosti obuhvatio je sledeća kontinualna merenja:

(a) merenje osnovnog fona gama zračenja,

(b) merenje koncentracije radioaktivnih aerosola,

(c) komplet za meteorološka merenja.

Pri merenjima niskih aktivnosti sva merenja su medjusobno zavisna.Kod povećane osetljivosti merenja koncentracije dugoživećih radioaktivnih aerosola mogu se dobiti pogrešni rezultati ako se jednovremeno ne prati i osnovni fon radioaktivnosti okoline.Rezultati merenja pokazuju veliku zavisnost i od meteoroloških uslova.

Za merenje jačine ekspozicione doze gama zračenja kao detektor je korišćena diferencijalna jonizaciona komora CD-2, koja je prvenstveno namenjena merenjima aktivnosti gasova.Vezana sa istim polaritetom napona na obe komore služi za merenje niskih gama aktivnosti okoline i veoma je osetljiva. Zapremina komore je 2x12 litara tako da se sa ulaznim otporom

od $10^{12}$ oma dobija osetljivost jednosmernog pojačavačkog kola

0,4 μR/h/mV.

Pojačavač se sastoji od diferencijalnog stepena izvedenog sa MOS FET elementima tipa FI-100 i integrisanog pojačavačkog kola tipa μA 709. Pogodnim izborom radnih tačaka postignuta je dobra temperaturna i vremenska stabilnost. Jednosmerni signali iz pojačavača vode se preko skanera na AD konvertor sistema za obradu podataka.

Merenje koncentracije radioaktivnih aerosola vrši se pomoću dva detektora. U korišćenoj aparaturi primenjena je metoda taloženja aerosola propuštanjem vazduha pomoću pumpe poznatog protoka kroz traku filter-papira poznate efikasnosti. Traka se kontinualno kreće. Prvi detektor meri trenutnu situaciju pomoću logaritamskog merača brzine brojanja i rezultati se registruju kontinualno na pisaču a preko skanera uvode i u sistem za obradu podataka.

Merenje ukupne beta aktivnosti koncentracije "dugoživećih" emitera vrši se posle četiri dana od trenutka usisavanja. Kao detektori korišćeni su halogeni GM brojači tipa 18517 i 18515 u antikoincidentnoj vezi. Preko logaritamskog merača brzine brojanje koji obuhvata četiri dekade

0 - 10 - 100 - 1000 - 10000 imp/min,

rezultati se registruju na pisaču. Istovremeno impulsi iz detektora dovode se na brojački sistem gde su odbrojavani svakog časa i registrovani na štampaču. Dugoročna ispitivanja su pokazala da je prosečna vrednost fona antikoincidentnih brojača konstantna ukoliko je za taj period merenja osnovni fon gama zračenja konstantan. Velika osetljivost merenja može da se proceni na osnovu podatka da

1 imp/min odgovara $5 \times 10^{-14}$ Ci/m$^3$.

Pogodno vreme izmedju sukcesivnih štampanja broja impulsa za trenutne vrednosti koncentracija kreće se u granicama 30 do 60 minuta.

## Struktura mernog sistema

Struktura mernog sistema korišćenog za multiparametarsko praćenje radioaktivnosti radne sredine data je na sl.1. Uočava se da sistem sadrži dva osnovna dela: jedan koji služi za prihvatanje i obradu kontinualnih analognih signala i drugi koji prima impulsne signale i vrši njihovu obradu. Radom ta

oba dela upravlja i objedinjuje ih u jedan merni sistem komandni blok.

Signali kontinualne prirode u vidu jednosmernog napona posle prolaska preko skanera vode se u pojačavač radi vršenja njihove normalizacije i dovodjenja na nivo potreban za optimalnu obradu sa analogno-digitalnim konvertorom. Analogno-digitalni konvertor dovedene signale prevodi u digitalni oblik.

Signali impulsne prirode vode se na kola za registraciju - brojanje impulsa, koja informaciju o broju registrovanih impulsa takodje daju u digitalnom obliku.

Svakom od ulaza sistema, bez obzira da li se radi o kontinualnim ili impulsnim signalima, propisana je odredjena adresa. Sukcesivno generisanje ovih adresa u komandnom bloku čini da se vezuju preko skanera za analogno-digitalni konvertor odredjeni kontinualni signali i vrši njihova konverzija u digitalan oblik. Preko dekoderskog kola, u zavisnosti od toga koja adresa je generisana vezuju se za izlaz informacije koje daje analogno-digitalni konvertor ili informacija akumulirana u kolu za registraciju impulsa. Informacija kako o izmerenoj veličini, tako i adresa ulaza sa koga potiče informacija registruju se posle izlaska iz mernog sistema na štampaču. Posle štampanja stanja na kolima registracije impulsa se anuliraju, tako da ona uvek daju informaciju o broju registrovanih impulsa izmedju dva očitavanja.

Informacija o veličini kontinualnih signala može se voditi na komparatorska kola koja daju indikacijukada ta veličina predje unapred zadate nivoe, kako gornji tako i donji.

Lako se uočava da ako se izuzmu štampač i komparatorska kola, dati merni sistem može da predstavlja samo jedan merni punkt u složenijoj mreži. U tom slučaju se na pr. iz odredjenog mernog centra vrši kontrola aktiviranja komandnog bloka svakog mernog punkta, i informacije koje izabrana merna stanica daje vode u isti centar, da bi tu bile registrovane ili da bi se obavila njihova dalja obrada.

## Rezultati merenja

Na slikama 2 i 3 prikazani su rezultati merenja koncentracije dugoživećih beta-radioaktivnih aerosola u toku meseca januara 1969 godine. Prilikom svih merenja osnovni fon gama zračenja u prostoriji gde su se nalazili antikoincidentni bro-

jači kretao se u granicama 10 do 12 μR/h.

Paralelno sa merenjima koncentracije radioaktivnih aerosola dati su i dijagrami koji pokazuju relativnu vlažnost, temperature i temperaturni gradijent na meteorološkom stubu. Svi rezultati su dati u vidu dnevnih proseka i dvočasovnih proseka.Sa dijagrama se može uočiti povećanje radioaktivnosti u vazduhu posle prve nedelje u januaru 1969 koje je posledica nuklearne eksplozije izvršene krajem decembra 1968 u Kini.

Zaključak

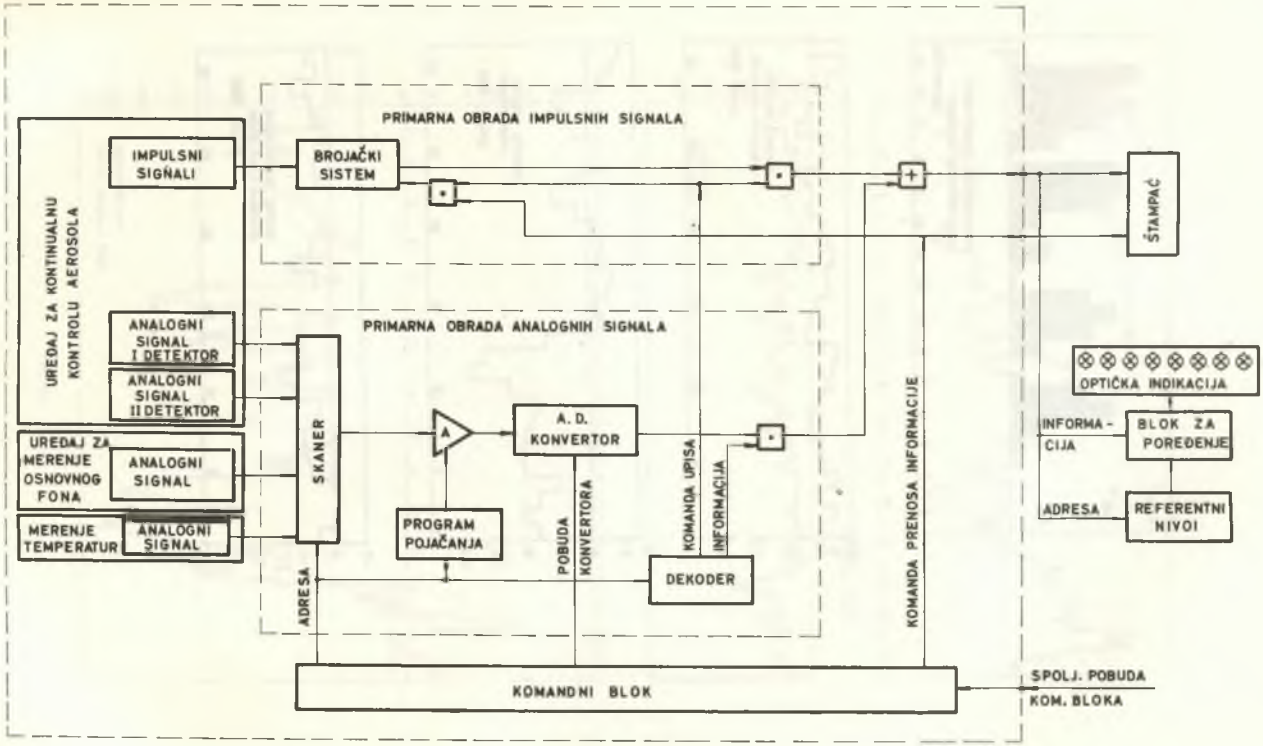
Rezultati merenja pokazuju veliku zavisnost koncentracije radioaktivnih aerosola u vazduhu u funkciji od meteoroloških uslova.Analize rezultata ukazuju na opravdanost multiparametarskog merenja i na to da bi u cilju dobijanja pouzdanijih rezultata u mrežama ove vrste bilo celishodno proširiti obim merenja,koristiti kompleksniji sistem,ići na nalaženje korelacionih veza različitih parametara merenja i na dalje uključivanje u veći sistem vezan za primenu računara.

Summary

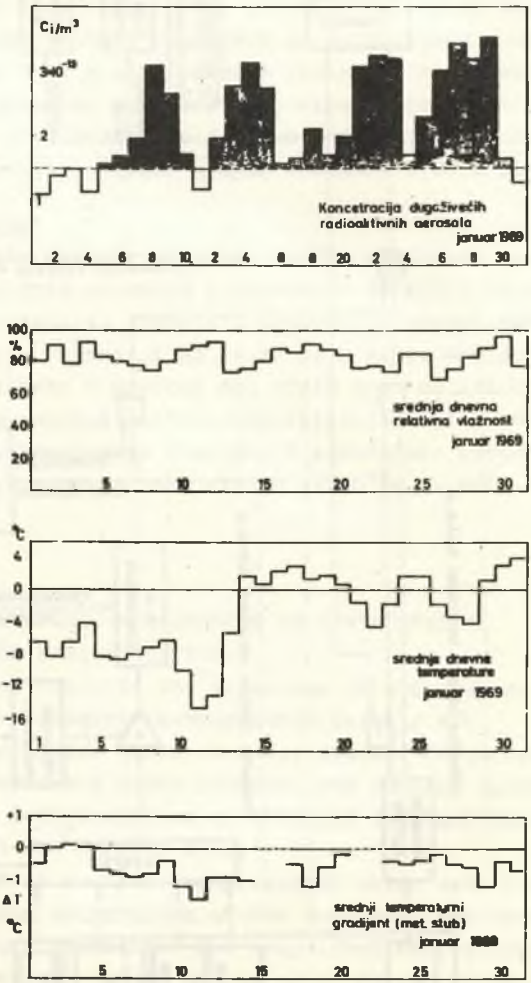
MULTIPARAMETRIC MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL LOW-LEVEL RADIOACTIVITIES

The paper presents the structure of a measuring system for multiparametric measurements.Details are described of the system which includes sources of analogue: direct-current and pulse signals, and enables necessary elementary interpretation of obtained data and their registration in the digital form.

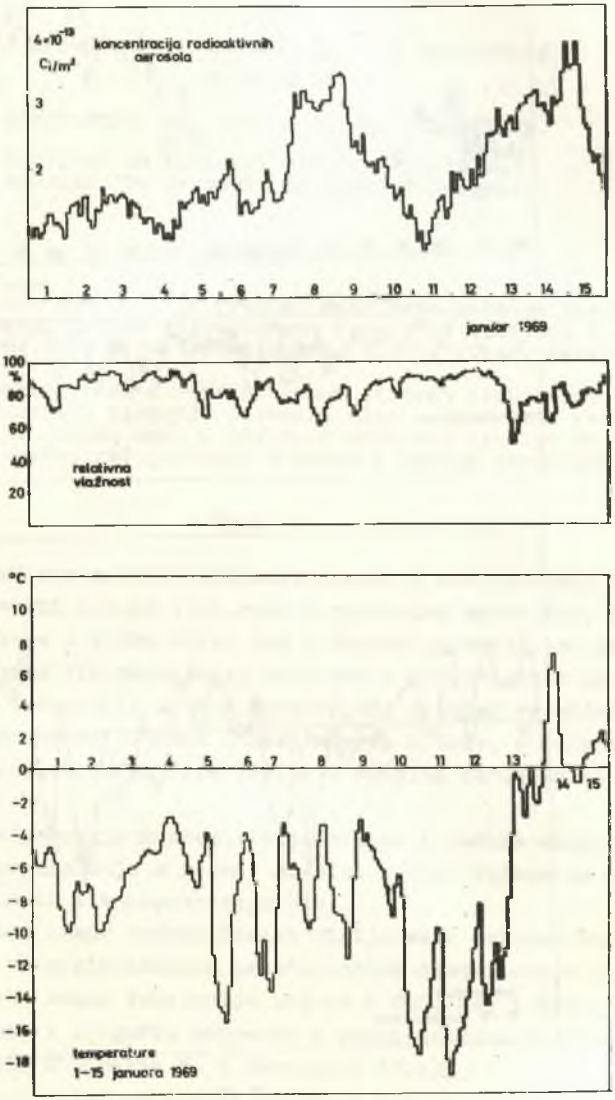
Measurement results are presented which have been obtained by a long observation of the low gamma radiation activity,the concentration of the long-lived radioactive aerosols and the temperature at one point for a period of one month.


PRIMARNA OBRADA IMPULSNIH SIGNALA
IMPULSNI SIGNALI
BROJAČKI SISTEM
ŠTAMPAČ
UREDAJ ZA KONTINUALNU KONTROLU AEROSOLA
PRIMARNA OBRADA ANALOGNIH SIGNALA
ANALOGNI SIGNAL I DETEKTOR
ANALOGNI SIGNAL II DETEKTOR
OPTIČKA INDIKACIJA
UREDAJ ZA MERENJE OSNOVNOG FONA
ANALOGNI SIGNAL
SKANER
A
A. D. KONVERTOR
INFORMA-CIJA
BLOK ZA POREĐENJE
MERENJE TEMPERATUR
ANALOGNI SIGNAL
PROGRAM POJAČANJA
POBUDA KONVERTORA
KOMANDA UPISA
INFORMACIJA
ADRESA
REFERENTNI NIVOI
DEKODER
ADRESA
KOMANDA PRENOSA INFORMACIJE
KOMANDNI BLOK
SPOLJ. POBUDA KOM. BLOKA

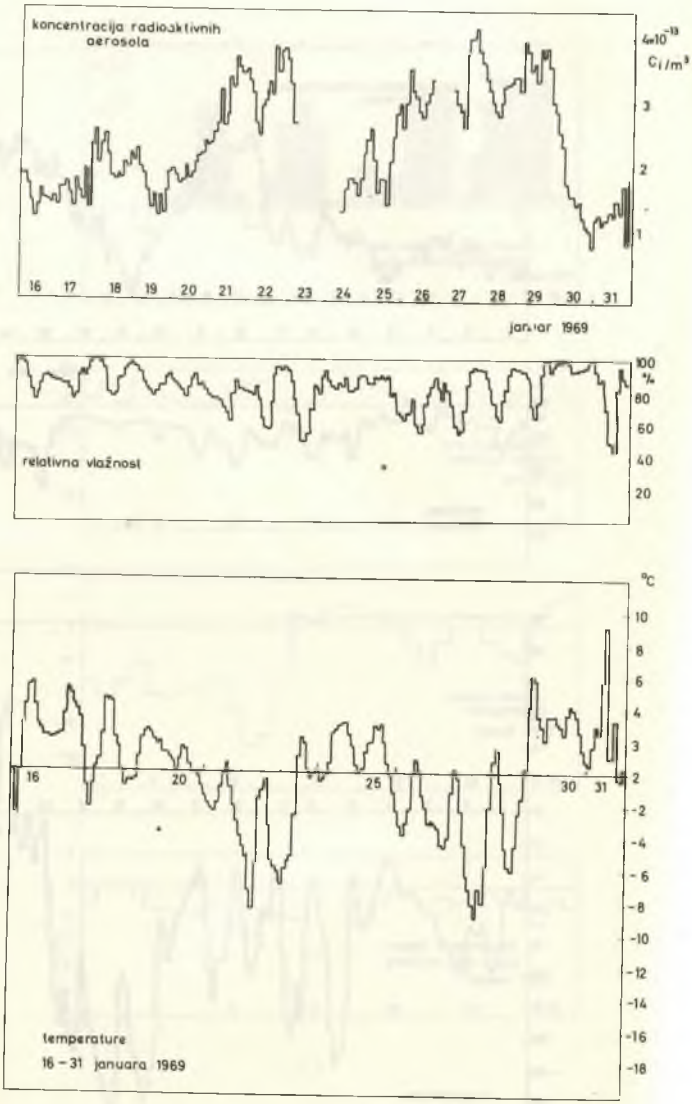
SL. 1


Ci/m³
3·10⁻¹⁹
2
1
Koncetracija dugoživečih radioaktivnih aerosola
januar 1969
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
100
%
80
60
40
20
srednja dnevna relativna vlažnost
januar 1969
5 10 15 20 25 30
°C
4
0
-4
-8
-12
-16
srednja dnevna temperatura
januar 1969
1 5 10 15 20 25 30
+1
0
-1
ΔT
°C
srednji temperaturni gradijent (met. stub)
januar 1969
5 10 15 20 25 30

sl. 2


koncentracija radioaktivnih aerosola
4×10⁻¹³ Ci/m³
3
2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
januar 1969
100 %
80
60
40
20
relativna vlažnost
°C
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18
temperature
1–15 januara 1969

sl. 3a


koncentracija radioaktivnih aerosola
4x10⁻¹⁹ Ci/m³
3
2
1
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
januar 1969
100 %
80
60
40
20
relativna vlažnost
°C
10
8
6
4
3
2
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18
16 20 25 30 31
temperature
16 – 31 januara 1969

sl. 3b

# RADIOAKTIVNOST RADNE SREDINE U NEURANSKIM RUDNICIMA

RADOVANOVIĆ R., HAJDUKOVIĆ D., VUKOTIĆ M.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd

## Rezime

U ovom radu dat je pregled rezultata merenja koncentracije radona, jačine ekspozicione doze gama zračenja i spektri gama zračenja u rudnicima bakra, olova, cinka, feroboksita i žive.

Procenom doza u respiratornom sistemu radnika od inhaliranog radona i njegovih potomaka (loo - looo puta veće koncentracije radona nego u životnoj sredini) ukazuje se na higijenski značaj radijacionih faktora u radnim sredinama ovih rudnika.

## Uvod

Rezultate merenja radioaktivnosti i radijacionih polja u radnoj sredini rudara koji rade u rudnicima bakra Bor, i u rudnicima olova i cinka Stari Trg i Rudnik objavili smo ranije (1,2). Pored tih rezultata, koje smo u medjuvremenu ponovo proveravali i dopunili u ovom radu dajemo pregled rezultata merenja u rudnicima olova i cinka Dobrevo i Sase, u rudniku mangana Lojane, rudniku žive Idrija i rudniku feroboksita Grebnik.

Pored merenja koncentracije radona i jačine ekspozicione doze gama zračenja u radnoj sredini rudara vršena su merenja zaprašenosti i koncentracije $SiO_2$.

Ovakav izbor kontrolisanih higijenskih faktora bio je u skladu sa eksperimentalnim proučavanjima distribucije radonovih potomaka nakon inhalacije radona i $SiO_2$ kao i hroničnih efekata radona i njegovih potomaka u respiratornom sistemu, koja su vršili Kilibarda M. i saradnici (3,4).

Podaci o koncentraciji radona i jačinama ekspozicione doze gama zračenja u neuranskim rudnicima mogu se naći u radovima Starostjuka i Anučine (5), Bihovskog (6), Jacola P.V.(7), Harrisa S.J.(8), Ševca J. i Musila (9),Točeva i sar.(lo) i td.

## Metode merenja

Koncentraciju radona u radnoj atmosferi merili smo po metodi koju su dali Pradel i saradnici (11).
Jačinu ekspozicione doze gama zračenja, merili smo vazduhoekvivalentnom jonizacionom komorom, brojačem DT-12 sa plastičnim scintilatorom TPB prečnika 4 cm i dužine 4 cm i sa ratemeterom NE-148. sa kristalom NaJ (Tl) prečnika 1,9 cm i dužine 1,9 cm. Spektrometrijska merenja rudnog materijala vršena su sa gama-spektrometrom koji je činio četiristokanalni analizator sa kristalom NaJ(Tl) prečnika 10 cm i dužine 7 cm.

Izbor mernih mesta i mesta uzimanja uzoraka vršen je tako da se mogu odrediti aktuelni podaci na trenutnim radnim mestima u rudnicima. U jednom broju rudnika merenje koncentracije radona vršeno je u letnjem i jesenjem periodu u toku godine.

## Rezultati merenja

a) Koncentracija radona

U ukupno devet rudnika izmerena je koncentracija radona na 381 mestu. Na svakom mestu vršena su najmanje po dva merenja. Pregled naših rezultata merenja i rezultata merenja drugih autora u svetu (5,6,7,8,9,10) dati su u tabeli 1.

U ispitivanim rudnicima najveća koncentracija radona izmerena je 1964. godine u rudniku olova i cinka Zletovo u jami Dobrevo od 1620 pCi/l.
Imajući u vidu da je koncentracija radona u prizemnom sloju vazduha životne sredine populacije 0,1-0,01 pCi/l. izmerene maksimalne vrednosti u neuranskim rudnicima koje smo ispitivali veće su za 56 do 16200 puta, ali prosečne godišnje vrednosti su veće od 100 do 1000 puta.

Koncentracija radona u neuranskim rudnicima može se značajno menjati u toku dužeg vremenskog perioda rada rudnika.

U tabeli 2 dati su rezultati merenja koncentracije radona u Dobrevu za period od 1961 do 1968 godine. Iz ovih podataka se vidi da koncentracija radona u rudničkom vazduhu, osim od efikasnosti ventilacije, bitno zavisi od geološko-mineraloške strukture materijala u datom trenutku rada rudnika, kao i od prirode rudničkih voda.

Ovako značajnih promena nije bilo u ostalim ispitivanim rudnicima.

TAB. 1

Koncentracija radona u raznim neuranskim rudnicima u svetu

| Vrsta rudnika | Lokacija | Rn pCi/l | Broj merних mesta |
|---|---|---|---|
| Ugalj | SSSR | 8o | |
| Ugalj | SAD | 1o - 1oo | |
| Metalni rudnici i rudnici uglja | Bugarska | 1 - 2o7 | |
| Metalni rudnici i rudnici uglja | Čehoslovačka | 3 - 3oo | |
| Olovo | SSSR | 5,5 - 11,8 | |
| Volfram | SSSR | 12,6 - 39,2 | |
| Feroboksit | Gradnik SFRJ | 2 - 6o | 1o |
| Bakar | Bor SFRJ | 2 - 5,6 | 16 |
| Olovo i cink | Stari Trg SFRJ | 2 - 34 | 7o |
| Olovo | Rudnik SFRJ | 2 - 44 | 34 |
| Olovo i cink | Dobrevo SFRJ | 3 - 162o | 155 |
| Živa | Idrija SFRJ | 4 - 112 | 5o |
| Mangan | Lojane SFRJ | 8 - 56 | 12 |
| Olovo i cink | Sase SFRJ | 2 - 1o | 12 |
| Olovo i cink | Lokočevac SFRJ | 36 - 482 | 22 |

Smer kretanja ventilacione struje vazduha, kad je u pitanju više horizonata u jami, može dovesti do znatnog povećanja koncentracije radona na nekom horizontu na kome se po sadržaju izvora radona ne bi mogla očekivati značajnija njegova koncentracija. Takav slučaj karakterističan je za V horizont rudnika Stari Trg.

TAB. 2

Koncentracija radona u rudniku Dobrevo od 1961 do 1968 god.

| Godina | Rn pCi/l | | |
|---|---|---|---|
| | Min. | Maks. | Srednje |
| 1961 | 3o | 119o | 494 |
| 1964 | 23 | 162o | 417 |
| 1965 | 95 | 459 | 246 |
| 1966 | 9o | 826 | 491 |
| 1967 (jun.) | 35 | 156 | 9o |
| 1967 (nov.) | 46 | 1o3 | 66 |
| 1968 (jun.) | 29 | 288 | 2o4 |
| 1968 (nov.) | 3 | 28 | 9 |

Vrlo je verovatno da sa dužinom puta ventilacione struje, čak i pri uniformnoj koncentraciji radona, dolazi do povećanja koncentracije dugoživećih potomaka radona u rudničkoj atmosferi, što je predmet naših narednih ispitivanja.

b) Jačina ekspozicione doze gama zračenja u rudnicima

Merenja jačine ekspozicione doze gama zračenja vršili smo u toku 1967 i 1968 godine. Podaci o ovim merenjima dati su u tabeli 3. Najveća jačina ekspozicione doze gama zračenja na rastojanju od 1 m od površine hodnika izmerena je u rudniku Rudnik ( 45 μr/h) a najniža jačina ekspozicione doze od oko

o,5 μr/h u rudniku Stari Trg. Najveća srednja vrednost jačine ekspozicione doze ustanovljena je na površinskom kopu rudnika feroboksita Grebnik (27,6 μr/h).

Sve srednje vrednosti izuzev na površinskom kopu u Boru i u rudniku Stari Trg su veće od srednje vrednosti koju smo ustanovili za teritoriju SR Srbije (12).

TAB. 3

Jačina ekspozicione doze gama zračenja u nekim rudnicima 1968 godine

| Rudnik | Vrsta rude | μr/h | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Min. | Srednje | Maks. |
| Bor - površinski kop | baker | 6 | 11,o | 15 |
| Bor - jama | baker | 5 | 13,3 | 22 |
| Rudnik | olovo i cink | 4,5 | 17,4 | 45 |
| Stari Trg | olovo i cink | o,5 | 1o,1 | 42 |
| Dobrevo | olovo i cink | 1o | 23,3 | 33 |
| Grebnik | feroboksit | 21 | 27,6 | 31 |

Maksimalne izmerene vrednosti su samo u dva slučaja (Rudnik i Stari Trg) veće od maksimalnih vrednosti ustanovljenih na teritoriji SR Srbije.

Medjutim, nešto drugačiju sliku daje poredjenje vrednosti iz tabele 3 sa jačinama ekspozicione doze gama zračenja u životnoj sredini rudara iz ovih rudnika, koje su date u tabeli 4.

TAB. 4

Jačine ekspozicione doze gama zračenja u životnoj sredini rudara

| Rudnik | /ur/h | | |
|---|---|---|---|
| | Min. | Srednje | Maks. |
| Bor | 5 | 6,5 | 9 |
| Stari Trg | 9,5 | 18,1 | 3o |
| Dobrevo | 17 | 23,o | 27 |
| Rudnik | 11 | 14,7 | 17,5 |
| Grebnik | 15 | 19,3 | 22 |

Poredjenjem podataka iz tabela 3 i 4 vidi se da je srednja vrednost jačine ekspozicione doze gama zračenja u radnoj sredini jedino u Starom Trgu niža od srednje jačine ekspozicione doze gama zračenja u životnoj sredini rudara. Maksimalne izmerene vrednosti u svim rudnicima su veće nego maksimalne izmerene vrednosti u životnoj sredini rudara.

U suštini, uzimajući u obzir i kosmično zračenje u životnoj sredini, nema bitnih razlika izmedju izloženosti eksternom gama i kosmičkom zračenju rudara iz ovih rudnika u toku i posle radnog vremena, ali je nivo eksternog gama ozračenja ovih rudara iznad prosečne vrednosti za stanovnike SR Srbije.

## Zaključak

Koncentracije radona u radnoj atmosferi rudnika bakra, olova, cinka, feroboksita, manganа i žive kreće se od $2.10^{-12}$ Ci/l do $1,62.10^{-9}$ Ci/l.

Ako se uzme da je MDK radona $3.10^{-11}$ Ci/l (zbog tehničkih problema (1-3) . $10^{-10}$ Ci/l u uranskim rudnicima) onda su maksimalne izmerene koncentracije u sedam kontrolisanih rudnika bile veće od ove vrednosti, dok su srednje vrednosti u četiri rudnika bile veće ili vrlo bliske MDK.

Srednje godišnje vrednosti koncentracije radona u rad-

noj atmosferi jednog broja radnika rudnika Dobrevo u toku 1961, 1964 i 1966 godine bile su veće od MDK radona u uranskim rudnicima. Koncentracija radona u ovom rudniku tokom 1967 i 1968 godine bila je znatno manja.

Ako se pri proceni ozračenja gornjih disajnih puteva i plućnog tkiva rudara u toku godine dana rada vodi računa o efektivnom vremenu provedenom u rudničkoj atmosferi i stepenu ravnoteže radona i njegovih potomaka, može se doći do podataka o godišnjem ozračenju njihovog respiratornog sistema. Ti podaci dati su u tabeli 5.

Pri ovoj proceni uzeti su jedinstveni uslovi za sve rudnike, što naročito u pogledu ventilacije - a time i stepena radioaktivne ravnoteže radona i potomaka, nije slučaj, pa se podaci mogu smatrati samo orjentacionim.

TAB. 5

Godišnja ozračenja respiratornog sistema rudara u neuranskim rudnicima od inhaliranog radona i njegovih potomaka

| Rudnik | rem/god. | |
|---|---|---|
| | gornji disajni putevi | plućno tkivo (srednje) |
| Bor | 2,8 - 7,84 | 0,062 - 0,173 |
| Sase | 2,8 - 14,0 | 0,062 - 0,310 |
| Stari Trg | 2,8 - 47,6 | 0,062 - 1,054 |
| Rudnik | 2,8 - 61,6 | 0,062 - 1,364 |
| Lojane | 11,2 - 78,4 | 0,248 - 1,736 |
| Grebnik | 2,8 - 84,0 | 0,062 - 1,860 |
| Idrija | 5,6 - 156,8 | 0,124 - 3,472 |
| Lakočevec | 50,4 - 674,8 | 1,116 - 14,942 |
| Dobrevo | 4,2 - 2268,0 | 0,093 - 50,220 |

Koncentracija radona u životnoj sredini na visini od 1,6 m iznad tla od $10^{-13}$Ci/l daje po Havloviću (13) apsorbovanu dozu u plućima od 0,05 rem/god. Poredjenjem podataka iz tabele 5 sa ovom vrednošću lako je zaključiti da su rudari ovih rudnika i do 1000 puta u nepovoljnijem položaju od populacije. Zbog svega ovog evidentan je higijenski značaj kontrole i mera radiološke zaštite i u neuranskim rudnicima.


## Summary

RADIOACTIVITI OF A WORKING ENVIRONMENT IN UNURANIUM MINES.
In this paper a review of the results of radon concentration measurements, intensity of exposure dose of gamma-radiation and gamma-spectra in the mines of copper, lead, zinc, ferrobouxite and mercury was given.

By assessment of inhaled radon and its daughters in the respiratory sistem of the workers (100-1000 times higher concentrations of radon than in lifeenvironment) it is pointed to hygienic importance of radioactive factors in a working environment of these mines.


## Literature


1. Radovanović R., Hajduković D., Vukotić M. i sar: Radioaktivna kontaminacija i radijaciona polja u radnoj i životinjskoj sredini radnika rudnika Bor. Zbornik radova simpozijuma o zaštiti zdravlja radnika RTB-Bor. str.129 - 131. Bor (1968)

2. Radovanović R., Hajduković D., Kiliberda M. i sar.: Higijenski značaj radioaktivne kontaminacije radne sredine u rudnicima bakra, olova i cinka. V jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid. 30 IX - 5. X (1968)

3. Kiliberda M., Višnjić V., Panov D., Radovanović R. and Novak Lj: Deposition of some radon Daughters (Po 210, Pb 210) in Rats after inhalation of Radon, with special Consideration of the simultaneous influence of $SiO_2$ Simposium on Diagnosis and Tretment of deposited Radionuclides. Richland, Wash. USA May 15-17 (1967).

4. Kiliberda M., Panov D., Višnjić V., Radovanović R. Hajduković D. et el: Chronical effects of Radon and Daughters on the Respiratory System of Rats. Studia biophysica. Band 6, Heft 2, s.155-162. (1968)

5. Starostjuk E.M. Opredeljenije radioaktivnosti vozduha v nekatorih šahtah Donbass. Trudi Doneckogo medicinskogo instituta. Jubilejnij sbornik. Doneck, 5,1-4 (1940)

6. Bihovskij A.V.: Gigieničeskie voprosi pri podzemnoj razrabotke uranovih rud. Medgiz, Moskva (1963)

7. Jacol P.V.: Occurence of Radon in nonuranium mines in Colorado. Arch. industr. Hyg. 8.118-124 (1953).

8. Haris S.J.: Radon levels found in Mines in New York State. Arch. industr. Hyg., 10.54-60 (1954)

9. Šavo J., Musil K.: Přirozena radioaktivita v CS. uhelnych a rudnych dolech. Pracovni lekarstvi. XVI - 7. 312-314 (1964)

10. Točeva V., Akrabova A.,Vrbanov P.,Rajčeva V.: Estestvenaja radioaktivnost metaličeskih i kamenougoljnih rudnikov v Bolgarii i ee gigieničeskoe značenije. II nacionaljnaja konferencija po radiobiologii, Varna (1967)

11. Pradel J. et all.: Bull. d'Inform. Scient. Techn. Tv.No 2. CEN (5) (1956).

12. Radovanović R.,Hajduković D.: Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na teritoriji SR Srbije. IV jugoslovenski simpozijum iz radiološke zaštite.Baško Polje 28-30 maj (1969).

13. Havlović V.: An Estimation of Radiological Doses for the Population from Radioactive Aerosols and Fall-out. Aerosols - Physical Chemystry and Applications. Chechoslovak Academy of Sciences. Prague (1965)

# PRIJEDLOG ZA MJERENJE KONTAMINACIJE U LABORATORIJIMA ZA RAD S OTVORENIM IZVORIMA

CEROVAC R., HUFNUS R. i BENČAK Z.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Kontaminacije koje su dozvoljene u prostorijama laboratorija, na radnim mjestima i radnim odjelima takve su aktivnosti da njihovo mjerenje izaziva znatne poteškoće. Iznosimo prijedlog kako se pomoću nekih dijelova kontaminiranih površina može problem barem djelomično riješiti.

Mjerenje kontaminacije radnih površina, radne odjeće, podova itd., odgovara mjerenju doza na pojedinim tačkama važnim za zaštitu prilikom rada sa zatvorenim izvorima. Kod zatvorenih izvora uglavnom se radi o dozama reda veličine od mR/sat ili više te gama zračenju. Za takva mjerenja postoji veliki izbor mjernih instrumenata, relativno jeftinih, a sama mjerenja su u većini slučajeva lagano izvodljiva. Kod rada s otvorenim izvorima moramo se držati veličina datih u (1) koji kao dozvoljene granice kontaminacije za beta emitere daju ove vrijednosti:

| Grupa radiotoksičnosti | Radne površine zidovi i podovi | Odjeća |
|---|---|---|
| I | $10^{-3}$ uCi/cm$^2$ | $10^{-4}$ uCi/cm$^2$ |
| II, III, IV | $10^{-3}$ uCi/cm$^2$ | $10^{-4}$ uCi/cm$^2$ |

Ako želimo te granice sigurno mjeriti, moramo imati aparature i način mjerenja takav da barem za najčešće upotrebljavane radioaktivne izotope možemo mjeriti $10^{-5}$ uCi/cm$^2$.

Očito je, da su takva mjerenja teško izvodiva s aparaturama kojima sonda odnosno brojač nije zaštićen. S druge strane brojačem zaštićenim olovnim tornjićem, tehnički je teško izvesti mjerenje radnih i ostalih površina, te odjeće.

Mislimo da vrijedi pokušati to izvesti na slijedeći način. Na određenom broju mjesta na radnim i drugim površinama unaprijed se dio radne površine izradi tako da ga je lako odvojiti od ostale površine, a veličinom i oblikom treba biti prikladan za mjerenje u aparaturama s torljićem. Ako se taj dio površine tretira kao ostala površina (brisanja npr.) u pogledu rada, i ako se te tačke odgovarajuće rasporede, uz poznavanje izotopa s kojima se u laboratoriju radi, možemo dobiti željenu sliku o kontaminaciji pojedinog laboratorija.

Jednostavniji je postupak kod radne odjeće, gdje je dovoljno na važnija mjesta (rukavi, rever) dodati nekoliko $cm^2$ materijala od kojeg je odijelo izraženo i zašivanjem odnosno otkidanjem dobiti oblik prikladan za mjerenja.

Prvi rezultati pokazuju da je takva zamisao u praksi izvodljiva, te da je vrijedna truda potrebnog za njeno usavršavanje.


## Summary

A PROPOSAL FOR THE MEASUREMENT OF CONTAMINATION IN LABORATORIES EQUIPPED WITH UNSEALED RADIATION SOURCES

Measurement of radioactive contaminations permissible in laboratories, work places and work clothes presents considerable difficulties. A proposal is made how to solve the problem, at least partially, by measuring the activity of some parts of contaminated surfaces.


## Literatura


1. Član 7 Pravilnika o stavljanju u promet radioaktivnih materija. Sl.list br. 31, 1965., Beograd.

# UTJECAJ ATMOSFERSKIH UVJETA I OKOLINE NA NIVO PRIRODNE BETA RADIOAKTIVNOSTI ATMOSFERE

POPOVIĆ V. i PICER M.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Radi dobivanja što egzaktnije slike utjecaja atmosferskih uvjeta i okoline na mjerenje i sam nivo prirodne beta radioaktivnosti atmosfere vršena su slijedeća istraživanja:

1. Istražen je utjecaj vlažnosti, temperature i tlaka zraka te je prodiskutiran utjecaj dnevnog temperaturnog gradijenta na nivo radioaktivnosti atmosfere tokom istog dana.

2. Proučen je utjecaj količine oborina i opće vremenske situacije (vjetar, oblačnost, magla i sl.) na nivo prirodne radioaktivnosti atmosfere kao i njezine varijacije tokom godine.

3. Prodiskutiran je nađeni odnos između zacrnjenosti filtrir papira kroz koji je prosisana izvjesna količina zraka i nivoa radioaktivnosti na njemu reteniranih radionuklida. U vezi toga prodiskutirano je i smanjenje mjerenog nivoa prirodne beta radioaktivnosti atmosfere van gusto naseljenih mjesta.

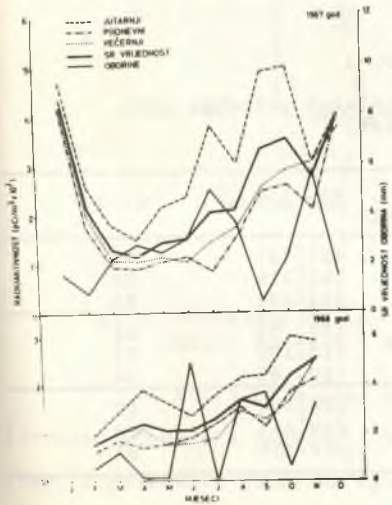
## Uvod

Radi procjene nivoa opasnosti kao i same detekcije radioaktivne kontaminacije atmosfere veoma je korisno proučiti ponašanje nivoa prirodne beta radioaktivnosti kao i faktora koji utječu na njeno ponašanje. U literaturi se spominju uglavnom dva faktora koji utječu na nivo prirodne radioaktivnosti atmosfere - meteorološki (1) i okoline (2). U našim istraživanjima metode brze registracije radioaktivnih padavina već duže vrijeme proučavamo navedene utjecaje te smatramo korisnim da ih i ovdje iznesemo.

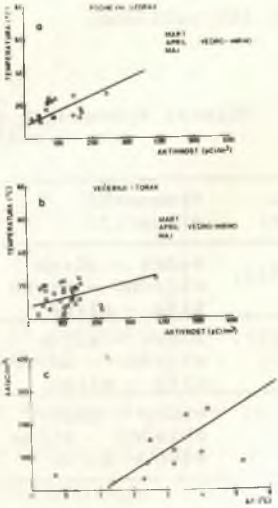
## Metodika, rezultati i diskusija

### a/ Utjecaj nekih meteo uvjeta na nivo prirodne beta radioaktivnosti atmosfere

Tokom 1967. i 1968. godine a i dalje pratili smo dnevne i mjesečne varijacije prirodne beta radioaktivnosti atmosfere Zagreba. Uzorci se uzimaju u $7^{00}$ (jutarnji), $12^{00}$ podnevni i $18^{00}$ večernji. Mjerenje radioaktivnosti opisali smo već u našem prijašnjem radu (3). Vidi se da postoji izražena tendencija povišenja nivoa prirodne beta radioaktivnosti u zimskim mjesecima. Dalje vidimo da postoji izvjesni negativni korelacioni odnos između nivoa prirodne radioaktivnosti atmosfere i količine oborina, slično kao što taj odnos postoji i za produkte nuklearnih eksplozija.




Sl.1 Prirodna radioaktivnost atmosfere Zagreba i količina oborina




Sl.2 Odnos radioaktivnosti i temperature zraka

Iz podataka praćenja utjecaja meteo uvjeta na nivo prirodne beta radioaktivnosti atmosfere (4, 5) došli smo do zaključka da postoji izvjestan signifikantan utjecaj temperature okoline na radioaktivnost atmosfere, dok se utjecaj vlažnosti i tlaka zraka može zanemariti. Na slici 2 prikazan je odnos nivoa radioaktivnosti atmosfere i temperature okoline (a i b). Vidi se da postoji pozitivni korelacioni odnos između temperature i radioaktivnosti, a što je osobito izraženo u podnevnim uzorcima. Radi opaženih razlika u radioaktivnosti jutarnjih i podnevnih uzoraka zraka, što je osobito izraženo u ljetnim mjesecima (sl.1), načinili smo odnos razlika temperatura $\Delta t$ i razlika radioaktivnosti $\Delta A$ između jutarnjih i podnevnih uzoraka. Kako se vidi iz slike 2c dobiven je prilično dobro izražen pozitivni korelacioni odnos između tih veličina.

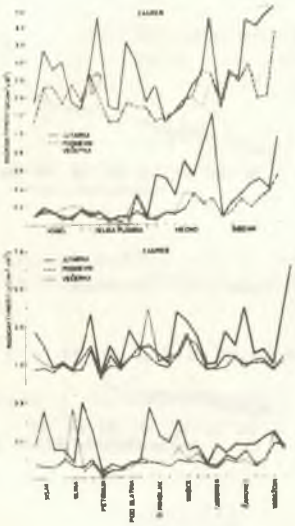
TAB. br. 1

Utjecaj vremenskih prilika na nivo prirodne beta radioaktivnosti

| Grupa mjeseci | Vremenska situacija | Broj uzoraka | $\bar{A}\pm S$ (pCi/m$^3$) | Sr % |
|---|---|---|---|---|
| XI, XII, I | vedro - mirno | 73 | 422±321 | 76 |
| | oblačno - mirno | 60 | 392±219 | 56 |
| | kiša - mirno | 29 | 341±222 | 65 |
| II, III, IV, V, VI | vedro - mirno | 103 | 134± 86 | 64 |
| | oblačno - mirno | 63 | 142±109 | 77 |
| | kiša - mirno | 19 | 120± 67 | 56 |
| VIII, IX, X | vedro - mirno | 89 | 238±124 | 52 |
| | oblačno - mirno | 62 | 229±147 | 64 |
| | kiša - mirno | 17 | 217±137 | 63 |

Na tablici 1 prikazane su srednje vrijednosti, standardne i relativne standardne devijacije radioaktivnosti zraka za navedene grupe mjeseci i opisane vremenske situacije. Iz navedene tablice vidi se da nema nekih signifikantnih utjecaja same vremenske situacije na nivo prirodne radioaktivnosti.

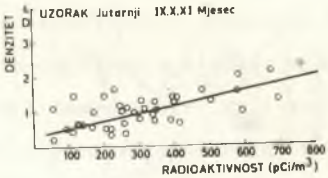
b/ Utjecaj okoline

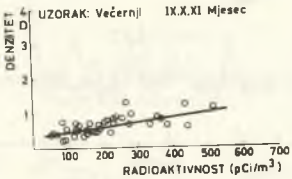


Sl.3 Usporedba dnevne varijacije radioaktivnosti atmosfere Zagreba i ostalih mjesta

Na sl. 3 prikazane su dnevne varijacije nivoa radioaktivnosti atmosfere Zagreba i navedenih mjesta mjerenih 1967. i 1968. U navedenim mjestima mjerenje radioaktivnosti zraka vršilo se istovremeno i na jednaki način kao i u Zagrebu. Vidi se da postoje znatne razlike između nivoa prirodne radioaktivnosti zraka Zagreba i ostalih mjesta. Uporedivanjem zacrnjenosti filtrir pa-

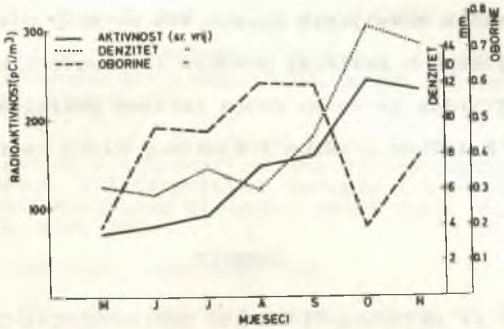
pira u Zagrebu s ostalim mjestima opazili smo veoma velike razlike pa nas je to potaklo da ispitamo ima li nekog utjecaja i količina prašine na nivo radioaktivnosti atmosfere. Budući da su prosisane količine zraka male, to nismo mogli prašinu na papiru vagati nego smo vršili uporedna mjerenja zacrnjenosti filtrir papira s radiološkim denzitometrom "Baldwin" Engleska.




Sl.4 Odnos između zacrnjenosti filtrir papira i radioaktivnosti u zraku

Iz sl. 4 vidi se da postoji dobro izražen pozitivni korelacioni odnos zacrnjenosti (D) filtrir papira i nivoa prirodne beta radioaktivnosti atmosfere.




Sl.5 Usporedba mjesečnih nivoa radioaktivnosti atmosfere, količina oborina i zacrnjenosti filtrir papira

Iz slike 5 vidi se dobro izražen pozitivni korelacioni odnos između denziteta i radioaktivnosti, dok je taj odnos obrnut u slučaju oborina i denziteta.

## Zaključak

Iz prikazanih rezultata naših istraživanja možemo dati slijedeći zaključak:

1. Utvrđeno je sezonsko mijenjanje prirodne beta radioaktivnosti atmosfere i to sa zimskim maksimumom i ljetnim minimumom.

2. Opaženo je povećanje radioaktivnosti s povišenjem temperature okoline. Istovremeno je opažen pozitivni korelacioni odnos između porasta aktivnosti i porasta temperature jutarnjih i

podnevnih uzoraka.

3. Opaženo je osjetljivo smanjenje radioaktivnosti atmosfere van većih naseljenih mjesta što se može djelomično protumačiti razlikama u količini prašine i atmosferi raznih mjesta.

4. Utvrđen je veoma dobro izražen pozitivni korelacioni odnos između količine prašine i mjerenog nivoa radioaktivnosti atmosfere.


## Summary

THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS UPON THE LEVEL OF NATURAL BETA RADIOACTIVITY IN THE ATMOPSHERE

To obtain as accurate as possible a picture of the influence of atmospheric conditions and environment upon the measuring procedure and on the level of natural beta radioactivity in the atmosphere the following studies have been carried out:

1. The effect of humidity, temperature and pressure of air was examined and the effect of daily temperature gradient upon the level of atmospheric radioactivity in the course of the same day was discussed.

2. The effect of the amount of atmospheric precipitation and of the general weather situation (windiness, cloudiness, fog, eto.) upon the level of natural radioactivity in the atmosphere as well as upon its variations in the course of a year were studied.

3. The relationship between the degree of density of the filter paper through which a certain quantity of air was pumped and the activity level of radionuclides retained was analyzed. In this connection a lower level of natural beta radioactivity in the atmosphere outside densely populated areas is discussed.

## Literatura

1. REITER R.Z., Naturforsohung 11a, 411 (1956)

2. LOCKHART L.B.Jr. and PATTERSON R.L.Jr., (1963) u knjizi "The Natural Radiation Environment" Ed. Adams and Lowder, Rice University, London 1964.

3. POPOVIĆ V., PICER M., Mogućnost brze registracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata. III Simpozijum Merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizujućeg zračenja, Banja Luka. 1967. Zbornik materijala, str. 262.

4. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-3, 1967.

5. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-6, 1968.

# REZULTATI KONTROLE INDIVIDUALNO PRIMLJENIH DOZA POMOĆU FILM-DOZIMETRA U PERIODU 1964 - 1968 GOD

I.Mirić, P.Mirić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

## Rezime

U radu su prikazani rezultati petogodišnje kontrole individualno primljenih doza zračenja pomoću film-dozimetra. Dat je kratak prikaz mogućnosti film-dozimetara koji se u Laboratoriji za zaštitu od zračenja IBK koriste za odredjivanje integralnih doza zračenja.

Posebno su analizirane primljene doze u zavisnosti od različitih faktora (priroda posla, izvori zračenja i dr.).

Analize primljenih doza prvenstveno se odnose na rezultate kontrole u IBK, a dat je i pregled rezultata jednogodišnje kontrole u industriji.

## Uvod

Individualno primljene doze u IBK sistematski se kontrolišu od 1960 god. Do tada kontrola je vršena samo na pojedinim radnim mestima, rezultati kontrole nisu evidentirani na odgovarajući način, tako da se za taj period može rekonstruisati vrednost primljenih doza samo za pojedine osobe.

Sistem lične dozimetrijske kontrole koji je postavljen 1960 godine(1), ostao je do danas uglavnom neizmenjen. Odredjivanje individualno primljenih doza vrši se pomoću film-dozimetra, a na mestima gde postoji opasnost od nepredvidjenog prekoračenja maksimalno dozvoljenih doza, pomoću film i penkalo-dozimetra. Penkalo-dozimetar se koristi samo kao indikator ozračenosti, tako da se primljene doze zračenja odredjuju na osnovu pokazivanja film-dozimetra.

## Film-dozimetar

Film-dozimetar se sastoji od dozimetrijskog filma, kasete sa filtrima i polivinilske kesice u koju se film i kaseta hermatički zatvaraju(2).

Odredjivanje individualno primljenih doza do kraja 1967 god. vršeno je na osnovu zacrnjenja Ilford PM-1 dozimetrijskog filma. Ovaj film ima samo jednu vrstu emulzije i njegova primena je ograničena na relativno mali opseg doza. Za gama zračenje ovaj opseg iznosi 50 mR-10 R. Zbog toga je odlučeno da se Ilford PM-1 zameni Kodak RM filmom koji sadrži dve različito osetljive emulzije i može da pokrije opseg doza gama zračenja od 50 mR do 1000 R. Danas se nalazimo u prelaznoj fazi, tako da vršimo kontrolu Ilford PM-1 i Kodak RM filmovima.

U kasete dozimetra ugradjeni su različiti filtri, zavisno od vrste zračenja kojim kontrolisana osoba može da bude ozračena: za osoblje IBK i lica koja rade sa emiterima beta, gama i neutronskog zračenja, koriste se kasete sa filtrima od Sn i Cd, dok su u kasete namenjene kontroli individualno primljenih doza X i gama zračenja ugradjeni Cu-filtri.

## Odredjivanje primljenih doza zračenja

Film-dozimetrom mogu da se odrede individualno primljene doze od beta, gama, X zračenja i termalnih neutrona. Za uspostavljanje veze izmedju zacrnjenja i doze koriste se gama kalibraciona kriva dobijena izvorom Ra-226 i različiti faktori kojima se koriguje varijacija osetljivosti dozimetra sa energijom i vrstom zračenja. Ovi faktori su eksperimentalno odredjeni za svaku varijantu film-dozimetra, pri čemu su takodje definisani uslovi pod kojima oni mogu da se koriste[3,4,5,6].

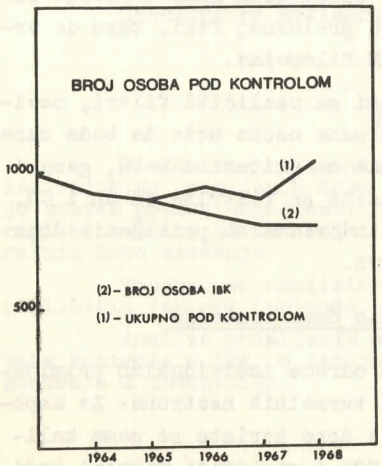
## Evidentiranje doza

Pomoću film-dozimetra vrši se mesečna kontrola individualno primljenih doza. Registrovane doze se upisuju u lični dozimetrijski karton u koji se, sem totalne doze, evidentira i koliki je doprinos od pojedinih komponenata. Krajem svake godine obračunava se ukupno primljena doza; za lica kod kojih postoji opasnost prekoračenja doze od 5 rem godišnje, obračunavanje primljenih doza se vrši povremeno i u toku godine.

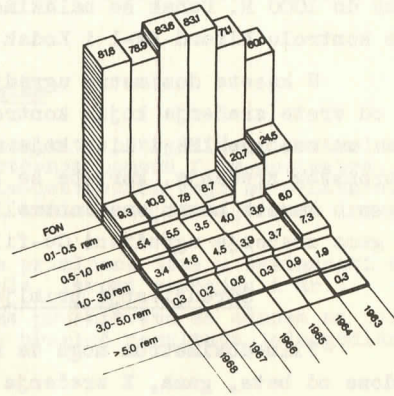
Dozimetrijski filmovi svih kontrolisanih osoba, zajedno sa odgovarajućim kalibracionim filmovima, čuvaju se kao dokument od 1960 god., tako da se pri pojavi nekih spornih slučajeva vrednost primljene doze može rekonstruisati.

## Rezultati kontrole za period 1964 - 1968 god.

Ukupan broj lica pod kontrolom kretao se izmedju 900 i 1050 godišnje (slika 1.). Karakteristično je da je broj kontrolisanih osoba u Institutu do 1967 god. stalno opadao (kriva 1), a da je u industriji i medicinskim ustanovama rastao zbog veće primene jonizujućih zračenja.




Slika 1. Broj osoba pod kontrolom u periodu 1964-1968 god.

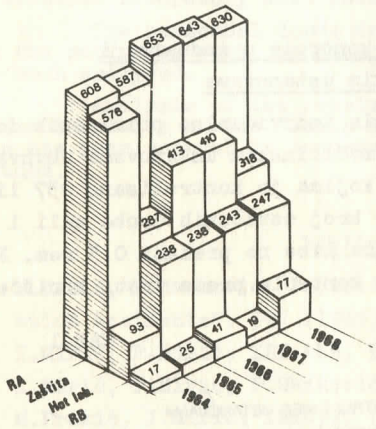



Slika 2. Procentualno izražena raspodela individualno primljenih doza u periodu 1963-1968 god.

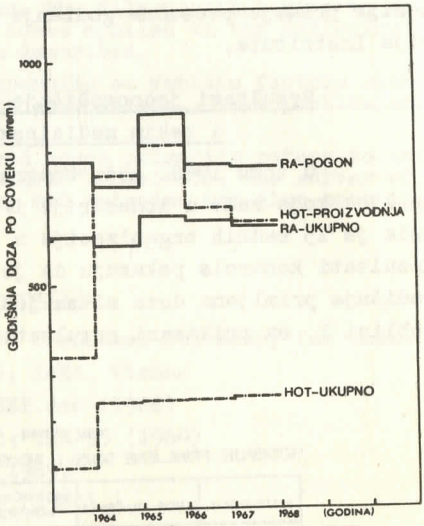
Raspodela vrednosti godišnjih primljenih doza u periodu 1964-1968 god. za osoblje IBK prikazana je na slici 2. Kao što se sa slike vidi, u navedenom periodu nije bilo prekoračivanja godišnje maksimalno dozvoljene doze od 5 rem, što se može smatrati kao posledica primene odgovarajućih mera zaštite i stalne kontrole radijacionih polja na radnim mestima. Medjutim, u toku 1963. god. koja je, poredjenja radi, prikazana na istoj slici, ukupna doza za Institut je bila znatno veća, a tri lica su ozračena dozom većom od 5 rem godišnje. Ova godina je karakteristična po tome što su na reaktoru RA vršeni specifični radovi u vrlo jakim radijacionim poljima.

Analiza rezultata kontrole pokazuje da godišnje doze veće od 1 rem primaju uglavnom lica koja rade na poslovima oko reaktora RA, u Laboratoriji za hemiju visoke aktivnosti i u

Laboratoriji za zaštitu od zračenja. Srednje godišnje doze po čoveku za ove laboratorije su prikazane na slici 3., zajedno sa dozama u jednoj od tipičnih laboratorija u kojima pri normalnim uslovima rada godišnje individualno primljene doze ne prelaze 1 rem. Sa slike se vidi da je prosečna godišnja doza po čoveku na reaktoru RA približno konstantna, u Laboratoriji za hemiju visoke aktivnosti postepeno raste, dok u Laboratoriji za zaštitu od zračenja varira.




Slika 3. Srednje godišnje doze po čoveku na reaktoru RB, Laboratoriji za hemiju visoke aktivnosti(Hot), Laboratoriji za zaštitu od zračenja i reaktoru RA




Slika 4. Srednje godišnje doze po čoveku na reaktoru RA, pogonu reaktora RA, proizvodnji izotopa i Laboratoriji za hemiju visoke aktivnosti kao celini

Detaljnija analiza pokazuje da osoblje reaktora RA kao celina ima najveće srednje godišnje doze po čoveku i da ozračenost osoblja koje radi u pogonu nije mnogo veća od ozračenosti lica koja rade u ostalim službama na reaktoru (sl.4, krive izvučene punim linijama).

U Laboratoriji za hemiju visoke aktivnosti srednja godišnja doza po čoveku je relativno niska, dok su srednje godišnje doze za lica koja rade na proizvodnji izotopa relativno visoke i nalaze se na nivou doza za osoblje reaktora RA. Iz ovoga sledi da ostala lica u ovoj laboratoriji primaju godišnje doze koje su po redu veličine iste kao doze u ostalim laboratorija-

ma Instituta (sl.4, krive izvučene crticama).

U Laboratoriji za zaštitu od zračenja visoke godišnje doze primaju lica koja vrše dozimetrijsku službu u pogonima gde je ozračenost ljudi visoka, lica koja rade na poslovima dekontaminacije, transportu i stokiranju radioaktivnih efluenata i baždarenju dozimetrijske instrumentacije. Ostali saradnici Laboratorije primaju prosečne godišnje doze na nivou ostalih laboratorija Instituta.

## Rezultati jednogodišnje kontrole u industriji i nekim medicinskim ustanovama

U toku 1968. god. kontrola individualno primljenih doza za lica koja rade u industriji i medicinskim ustanovama ubuhvatala je 15 radnih organizacija u kojima je kontrolisano 237 lica. Rezultati kontrole pokazuju da je broj ozračenih osoba mali i da godišnja primljena doza ni za jedno lice ne prelazi 0,5 rem. Na tablici 1. su prikazani rezultati kontrole prema vrsti korišćenih instrumenata sa izvorima zračenja. Za lica čija radna mesta nisu prikazana u tablici, a koja rade na drugim poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja, godišnja primljena doza ima red veličine prirodnog fona.

TAB.1

1968 GODINE

GODIŠNJE PRIMLJENE DOZE U INDUSTRIJI I MED. USTANOVAMA

| INSTRUMENT | IZVOR ZRAČENJA | BROJ LICA POD KONTROLOM | BROJ OZRAČENIH OSOBA DOZOM | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | <0,1 rem | 0,1-0,5 rem | >0,5 rem |
| NIVOMER | $^{60}Co$ | 38 | 38 | – | – |
| DEBLJINOMER | $^{85}Kr$ $^{90}Sr$ | 106 | 105 | 1 | – |
| BROJČANICI | $^{226}Ra$ | 20 | 17 | 3 | – |
| Ra-APARATI (MED. OSOBLJE) | X-ZRAČENJE (40 KeV-110 KeV) | 23 | 2 | 2 | – |

## Zaključak

U proteklom periodu od 5 godina nije bilo akcidentalnih situacija u kojima bi došlo do većeg spoljnjeg ozračivanja ljudi koji su pod kontrolom Laboratorije za zaštitu od zračenja. U normalnom radu sa izvorima zračenja, sprovodjenjem mera zaštite i stalnom kontrolom primljenih doza, postignuto je da se ozrači-

vanje ljudi svede na dozvoljene granice.


## Resume

RESULTS OF THE PERSONNEL DOSIMETRY CONTROL BY FILM-BADGE IN THE PERIOD 1964 - 1968.

The paper deals with the results of five year personnel dosimetry control by film badges. The film possibilities in detecting the integral radiation doses applied in the Radiation Protection Laboratory have been described.

The personnel doses depending on various factors such as the nature of work, radiation sources etc., have particularly been analysed.

Analysis of the received doses primarily refers to the control results of the "Boris Kidrič" Institute; the survey of the one year control in industry and medecine has also been included.


## Bibliografija


1. I.Mirić, P.Marković, P.Mirić; Personnel Dosimetry for Radiation Accidents", 597 (1965), IAEA, Vienna
2. I.Mirić, P.Mirić; IBK-415, III.deo (1966)
3. I.Mirić, P.Mirić, P.Marković; IBK-95 (1964)
4. M.Prokić, I.Mirić; IBK-777 (1969)
5. I.Mirić, magistarski rad,PMF (1963)
6. M.Prokić; Ispitivanje karakteristika Film-dozimetra IBK sa Kodak;RM dozimetrijskim filmom, IV simp. Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, Baško Polje (1969)

# O NEKIM MERENJIMA U POLJU SEKUNDARNOG ZRAČENJA

HROVAT I.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Zbog zaštite radnika koji rade na području gama defektoskopije mereno je sekundarno polje zračenja kod ekspozicije čelika primarnim gama zracima. Merni rezultati dati su u diagramima. Iz ovih rezultata proizlaze uputetva za rad sa izotopima (kvalitet kontejnera, nošenje kecelje i sl.).

Ako pogledamo mesečne primljene doze radnika koji rade na industrijskoj gama defektoskopiji vidimo veliku razliku u primljenim dozama radnika koji rade u laboratorijama i radnika koji izvode defektoskopiju na terenu. Diagram broj 1.

U industrijskoj defektoskopiji problemi zaštite od zračenja u velikoj su meri vezani sa ekonomikom izvodjenja radova. Ekonomika defektoskopije traži da u što kraćem vremenu snimimo uz što manju geometrijsku neoštrinu što veću ispitivanu površinu. Ovu problematiku možemo reducirati na sledeće glavne tačke:

a) Aktivnost radioaktivnog izvora. Sa velikim aktivnostima skraćujemo vreme ekspozicije. Velike aktivnosti omogućuju veće udaljenosti ispitivanog predmeta od izotopa, što znači bolju geometrijsku oštrinu i mogućnost ozračivanja velikih površina.

b) Dimenzija defektoskopa. Defektoskop velikih dimenzija zrači malo "slepog zračenja" ali je zato za terenski rad zbog svoje težine nepraktičan. Transport teškog defektoskopa na radno mesto povećava vreme trajanja ispitivanja a s time i njegovu cenu. Zbog toga se skoro redovito u terenskoj defektoskopiji upotrebljavaju defektoskopi manje težine koji naravno emitiraju mnogo više "slepog zračenja".

c) Blende na defektoskopu. Sa savremenim defektoskopom možemo reducirati snop zračenja na ispitivani deo materijala. Na primer kod ispitivanja varova korisna je površina samo tra- [illegible] širok nekoliko centimetara uz zavareno mesto. Ako de-

fektoskop nema mogućnosti blendanja ozračuje se velika površina ispitivanog materijala, a ta velika površina zrači proporcionalno više sekundarnih zraka.

d) Nošenje zaštitne kecelje. Općenito se kod nas zadržalo mišljenje da kod rada sa gama zračenjima nošenje zaštitne kecelje i zaštitnih rukavica ubog tvrdoće zraka nema smisla. To mišljenje proizlazi po jednoj strani zbog slabog poznavanja karakteristika sekundarnog zračenja a po drugoj strani verovatno i zbog toga jer se radnik opremljen sa zaštitnim sredstvima na radnom mestu brže umara, a osim toga on je neokretniji, pa se zbog toga smanjuje ekonomika rada.

Vršena su sledeća merenja:

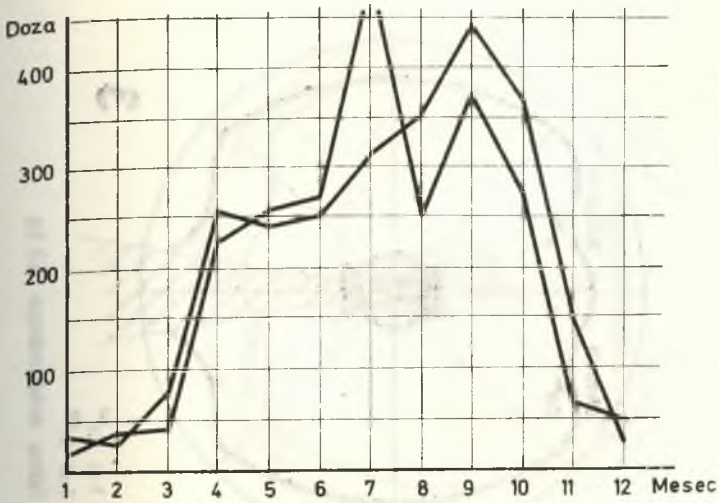
- raspodela slepog zračenja oko defektoskopa. Na diagramu broj 2 vidimo raspodelu slepog zračenja oko defektoskopa promera 2o cm Pb. Nacrtana je izodozna kriva za izotope 1 ci Co-6o i 1 ci Ir-192. Težina takvog defektoskopa iznosi 58 kg. Jasno je da je sa tako teškim defektoskopom terenski rad jako otešćoćen.
  Na diagramu broj 3 vidimo raspodelu doze za iste aktivnosti izotopa koji se nalazi u defektoskopu promera 12 cm Pb čija težina iznosi 12 kg. Takav je defektoskop upotrebljiv za terenski rad. Doze koje prima radnik kod takvog defektoskopa previsoke su u slučaju da se u defektoskopu nalazi Co-6o.
- brzina doze sekundarnih zračenja u zavisnosti od eksponirane površine i energije primarnog zračenja. Na diagramima broj 4, 5 i 6 vidimo brzinu doze sekundarnog zračenja koje zrači na jednom metru udaljenosti eksponirana površina. Dok je kod malih eksponiranih površina sekundarno zračenje istog reda veličine kao i slepo zračenje, opažamo kod velikih eksponiranih površina mnogo veći uticaj sekundarnog zračenja.
- energija slepog zračenja i sekundarno zračenje. Na diagramima broj 7 i 8 vidimo energetsku distribuciju slepog i sekundarnog zračenja izotopa Cs-137.

Iz ovih merenja možemo postaviti sledeća pravila zaštite na radu kod industrijske gamagrafije:

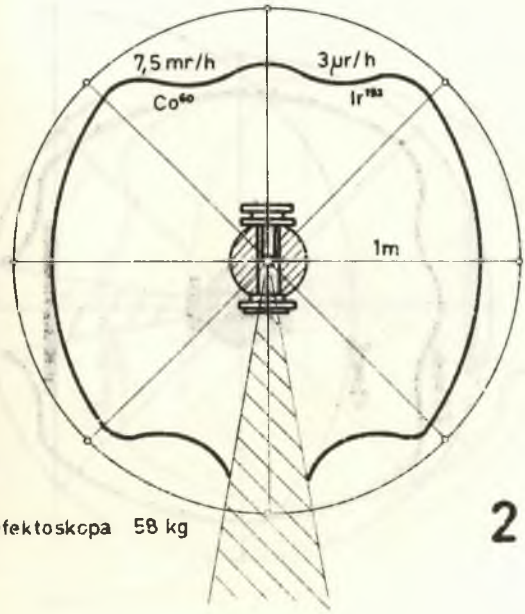
1. defektoskopi moraju biti pravilno dimenzionirani a s obzirom na ekonomiku rada pokazala se potreba da od olovnih defektoskopa i kontejnera predjemo na uranske defektoskope i kontejnere
2. nabavka defektoskopa sa propisanim blendama koje omogućuju smanjivanje ozračene eksponirane površine
3. nošenje zaštitne kecelje i zaštitnih rukavica, a to osobito kod zračenja iridiuma, čije su sekundarne zrake mekane.


About some measurings in the field of scattering radiation

With the intention to protect workers on the field of gamma-defectoscopy we made measurings of the field of scattering radiation by exposing of steel to primary gamma-radiation. The results of these measurings are described in the form of diagrams. These results give us directions for handling of isotopes.

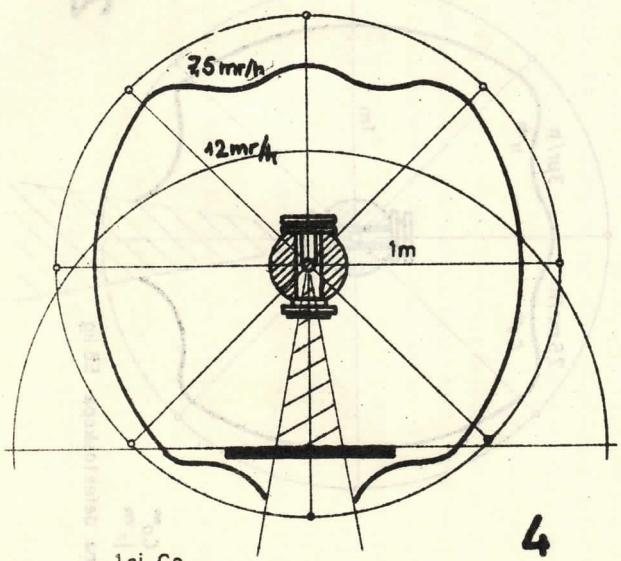



# Diagram 1



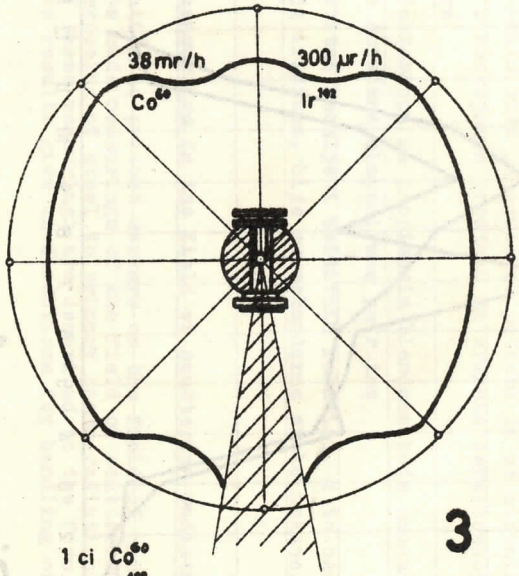

1 ci $Co^{60}$
1 ci $Ir^{192}$
Težina defektoskopa 58 kg

2



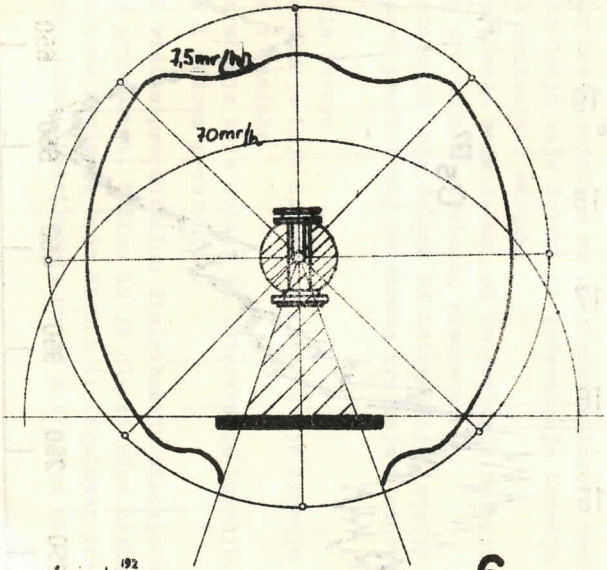

4

1 ci Co
r = 60 cm
polje 10 x 10 cm = 100 cm²



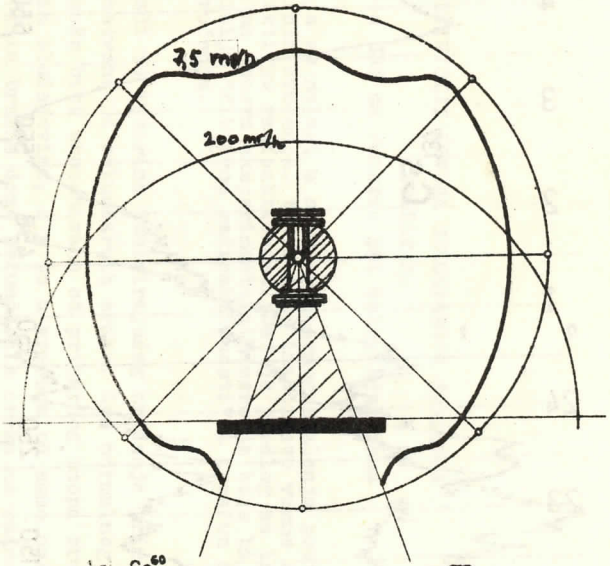

3

1 ci $Co^{60}$
1 ci $Ir^{192}$
Težina defektoskopa 6,3 kg



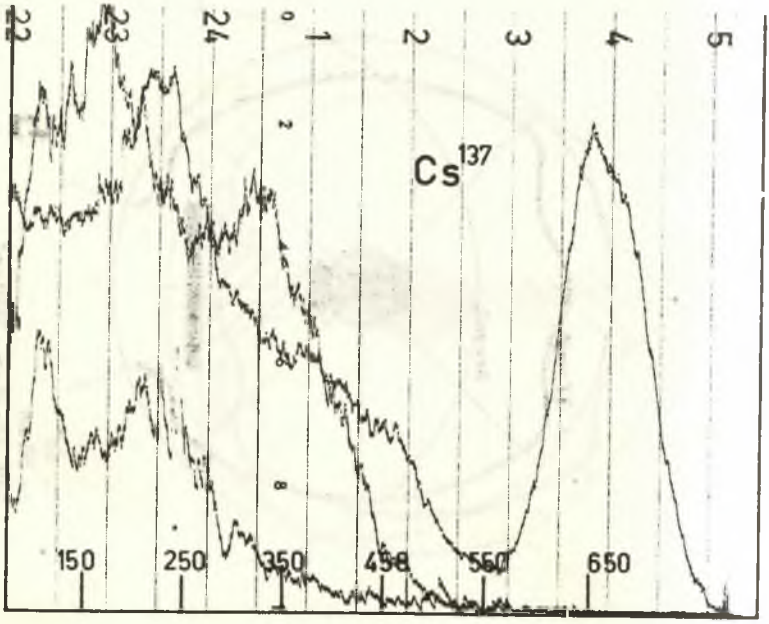

1 ci $Ir^{192}$
r = 60 cm
polje 40 x 40 cm = 1600 $cm^2$

6

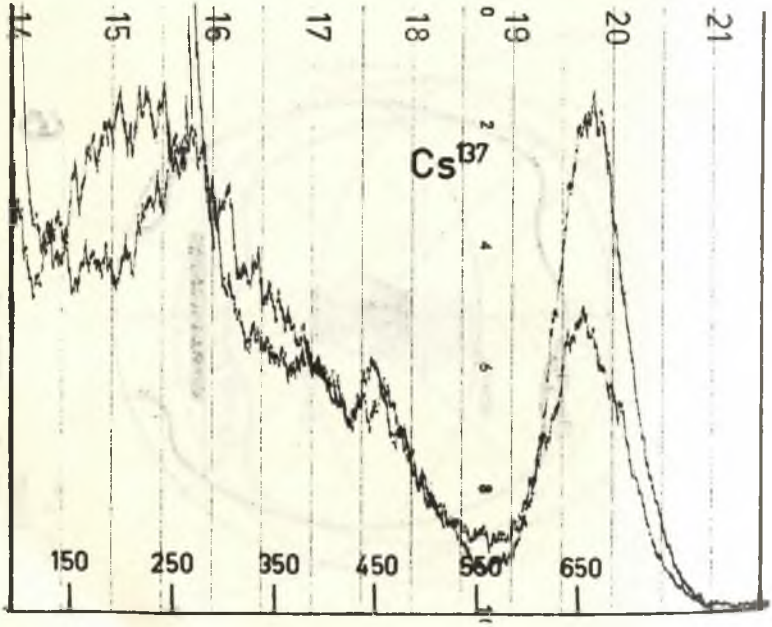



1 ci $Co^{60}$
r = 60 cm
polje 40 x 40 cm = 1600 $cm^2$

5


Cs137
150
250
350
450
550
650
22
23
24
0
1
2
3
4
5

7.


Cs137
150
250
350
450
550
650
14
15
16
17
18
19
20
21

8.

# O DEFINICIJI IZVORA SEKUNDARNOG ZRAČENJA

STERLE M.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Svako telo koje se nalazi u snopu primarnog zračenja postaje izvor sekundarnih zračenja. Takvo telo ima čitavo vreme ekspozicije neku fiktivnu radioaktivnost. Dat je predlog za izradu tabela, a sve na osnovu eksperimentalnih merenja koje bi služile za definiciju "fiktivne radioaktivnosti" i izračun doza sekundarnog zračenja.

Radnik koji radi sa izvorima ionizirajućeg zračenja prima dozu zračenja prvenstveno od sekundarnih zraka. Kod normalnog rada njegovo telo može biti eksponirano od primarnog snopa zračenja samo u iznimnim slučajevima, a i to u vremenu od samo nekoliko sekundi. Raspodela brzine doze sekundarnih zraka na radnom mestu je nepoznanica koja zavisi od mnoštva faktora, dok za snop primarnog zračenja poznajemo sve podatke.

Radnik na radnom mestu ozračuje se od sledećih izvora zračenja:

a) sekundarno zračenje koje dolazi od interakcije izmedju primarnog snopa zračenja i vazduha
b) sekundarno zračenje koje dolazi od interakcije izmedju primarnog snopa zračenja i ozračenog predmeta
c) sekundarno zračenje koje dolazi od interakcije izmedju kroz ozračen predmet propustenog primarnog zračenja i zidova prostorije
d) slepo zračenje izvora
e) sekundarno zračenje koje dolazi od interakcije izmedju slepog zračenja i vazduha
f) sekundarno zračenje koje dolazi od interakcije izmedju slepog zračenja i zidova prostorije.

Na slici broj 1 vidimo procentualnu distribuciju uticaja svih ovih zračenja u prostoriji. Vidimo da je glavni udeo brzine doze donelo sekundarno zračenje koje dolazi iz ozračenog predmeta. Ova se procentualna distribucija menja s obzirom na sledeće variabile:

- dimenzija prostorije
- dimenzija kontejnera
- aktivnost izvora
- energija primarnog zračenja
- materijal ozračenog predmeta
- dimenzija ozračenog predmeta
- širina snopa primarnog zračenja
- materijal stena prostorije

Bez obzira na sve te variable glavni procentualni udeo brzine doze sekundarnih zraka daje pored slepog zračenja ozračen predmet. To znači da možemo aproksimativnu brzinu doze sekundarnih zraka računati na taj način da smatramo ozračen predmet kao izvor sekundarnog zračenja. Takvom telu koje za čitavo vreme ekspozicije zrači možemo pripisati neku fiktivnu radioaktivnost, jer čemo na taj način jednostavnim računom izračunavati dozu sekundarnog zračenja.

U principu morali bi se odlučiti da li se ta fiktivna radioaktivnost definiše kao aktivnost jednog $dm^2$ ozračene površine ili da se ta fiktivna aktivnost definiše kao aktivnost jednog $dm^3$ ozračene materije. Na slici broj 2 prikazana su dva ekstremna slučaja potrebe jedne i druge definicije. Općenito ja sam definirao kod ozračivanja planparalelnih materijala fiktivnu aktivnost na $dm^2$, a kod ostalih materijala - i kod ljudskog tela— fiktivnu aktivnost na $dm^3$

$$A' = \frac{A.I_\gamma}{r^2} \cdot p \cdot G(\varrho, \varphi)$$

formula za ozračivanje planparalelne ploče sa izotopom

$$A' = \frac{D}{min} \cdot w \cdot R(\varrho, \varphi)$$

formula kod ozračivanja čovećeg tela rentgenskim zracima

U gornjim formulama znače :

A' - fiktivna aktivnost izražena u mci
A - aktivnost izotopa
$I_\gamma$ - konstanta doze
r - udaljenost ozračenog predmeta od izotopa
p - površina ozračenog predmeta

D/min - brzina doze rentgenskog zračenja na mestu ozračenog tela

v - volumen ozračenog tela

G - funkcija koja definira fiktivnu radioaktivnost u zavisnosti od gustine materijala i pravca sekundarnog zračenja. Ta funkcija daje vrednost fiktivne radioaktivnosti izražene u mci kod ozračene površine jednog $dm^2$ i sa brzinom doze jednog r/h.

R - funkcija koja definiše fiktivnu radioaktivnost u zavisnosti od gustine materijala i pravca sekundarnog zračenja. Ta funkcija daje vrednost fiktivne radioaktivnosti izražene u mci ozračenog volumna jednog $dm^3$ i sa brzinom doze jednog r/min.

Napravljen je eksperimentalni pokušaj merenja i utvrdjivanja te fiktivne radioaktivnosti. Kod eksperimenta svesno smo zanemarili merenje energije sekundarnih zraka, a to zato jer je doza u području energetskog područja sekundarnih zraka prilično konstantna. Slika broj 3 prikazuje način vodjenja eksperimenta.

Obradjena su dva ekstremna primera:

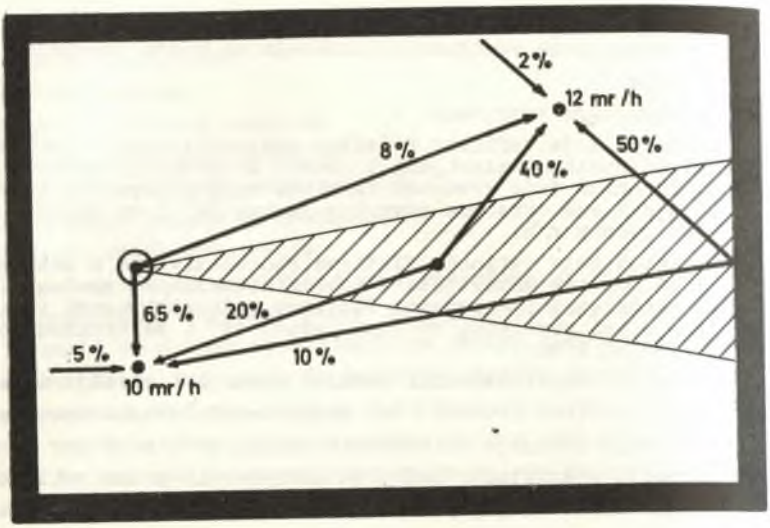
a) ozračivanje planparalelne ploče od željeza izotopom Cs-137

b) ozračivanje vode rentgenskim zračenjem energije 7o keV.

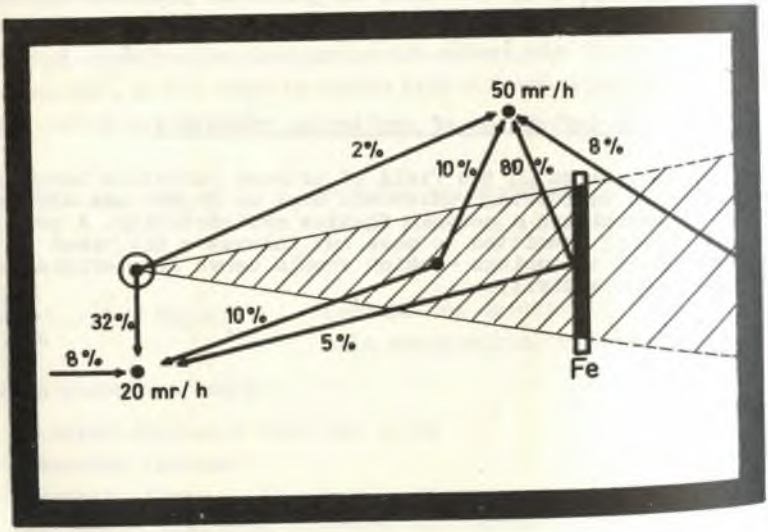
Na slikama broj 4 a) i b) date su grafičkim prikazom vrednosti funkcije G i B.

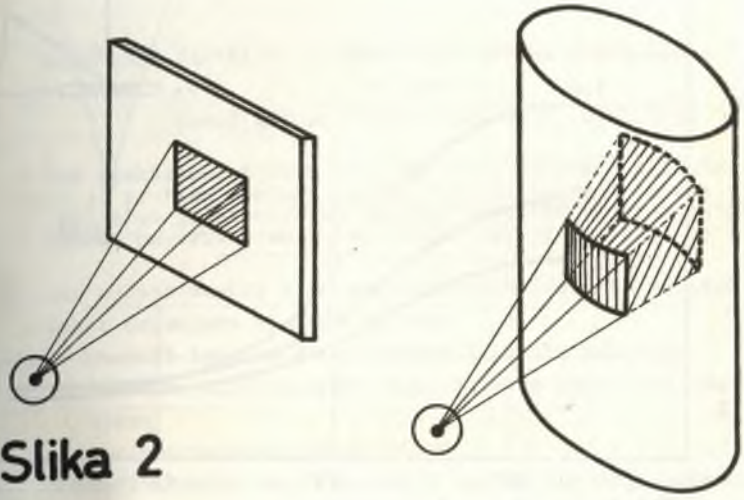
## On definition of scattering radiation

Any object placed in the field of primary radiation becomes a source of scattering radiation. Such an object has all the time of exposition a certain fictive radioactivity. A proposition is being submitted to make out indexes - all based on experimental measurings - which should serve for defining of fictive radioactivity.



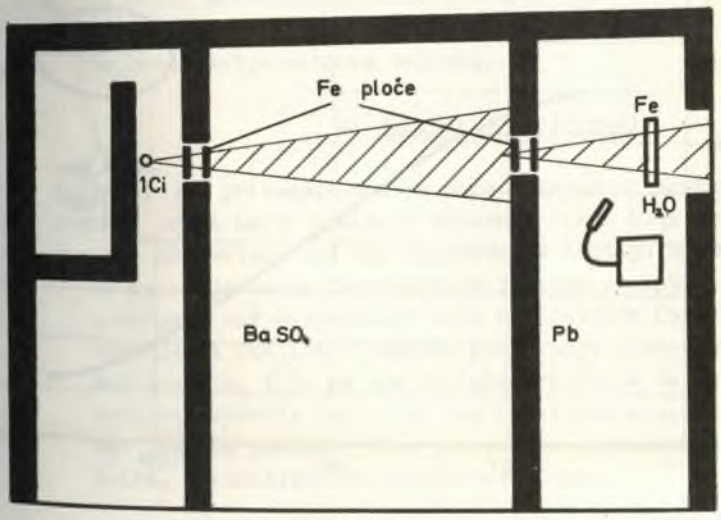

**Slika 1** 1 ci Co 10 cm Pb 2 cm Fe

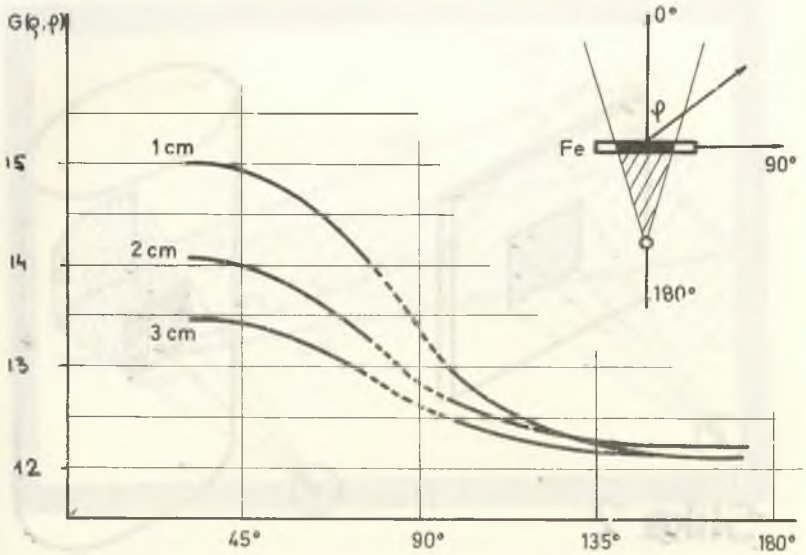




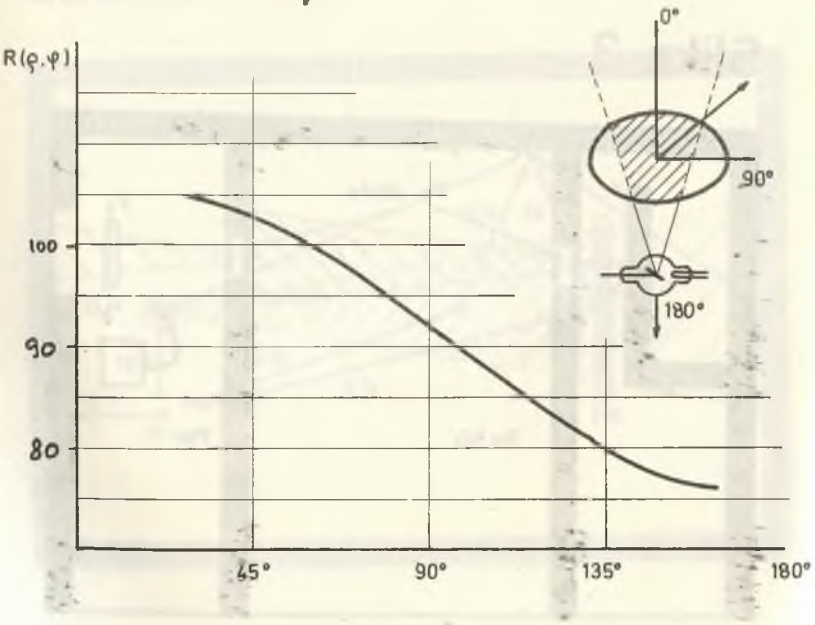
Slika 2

Slika 3




G(ρ,φ)
15
14
13
12
1 cm
2 cm
3 cm
45°
90°
135°
180°
0°
φ
Fe
90°
180°

Slika 4 a,b


R(ρ,φ)
100
90
80
45°
90°
135°
180°
0°
90°
180°

# VAKUUMSKO NAPARIVANJE ALFA SCINTILATORA I MERENJE ALFA SPEKTRA

KRIŽMAN M.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Kod spektrometrijskih merenja slabo aktivnih alfa izvora glavni je problem kontakt izmedju scintilatora i izvora zračenja. Paralelno je napravljen pokušaj uspostaviti taj kontakt vakuumskim naparivanjem i lakiranjem izvora zračenja scintilatorom.

Ako želimo meriti alfa spektar scintilacionim metodom moramo imati ispunjene sledeće uslove:

- kontakt izmedju scintilatora i izvora zračenja
- debelinu scintilatora koja odgovara putu alfa čestice kroz njega
- transparentnost scintilatora

Kontakt izmedju scintilatora i izvora zračenja možemo postići ili lakiranjem izvora ili vakuumskim naparivanjem scintilatora na izvor zračenja. Pošto mora scintilator imati odredjenu debelinu i dobru transparencu pojavljuju se sledeći problemi:

- naparen scintilator ima odličnu transparencu ali je te ko napariti scintilator odredjene debeline
- lakiran scintilator ima lošu transparencu a zato lakiranje ne predstavlja nikakve teškoće.

## a) Vakuumsko naparivanje

Slika broj 1 prikazuje nam princip vakuumskog naparivanja. Istovremeno se na izvor zračenja naparuju čisti cink sulfid i srebro kao aktivator. Kod tog naparivanja nastaju sledeće teškoće:

- naparivanje samog ZnS predstavlja samo po sebi teškoću, koju poznajemo kod naparivanja svih dielektrika (prskanje, iskakivanje iz ladjice i teškoće postizanja prave temperature sublimacije, koja ne sme da bude previsoka da ne dodje do raspada molekule ZnS). Kod tog naparivanja upotrebljavali smo ladjice posebnog tipa priredjene za naparivanje dielektrika, a izradjene iz molibdenskog lima.

- naparivanje srebra samo po sebi ne predstavlja nikakav problem ali je problem postizanja pravog doziranja srebra o,ol%. Kao što iz slike broj 1 vidimo u slučaju da se površina na koju naparujemo scintilator ne nalazi dovoljno udaljena od izvora molekula može nam se desiti da zbog neravnomernog doziranja dobijemo predele na naparenom scintilatoru koji ne scintiliraju
- iz tehnike vakuumskog naparivanja poznato je da se razni materijali na razne osnove naparuju jako različito. Tako moramo i kod naparivanja ZnS najprije na osnovu napariti sasvim tanku plast Ag ili Cr, koja nam omogućuje lepšu depoziciju ZnS. Poseban je problem ljuštenje naparene plasti ako predje debelinu od nekoliko mikrona. I ovde si možemo pomoći sa naparivanjem tanke plasti metala.
- ako naparujemo scintilator na staklenu ili plekei ploču moramo se pridržavati svih uobičajnih uslova čistoće kod vakuumskog naparivanja. Kod naparivanja scintilatora na organske materijale - u tu svrhu i čitav rad je radjen - moraju ti materijali biti dobro posušeni i prekriveni ekstremno tankim kolodijumskim filmom. Svi uzorci moraju biti dobro osušeni da ne nastupaju teškoće kod postizanja vakuuma koji mora biti bezuslovno barem $10^{-5}$ mm Hg.

Pošto je bio cilj tog rada da se nadje brzi metod za merenje alfa aktivnosti i alfa spektra u biološkim materijalima - prvenstveno u urinu - vidimo da nam naparivanje omogućuje srazmerno brzo merenje aktivnosti ali da nam naparivanje scintilatora koji bi nam omogućio merenje spektra predstavlja velike laboratorijske probleme. Na tom području rad produžujemo u sledećem pravcu:

- mogućnost naparivanja troplastnog sistema Ag - ZnS - Ag sa kombinacijama umesto Ag, bakar i zlato, s tim da se metal kao aktivator unese u sloj ZnS termičkom difuzijom
- mogućnost usmeravanja molekula ZnS električkim naponom
- mogućnost da se naparuje već aktivirani ZnS s tim da moramo računati da je brzina isparavanja kod obadve komponente različita
- mogućnost naparivanja kadmium sulfida aktiviranog sa Ag ili Cu.

Mišljenja sam da je taj rad vredno produžiti i iz jednog drugog razloga: kod svih merenja sa fotomultiplikatorom osnovni je problem definicija jačine scintile odnosno električnog impulsa fotomultiplikatora. Vakuumsko napareni scintilatori različitih debelina bi kod kolimiranog snopa alfa zraka scintile konstantne jačine za svaku debelinu naparenog scintilatora što bi bio veoma upotrebljiv standard kod svih scintilacionih merenja.

b) Lakiranje scintilatora

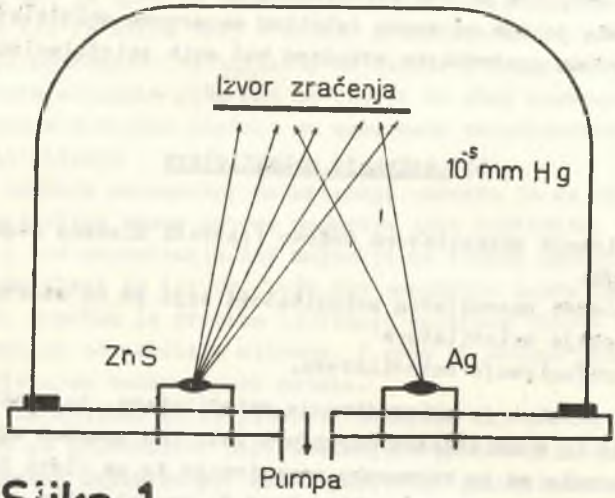
Kod lakiranja scintilatora možemo izabrati sledeće mogućnosti lakiranja:

- nanošenje razredjenog scintilatora koji se na uzorku posuši
- špricanje scintilatora
- centrifugiranje scintilatora.

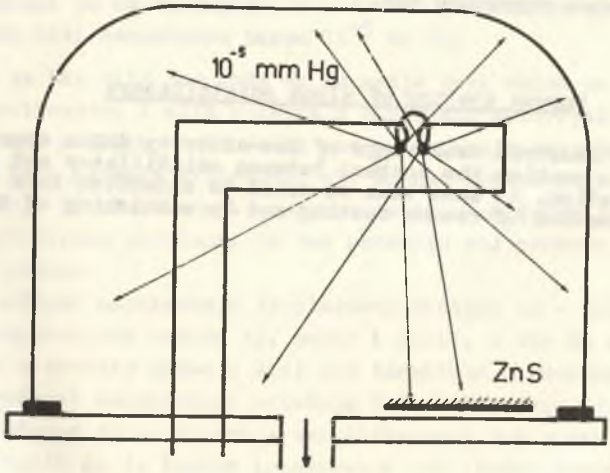
Poseban problem je priredjivanje scintilatora, to znači ugradjivanje Ag u molekulsku strukturu ZnS. Kao posebno ugodan način pokazalo se je vakuumsko naparivanje Ag na čisti ZnS u prašini. Postupak prikazuje slika broj 2. Na taj način možemo tačno dozirati procenat Ag. Tako pripremljen ZnS dobro izmješamo i ostavimo nekoliko dana da se molekule Ag difuzijom ugrade u kristalnu strukturu ZnS.

Vacuum coating of alpha scintillators

In spectrometric measurings of low-activity alpha sources is the main problem the contact between scintillator and source of radiation. At same time we tried to establish this contact by the method of vacuum coating and by varnishing of the alpha source.




Slika 1




Slika 2

# O ODREDJIVANJU TVRDOĆE ZRAČENJA FILMDOZIMETROM

STERLE M.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Napravljen je pokušaj da se brzom metodom dobije informaciju o kvalitetu zračenja ako poznajemo karakteristiku filma ili informaciju o kvalitetu filma ako poznajemo kvalitet zračenja. Film se eksponira preko metalnog klina debeline 0 - 2 mm i kontinuirano denzitometrira.

Film kao materijal za detekciju zračenja i film kao materijal koji se upotrebljava kod rentgenskih slikanja i defektoskopije ima vrstu karakteristika koju moramo pre upotrebe poznavati. Te karakteristike su:

1. senzitometarska kriva (kriva zacrnjenja)
2. energetska zavisnost zacrnjenja filma
3. zrnatost filma
4. osnovno zacrnjenje filma

Kod filmdozimetrije tražimo od filma da njegova senzitometrijska kriva pokriva što većje područje doza ( zbog toga se u filmdozimetriji upotrebljavaju dupli filmovi, osjetljiv i neosjetljiv ) da je njegova energetska zavisnost što manja i da je zrnatost filma jednaka zrnatosti kalibracionih ploča za denzitometar.

Za film kojeg ćemo upotrebiti kod rentgenskog slikanja tražimo što veću osjetljivost (time pacient zbog kraće ekspozicije prima manje doze), što veću zavisnost zacrnjenja filma od energije zračenja i naravno sitno zrno filma. Današnja tehnika rentgenskih slikanja sa folijama upotrebljava se zato jer takvog filma nema. Na diagramu broj 1 vidimo te karakteristike.

Po to moramo prije upotrebe filma poznati sve njegove karakteristike, a na žalost fabrike te karakteristike ne daju u potpunosti, pokušali smo da jednostavnim i brzim putem dodjemo do metode koja nam daje:

a) kod poznatih karakteristika filma informaciju o energiji zračenja

b) kod poznatih izvora zračenja karakteristiku filma.

Zbog jednostavnosti merenja u eksperimentu film je bio ozračen preko kalibracionog klina dugačkog 4o mm, debeline o,1 do 2 mm. Denzitometriranje smo vršili na priredjenom denzitometru širine svetlosnog snopa o,5 mm sa kontinuiranom pomakom i sinhronom registracijom zacrnjenja. Prikaz rada daje slika broj 2.

Ozračivanje se je vršilo na Adoxovom dozimetrijskom filmu poznatih karakteristika koje prikazuje diagram broj 3. Pošto je cilj rada da se sa što manje ekspozicija dobija što jasnija slika o kvalitetu zračenja kod poznatih karakteristika filma ili obratno informacija o svojstvima filma iz poznatog kvaliteta zračenja, ozračili smo 5 filmova energijom zračenja 4o, 7o, 12o i 2oo keV i kobaltovim zračenjem. Svi filmovi bili su ozračeni dozom 2oomr, to je dozom koja predstavlja sredinu linearnog dela senzitometarske krive. Diagram broj 5 prikazuje rezultate kontinuirnog denzitometriranja ozračenih filmova. Što možemo iz tog diagrama razabrati?

1. direktnim izračunavanjem odnosa izmedju zacrnjenja filma kod energije 7o keV i zacrnjenja kod ostalih energija dobivamo "faktor tvrdoće"
2. kod različitih energija vidimo pad zacrnjenja od različitih energija zračenja. Taj nam pad zacrnjenja daje informaciju o tvrdoći zračenja. Projekcija tačke kde postaje zacrnjenje konstantno daje posebnu krivu zavisnosti te tačke od energije zračenja.

Zbrajanjem tih kriva dobivamo krive koje nam prikazuju zavisnost zacrnjenja filma od debeline filtra kod kombinovanih zračenja. Diagram broj 6 prikazuje zbrojene krive i eksperimentalno ozračen film.

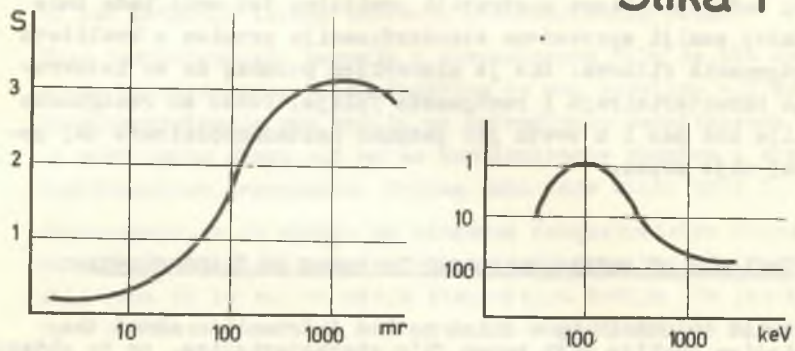
Napravljen je pokušaj da se tom metodom ustanovi karakteristika nepoznatog filma. Nepoznati rentgenski film poljske proizvodnje ozračen je rentgenskim zračenjem energija 4o, 7o, 12o i 2oo keV a sa dozama loo i 2oo mr. Sa dve doze film je bio ozračen zbog informacije o gami filma. Rezultati kontinuiranog denzitometriranja dati su na diagramu broj 7. Na istom diagramu date su i karakteristike filma dobivene tom metodom.

Ovaj rad mogli bismo upotrebiti praktično tek onda kada bude u našoj zemlji sprovedena standardizacija propisa o kvalitetu rentgenskih filmova. Bio je napravljen pokušaj da se istovremeno karakteriziraju i rentgenske folije. Pošto su rentgenske folije kod nas i u svetu još potpuno nestandardizirane taj pokušaj nije uspeo.

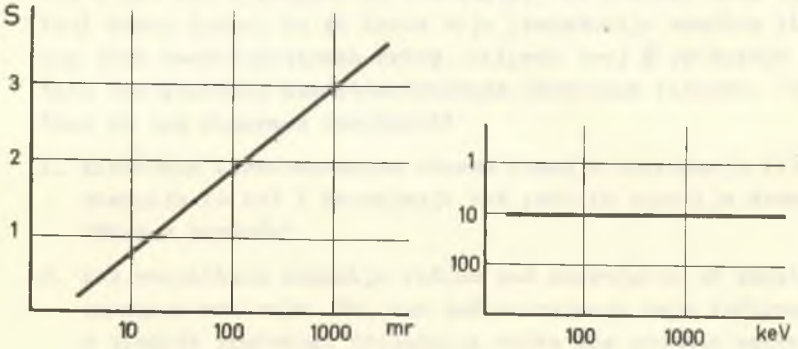
## Defining of radiation energy by means of filmdosimeter

We tried to obtain by a quick method information about the radiation quality with known film characteristics, or to obtain film characteristics in case that radiation quality is known. The film is exposed through a metallic wedge of thickness 0 - 2 mm at continuous densitometration.

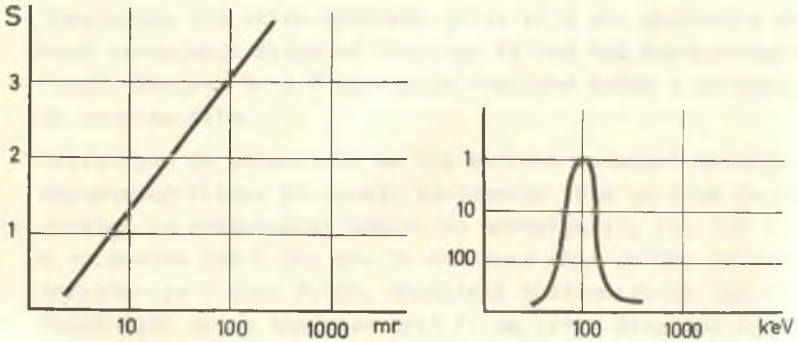
# Slika 1



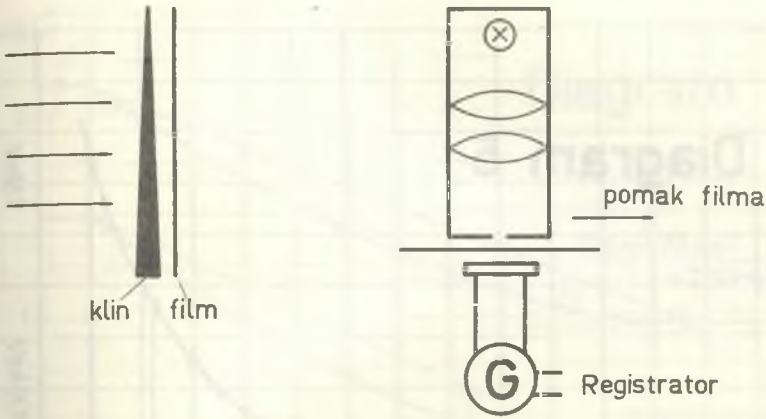

KARAKTERISTIKE FILMA



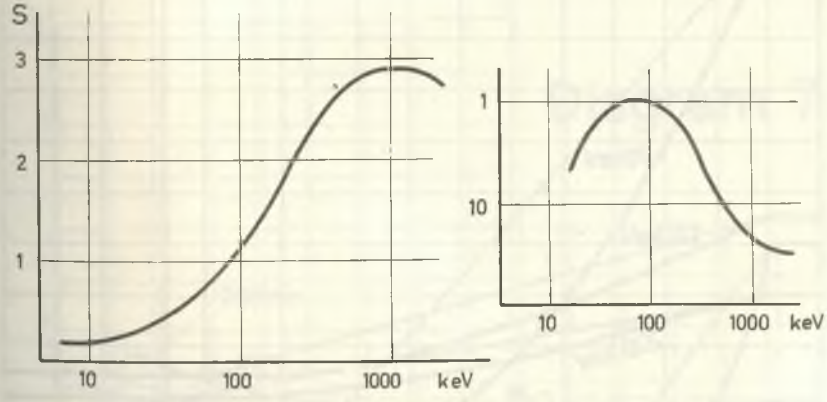

IDEALAN FILM DOZIMETAR



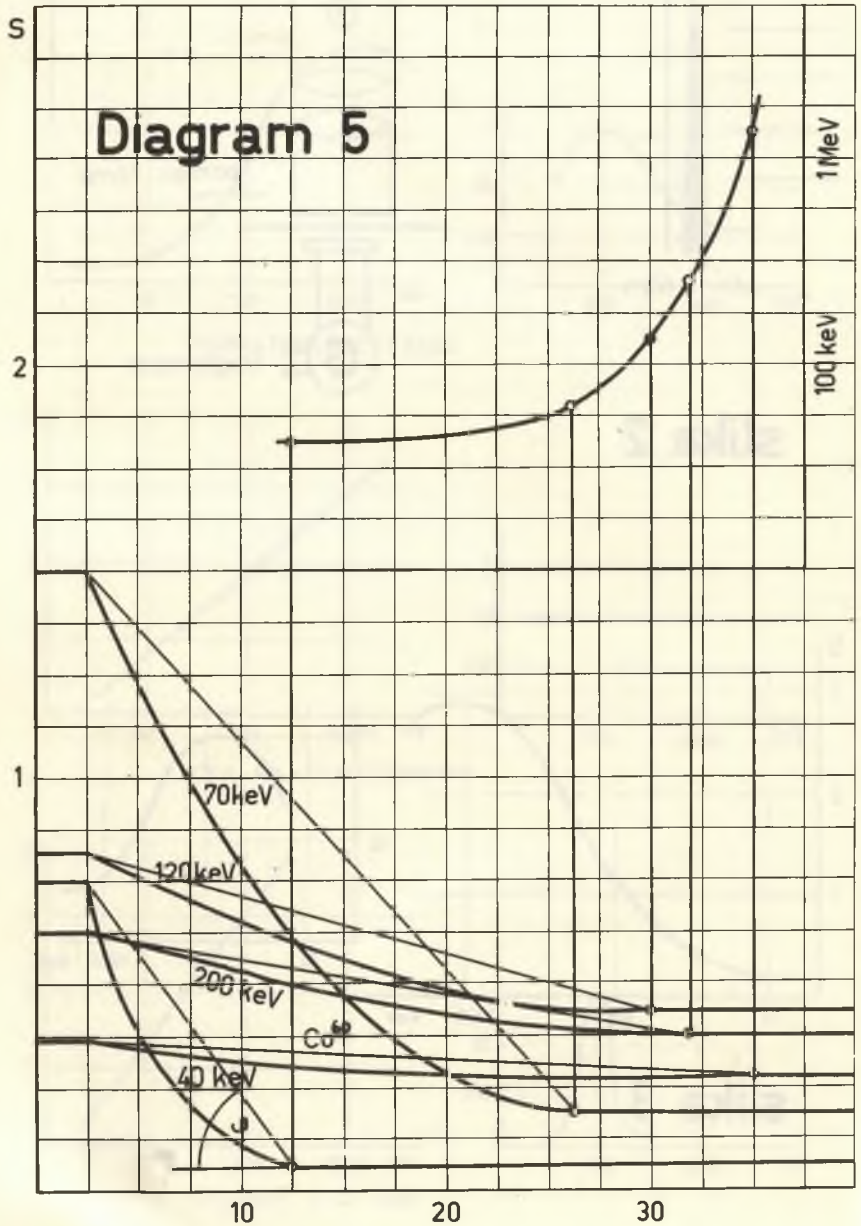

IDEALAN RTG - FILM

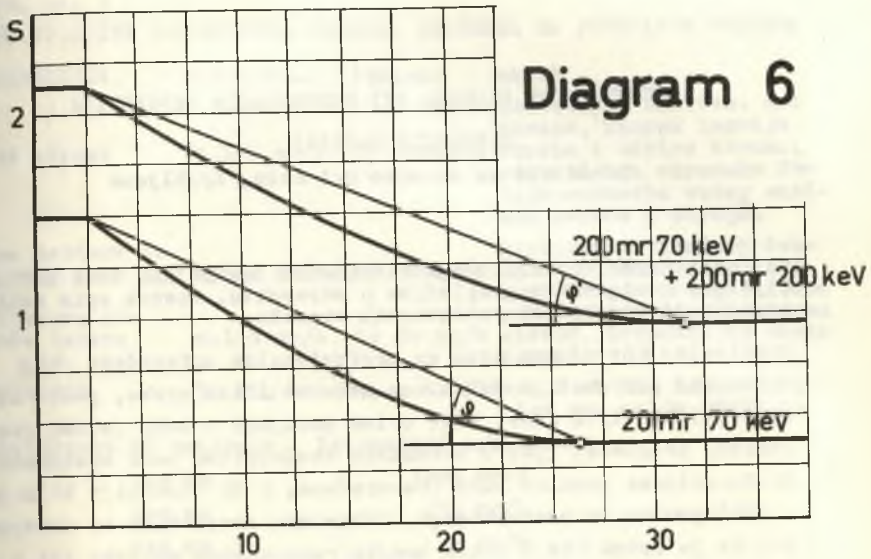


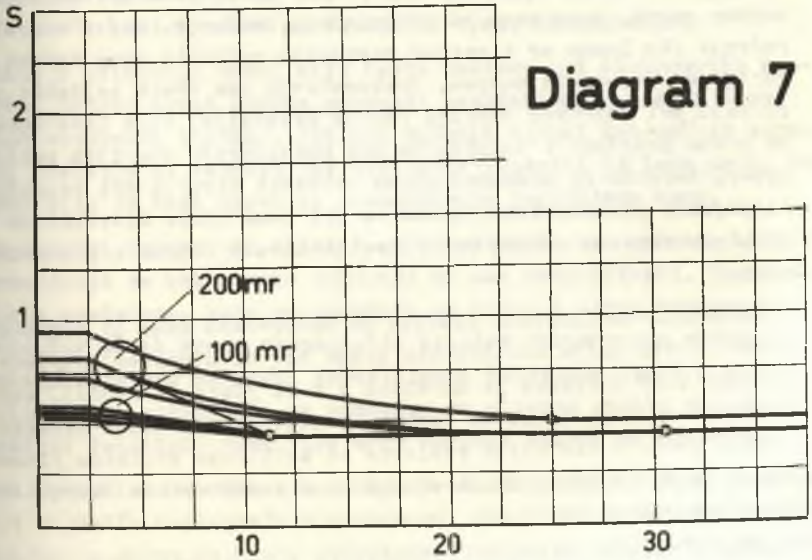

slika 2




slika 3


S
Diagram 5
1MeV
100 keV
2
1
70keV
120keV
200 keV
Co60
40 keV
10
20
30


S
2
1
Diagram 6
200mr 70 keV
+ 200mr 200 keV
φ
φ
20mr 70 keV
10
20
30


S
2
1
Diagram 7
200mr
100 mr
10
20
30

# OPTEREČENOST OSOBLJA PRI RENTGENSKIM PREGLEDIMA

FABJANČIČ GABRIEL
Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Najčešči uzroci prekoračenja maksimalno dozvoljene doze kod osoblja pri rentgenskim pregledima u zdravstvu. Kratak opis nekih novijih diagnostičkih rentgenskih aparata.

Maksimalno dozvoljena doza za profesionalno opterečene /42o mr/mesec/ pretstavlja relativno malu količinu zraka, pošto iznosi otprilike 1/1o doze, koju prima pacijent u toku jednog rentgenskog pregleda. Ipak u normalnim okolnostima nema opasnosti, da dozvoljena granica bude prekoračena. U SR Sloveniji bilo je u 1968 godini 1o prekoračenja. Naknadnim pregledima se ustanovilo, da je uzrok bio u nekom manjku rentgenskog aparata ili u zanemarivanju zaštitnih mera. Redje kao uzrok nastupa nesvrsishodno gradjena prostorija.

Prema pravilu osoblje ne bi smelo biti opterečeno od zraka primarnog snopa, nego samo od sekundarnog zračenja. Najveća prekoračenja /do 1ooo mr i preko/ nastupaju redovito zbog dodira osoblja sa primarnim snopom. Prekoračenja ove vrste najčešče nastupaju pri pomoćnom osoblju /dečje negovalje, koje drže decu za vreme pregleda i bolničarke pri podupiranju starijih pacijenata/. Neredko su prekoračenjima izloženi kirurzi pri repoziciji slomljenih ekstremiteta, pošto se pri tome služe diaskopijom sa pomoćnim ekranom a samu manipulaciju izvode rukama u primarnom snopu.

U normalnim okolnostima osoblje je opterečeno samo od sekundarnih zraka. Oblik polja sekundarnih zraka kod diaskopskog pregleda grudnog koša prikazan je na slici 1 i 2. /Važi za slučaj, kad osim ekrana nema nikakvih zaštitnih zaslona./ U cilju zaštite lekara prednji deo polja zaslanja se zaštitnom stolicom /1oox9o cm, 1 mm Pb/ i zastorom od olovne gume ispod ekrana /ekvivalent debljine o,5 mm Pb./

Tabela 1 sadrži vrednosti intenziteta sekundarnih zraka na važnijim mestima u normalnim i nenormalnim okolnostima.

TAB. br. 1
RED VELIČINE INTENZITETA SEKUND. ZRAČENJA NA POJEDINIM MESTIMA

| DIASKOPIJA | normalno | iznimno | uzrok |
|---|---|---|---|
| iza ekrana | o,1-5 mr/h | do 3ooмr/h | nedovoljna zaštitna moć ekrana, razrez između okrana i okvira ekrana, neostljiva ekranska folije-upotrebe većeg anodnog napona i struje. |
| iza zastora iz olovne gume | o,1-1 mr/h | do looмr/h | prenizak ekvivalent debljine olovne gume, loše prekrivanje pojasa olovne gume, neprevilno montiran zastor, propustljiv okvir ekrana. |
| na mestu gonada lekara | o,1-1 mr/h | do 2o mr/h | |
| SNIMANJE | 7o kV, loo mA, tot. filtr. 2 mm Al, fokus-film lee cm, polje 25x25 cm | | |

| Udaljenost od pacienta | Intenzitet sek. zraka |
|---|---|
| loo cm | looo mr/h |
| 2oo cm | 25o mr/h |
| 4oo cm | 7o mr/h |

Iz tabele je razvidno, da se zaštita osoblja kod diaskopije postizava pravilnim izborom i pravilnim nameštanjem zaštitnih zaslona na samom aparatu, dok je kod slikanja važna dovoljna udaljenost i zaslonjenost personala za vreme ekspozicije.

Slika 3 prikazuje manu, koju često srećemo kod diaskopskih aparata. Razrez pored ekrana propušta neoslabljen primarni snop /kod otvorenih blendi/, dok kod suženih blendi intenzitet sipanog zračenja na razrezu još uvek može iznositi do looo mr/h. Ova mana bila je čest uzrok za prekoračenje dozvoljene doze.

Rentgenski kabinet na slici 4 može poslužiti kao primer, kako se prostorija za rentgensko snimanje ne sme projektirati. Pored velikih sredstava, koja su utrošena za barit i olovo rentgenski tehničar je za vreme ekspozicije izložen sekundarnom zračenju intenziteta oko 8o mr/h. Postavljanje komandnog stola u geometrisku senu nekog zida sa prozorom od olovnog stakla pridonosi ka zaštiti tehničara puno više nego baritni malter na zidovima.

Pri aparatima za snimanje zubiju preširok primarni snop predstavlja najčešće neslaganje s propisima. Pravilnik propisuje promer primarnog snopa na kraju centrirnog konusa na vrednost 6 cm. Kod većeg dela aparata promer iznosi oko 9 cm, ponegde i do 16 cm. Veliko polje primarnog snopa prouzrokuje pored prekomernog ozra-

čivanja pacienta i odgovarajuće veće količine sekundarnog zračenja. Smanjanje promera primarnog snopa postizava se nameštanjem nove blende sa odgovarajučim manjim otvorom za izlazak primarnog snopa. Ako nameštanje nove blende nije izvršeno dovoljnom preciznošću, blenda je ekscentrična i osa primarnog snopa ne slaže se sa osom centrirnog konusa /slika 5/. Kod snimanja primarni snop ne pokrije film, pa zbog toga često treba neke snimke ponoviti.

Najbolje mogućnosti za smanjenje radiaciske opterečenosti osoblja i pacijenata pružaju aparati sa katodnim pojačalom. Prosečno možemo računati, da se opterečenost osoblja i pacijenata pri pregledima s ovakvim aparatima smanjuje na 1/2o u odnosu na aparate bez pojačala.

Iz domače proizvodnje je poznat HIPOS - pokretljiv aparat s katodnim pojačalom. Vrlo je prikladan za preglede u operaciskim salama i za ortopediju.

Inostrane firme u toku poslednjih godina primenjuju katodna pojačala i kod većih aparata za diaskopiju. Kao primer pogledajmo aparat Siemens PANTOSKOP 2 /slika 6 i 7/. Aparat omogučuje diaskopske preglede i ciljano snimanje pacijenta u svim mogučim položajima. Optimalna anodna struja i napon regulira se automatski u zavisnosti od debljine pacijenta. I otvor blende pri ciljanom snimanju regulira se automatski u zavisnosti od veličine i položaja kasete. Slika se projecira na televiziskom ekranu. Svi pregledi vrše se pri dnevnom svetlu; time je omogučena veća ekspeditivnost i frekvencija pregleda, a adaptacija očiju lekara više nije potrebna.

Novost poslednjih nekoliko godina pretstavljaju Siemensovi zubarski rentgenski aparati STATUS X i ORTOPANTOMOGRAPH /izloženi na proljetnom zagrebačkom velesajmu/. Obadva aparata omogučuju snimanje cele čeljusti jednim samim snimkom. Opterečenost osoblja i pacijenta je minimalna /5o kV, 1 mA, o,1-2 sek/.

THE EXPOSURE OF PERSONNEL AT X-RAY DIAGNOSIS

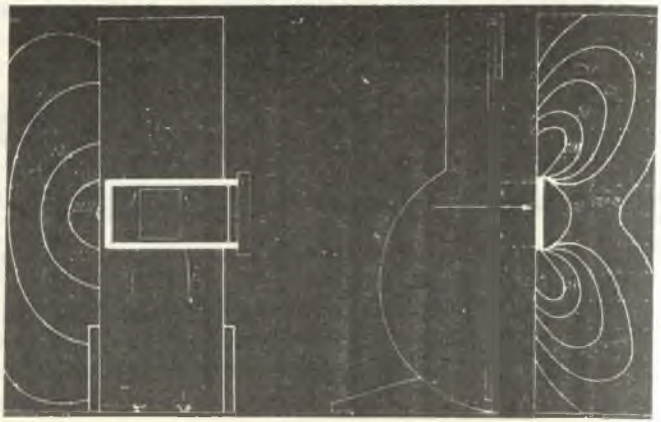
Most frequent causes of trespassing the maximum permissible dose of the personnel at X-Ray examination. A brief description of some new X-Ray diagnostic apparatus.

RED VELIČINE INTENZITETA SEKUNDARNOG ZRAČENJA NA POJEDINIM MESTIMA

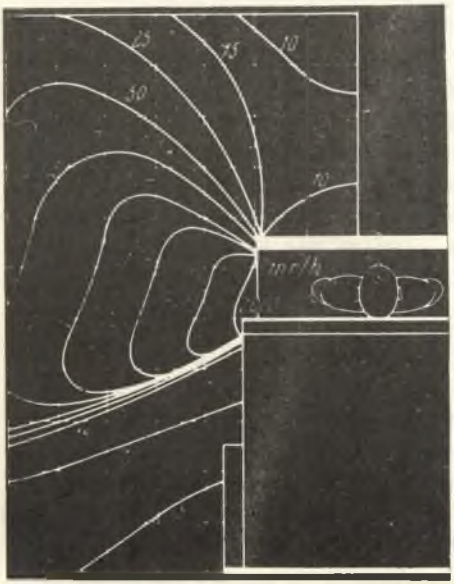
| DIASKOPIJA | normalno | iznimno | uzrok |
|---|---|---|---|
| iza ekrana | o,1-5mr/h | do 3oomr/h | nedovoljna zaštitna moć ekrana, razrez izmedju ekrana i okvira, neosetljiva ekranska folija-upotreba većeg napona i struje. |
| iza zastora iz olovne gume | o,1-1mr/h | do 1oomr/h | premali ekvivalent debljine olovne gume, loše prekrivanje pojasa olovne gume, nepravilno montiran ekran, propustljiv okvir ekrana. |
| na mestu gorada lekara | o,1-o,5 | do 2omr/h | |

SLIKANJE 7 o kV, 1oo mA, tot. filtr. 3 mm Al fokus-film 1oo cm
polje 25x25 cm

| udaljenost od pacijenta | intenzitet sek. zraka |
|---|---|
| 1oo cm | 1ooo mr/h |
| 2oo cm | 25o mr/h |
| 4oo cm | 7o mr/h |



slika 1

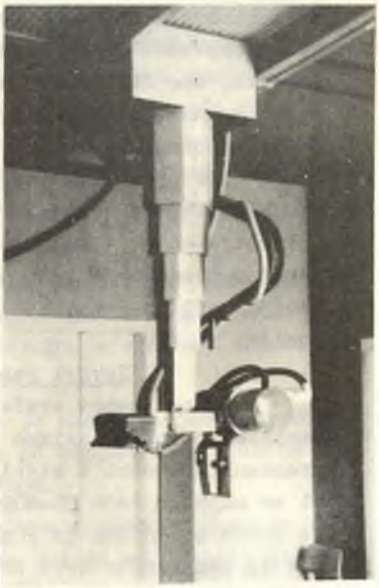



slika 2

slika 3

slika 4

slika 5



# ZAŠTITA OD ZRAČENJA PRI KORIŠĆENJU RENTGENSKOG I GAMA ZRAČENJA U DEFEKTOSKOPIJI

RISTIĆ DJ.,GNJATOVIĆ S., VUKOVIĆ S.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

## Rezime

U referatu su opisani rentgen aparati i radioaktivni izotopi koji se koriste kao izvori zračenja u defektoskopiji,vrste opasnosti pri njihovom korišćenju, vrste zaštitnih sredstava i proračun zaštite od rentgenskog i gama zračenja. Dat je i primer proračuna zaštite oko rentgen uredjaja i defektoskopa sa rezultatima eksperimentalne provere.

## Uvod

U svakoj organizovanoj industrijskoj proizvodnji ispitivanje kvaliteta sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda predstavlja tekući zadatak preduzeća koja ih izradjuju. Način i obim kontrole rešava se različito i zavisi od karaktera i važnosti proizvoda. U slučajevima kada su u pitanju privredno važni objekti, kao što su mostovske, brodske ili kotlovske konstrukcije, kranovi i sl., posebni tehnički propisi preciziraju način i obim kontrole.

U prvo vreme za otkrivanje grešaka korišćena je metoda prozračivanja materijala prodornim X zracima (rentgenografija), a kasnije kada je nuklearna energija stavila tehnici na raspolaganje radioaktivne izotope, gama-radiografsko prozračivanje materijala (gama-defektoskopija) našlo je masovnu primenu u industriji.

## Izvori rentgenskog i gama zračenja

Kao izvori zračenja u rentgenskoj defektoskopiji služe rentgen aparati. Zavisno od namene rentgen aparati mogu da budu: prenosni,pokretni i stabilni. Najčešće se koriste rentgenske cevi sa naponom reda 50-400 kV. Anodne struje ovih rentgenskih cevi kreću se od 1mA do 20mA.Jačina ekspozicione doze na 1m rastojanja od rentgenske cevi kreće se od 0,05 R/mA min do 5,6 R/mA min.

Kao izvori gama zračenja za defektoskopiju najčešće se koriste veštački radioaktivni izotopi $Co^{60}$, $Ir^{192}$, $Cs^{137}$, $Tm^{170}$ $Se^{75}$, $Eu^{152,154}$. Aktivnost ovih izvora se kreće od 0,5Ci do 500Ci što zavisi od namene i vrste izotopa. U našoj zemlji se najčešće koristi $Ir^{192}$ sa aktivnošću 8-10 Ci.

Opasnosti koje se mogu očekivati u defektoskopiji i mere koje treba da se preduzmu u cilju zaštite

Osoblje koje radi na rentgen i gama-defektoskopiji kao i lica koja se nalaze u neposrednoj okolini mogu da budu izloženi spoljnom ozračivanju. Način pakovanja radioaktivnih izvora zračenja isključuje opasnost od kontaminacije. Stepen opasnosti od spoljnog ozračivanja zavisi od vrste zračenja i načina njegove primene. Strogim pridržavanjem pravila o radu sa izvorima jonizujućih zračenja, njegovo štetno dejstvo može da se svede na minimum i rad na rentgen i gama-defektoskopiji postaje praktično bezopasan. Zaštita obuhvata osim lica koja rukuju rentgen-aparatima i defektoskopima i lica koja ne rade neposredno sa izvorima zračenja. Sprovodjenje redovne dozimetrijske kontrole vrši se u prostoru oko izvora zračenja i za osoblje koje je izloženo zračenju da bi se postiglo minimalno izlaganje.

Područje oko rentgen-aparata i defektoskopa treba da bude jasno obeleženo. Pripreme za radiografiju se završavaju pre početka puštanja uredjaja u rad. Ako izvor zračenja mora da se koristi izvan konteinera, taj postupak treba da se vrši pomoću uredjaja za rad na rastojanju. Proveravanje da li je posle korišćenja izvor ispravno vraćen u zaštitni konteiner, vrši se instrumentom za detekciju zračenja. Svetlosna i zvučna signalizacija daju upozorenje da uredjaj radi.

Smanjenje doze ozračivanja do i ispod maksimalno dozvoljenih nivoa postiže se povećanjem rastojanja izmedju izvora zračenja i ljudstva, skraćenjem vremena izlaganja zračenju i postavljanjem zaštitnih ekrana.

Zaštita ostvarena rastojanjem je značajna jer ne zahteva materijalne izdatke, a zasnovana je na činjenici da jačina doze zračenja opada sa kvadratom rastojanja.

Ako se zaštita zasniva na kratkom vremenu izlaganja, onda to treba doslovno da se sprovodi. Ne sme da se dozvoli da se vreme izlaganja povećava zbog bilo kakvih nepredvidjenih okolnosti.

Za zaštitu od jonizujućih zračenja pomoću zaštitnih ekrana primenjuje se stalna i pokretna oprema. U stalnu spadaju: zidovi, obloge podova, tavanica i vrata, zaštitni prozori i sl. Pokretnom opremom se smatraju zaštitne obloge defektoskopa i rentgenske cevi, konteineri za čuvanje i prevoz radioaktivnih izotopa, zaštitne kabine, ekrani, paravani i sl. Za izradu potrebne zaštitne opreme uglavnom se koristi olovo, gvoždje i liveno gvoždje. Za stalnu zaštitnu opremu obično se koristi cigla, beton, baritni beton itd. Koji će se od nabrojanih zaštitnih materijala da koristi, to pored ostalog zavisi od energije zračenja.

## Proračun zaštite

Sa aspekta zaštite od zračenja najbolje rešenje za izvodjenje rentgen i gama-defektoskopije je izgradnja posebne prostorije u koju se unose ili kroz koju prolaze proizvodi za kontrolu.

Da bi proračunali debljinu zaštitnih zidova ovakve prostorije, potrebni su sledeći podaci: 1. Karakteristike izvora zračenja, 2. rastojanje od izvora do radnih i ostalih mesta, 3. vreme tokom koga koristan snop pada na zidove, 4. vreme boravka ljudstva iza zaštitnih zidova, 5. maksimalno dozvoljene doze ozračivanja lica iza zaštitnih zidova.

Kod proračuna treba imati u vidu zaštitu od primarnog zračenja i od rasejanog zračenja. Zaštita od primarnog zračenja korisnog snopa se računa pod pretpostavkom da u snopu nema proizvoda koji se prozračuje. Obično je primarno zračenje praćeno rasejanim, ne samo od okolnih zidova i poda, već i od predmeta koji se prozračuje. Zbog toga proračun zaštite od rasejanog zračenja treba izvoditi pod pretpostavkom da postoji rasejano zračenje od svih izvora uključujući i ozračeni predmet.

## Proračun zaštite od direktnog gama i rentgenskog zračenja

Za smanjenje jačine doze do željenog nivoa najčešće se koristi zaštitna oprema koja se postavlja izmedju izvora i radnog mesta. U rentgen i gama-defektoskopiji se uglavnom radi sa širokim snopom zračenja. Prolaz širokog snopa kroz zaštitu se odlikuje time što jačina doze nastaje ne samo usled primarnih kvanata već i usled rasejanih u materijalu zaštite. Ova okolnost se uzima u obzir uvodjenjem doznog faktora nagomilavanja B, koji zavisi

od debljine, geometrije i materijala zaštite, a takodje od energije primarnog zračenja. Zakon slabljenja širokog snopa monoenergetskog gama i rentgenskog zračenja je dat izrazima:

$$P_d = B \cdot P\, e^{-\mu d} \qquad (1)$$

$$P_d = B \cdot P\, e^{-\mu_{ef} d} \qquad (2)$$

gde je $P_d$ - jačina doze posle prolaza rentgenskog i gama zračenja kroz zaštitni sloj debljine [d]; P - jačina doze bez zaštite; $\mu$ i $\mu_{ef}$ - linearni koeficijent slabljenja gama, odnosno rentgenskog zračenja sa energijom koja odgovara naponu $2/3U_{max}$; B - dozni faktor nagomilavanja rasejanog gama, odnosno rentgenskog zračenja.

Proračun zaštite pomoću izraza (1) nije jednostavan i lak, pogotovu što gama zračenje u većini slučajeva nije monoenergetsko. Proračun zaštite pomoću izraza (2) dobro se slaže sa eksperimentalnim podacima u intervalu napona $U_{max}$ 300-2000 kV, međutim pri nižim naponima ovaj izraz ne treba koristiti jer je neizvestan faktor nagomilavanja. zato je najjednostavnije za nalaženje debljine zaštite od gama i rentgenskog zračenja čija je energija niža od 300 kV da se koriste nomogrami, grafici i tablice dobijene na osnovu eksperimentalnih i teorijskih podataka o slabljenju širokog snopa gama i rentgenskog zračenja koja se primenjuju u defektoskopiji. Postoji više metoda za izračunavanje debljine zaštite od primarnog zračenja od kojih su neke korišćene u daljem tekstu.

## Proračun zaštite od rasejanog gama i rentgenskog zračenja

Pored proračuna zaštite od primarnog zračenja u nekim slučajevima je potrebno da se proračuna zaštita i od rasejanog zračenja. Razmotrimo slučaj kada korisni snop gama zračenja, koji izlazi iz zaštitnog konteinera, pada na neku površinu i rasejava se od te površine. Da bismo proračunali zaštitu od rasejanog zračenja u ovakvom, najčešćem slučaju, najbitnije je doći do podatka o jačini doze rasejanog zračenja. Ona se izračunava pomoću sledećeg izraza:

$$P = 0{,}12 \frac{MS \cdot \cos\theta}{\pi \cdot F^2 R^2} \cdot \eta \quad \left[\mu R/sec\right] \qquad (3)$$

gde je M - gama-ekvivalent radioaktivnog izvora [mg-ekv.Ra];
S - veličina površine na koju pada primarno gama zračenje [$m^2$];

$\Theta$ - upadni ugao primarnog zračenja [stepen]; F- rastojanje od izvora do centra rasejavajuće površine [m]; R - rastojanje od centra rasejavajuće površine do radnog mesta [m]; $\eta$ - albedo doze. Primer jedne od metode izračunavanja debljine zaštite od rasejanog gama zračenja dat je u daljem tekstu.

Za izračunavanje debljine zaštite od rasejanog rentgenskog zračenja postoji takodje više metoda od kojih je jedna data u daljem tekstu. Pri ovome treba da znamo da eksperimentalni podaci o rasejanju u materijalu, koji se sastoji od elemenata sa malim atomskim brojem (npr. cigla ili beton), pokazuju da na rastojanju od 1 m bočno od ozračivanog predmeta (ugao izmedju pravca rasejanja i prvobitnog upadnog snopa je $90^0$) jačina doze na svakih 100 $cm^2$ čini 0,02-0,05% jačine doze na površini ozračenog tela. U slučaju zračenja rasejanog unazad, jačina doze je skoro tri puta veća nego pri bočnom rasejanju.

## Primeri proračuna zaštite

Zahtev naručioca - Naručilac je zahtevao da raspored zaštitnih zidova bude takav da ne ometa normalan proces proizvodnje; da zaštitni zidovi oko rentgen uredjaja budu gradjeni od olova ili betona; da jačina ekspozicione doze na spoljnim zidovima,a prema ostalim radnim mestima u pogonu, bude tolika da godišnja doza koju bi radnici mogli da primе ne predje dozvoljenu dozu ozračivanja, odnosno 50 mR/god.

Potrebni podaci za proračun debljine zidova oko rentgen uredjaja i defektoskopa - Za proračun su dobije sledeći podaci:

1. Maksimalni napon i struja rentgenske cevi: 260 kV i 5 mA.
2. Izvor zračenja je $Ir^{192}$, gama emiter energije 0,6 MeV, maksimalne aktivnosti 10 Ci.
3. Koristi se običan beton gustine $\rho = 2,3$ $gr/cm^3$
4. Skice o lokaciji rentgen uredjaja i defektoskopa u radnim uslovima ( sl.1 i sl.2)
5. Rastojanja od izvora zračenja do okolnih radnih i drugih mesta (sl.1 i sl.2)
6. Vreme boravka radnika iza zaštitnih zidova je puno radno vreme, tj. 8 h dnevno.
7. Vreme efektivnog rada rentgenske cevi i defektoskopa je 4 h u toku punog radnog vremena.

8. Dozvoljena doza ozračivanja za lica koja rukuju rentgen uredjajem i defektoskopom je 20 mR/dan, a za lica koja ne rade neposredno sa izvorima zračenja 2 mR/dan.

Proračun debljine zaštitnih zidova oko rentgen uredjaja - Za odredjivanje debljine zaštitnog zida ZZ-1 (sl.1) na koji pada primarni snop rentgenskog zračenja, korišćene su tablice koje daju debljinu zaštite od olova ili betona za različite faktore slabljenja K primarnog rentgenskog zračenja[1]. Faktor slabljenja K se dobija pomoću izraza

$$K = \frac{it\ 100}{R^2 36\ D_o}$$

gde je i - struja u rentgenskoj cevi [mA]; R - rastojanje od anode rentgenske cevi do objekta koji štitimo [m]; t-vreme ozračivanja(nedeljno) [h]; $D_o$ - maksimalno dozvoljena nedeljna doza za razmatranu kategoriju ljudi [mR].

Za i = 5 mA, R = 1,5 m, t = 20 h, $D_o$=10 mR, dobija se da je K = 12,5. Iz pomenutih tablica za K = 12,5 i napon V=250kV dobijaju potrebne debljine olova i betona.One iznose 11,5 mm, odnosno 490 mm.

Za dobijanje debljine zaštitnog zida ZZ-2 (sl.1) na koji pada rasejano rentgensko zračenje, korišćen je isti metod kao i u prethodnom slučaju i odgovarajuće tablice za rasejano rentgensko zračenje. Pri tome se dobija da je faktor slabljenja K = 4,4. Iz tablica[1] se za K = 4,4 i V = 250 kV nalazi da je potrebna debljina olova 5,8 mm a betona 250 mm.

Proračun debljine zaštitnih zidova oko defektoskopa - Za proračun debljine zaštitnog zida ZZ-1 (sl.2) od direktnog gama zračenja korišćeni su nomogrami[1]. Iz odgovarajućeg nomograma za 10 Ci $Ir^{192}$, odnosno M = $3,21 \cdot 10^{-3}$ mg-ekv Ra, za rastojanje 1,5 m, za maksimalno dozvoljenu nedeljnu dozu od 2 mR i vreme ozračivanja 4 h dnevno dobija se potrebna debljina olova 5,7 cm i ekvivalentna debljina betona 50 cm.

Za dobijanje debljine zaštitnog zida ZZ-2 (sl.2) na koji pada rasejano gama zračenje, korišćene su tablice koje daju debljinu zaštite za različite faktore slabljenja K širokog snopa gama zračenja[2]. Da bismo odredili faktor slabljenja K ($K = P/P_o$) potrebno je da se najpre izračuna jačina ekspozicione doze koja potiče od rasejanog gama zračenja. Korišćenjem

izraza (3) za $m = 3,21 \cdot 10^3$ mg-ekv,Ra, $R = 2,5$ m, $\Theta = 0^o$ i $\eta = 0,074$ dobija se jačina doze $P = 1,48$ μR/sec. U našem slučaju maksimalno dozvoljena doza je $P_o = 0,14$ μR/sec. Uzimajući za faktor sigurnosti 2, dobija se da je $K = 24$. Iz pomenutih tablica, uzimajući da je energija rasejanog zračenja konstantna i da iznosi 0,15 MeV, dobija se da je potrebna debljina olova 0,45 cm, a betona 11 cm.

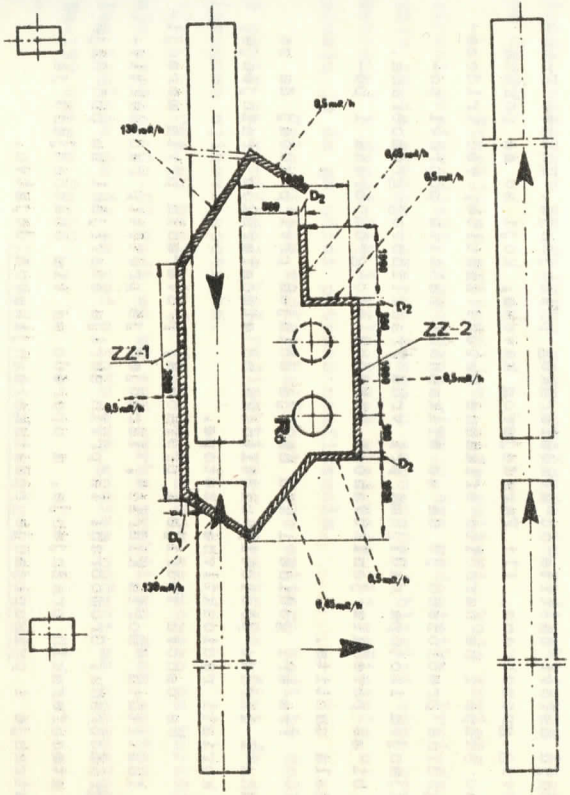
Rezultati merenja jačina ekspozicionih doza zračenja u karakterističnim tačkama iza olovnih zaštitnih zidova,oko rentge uredjaja prikazani su na slici 1. Na osnovu izmerenih jačina ekspozicionih doza može se zaključiti da vrednosti zaštitne moći izgradjenih olovnih zidova odgovaraju računski predvidjenim


## Resume

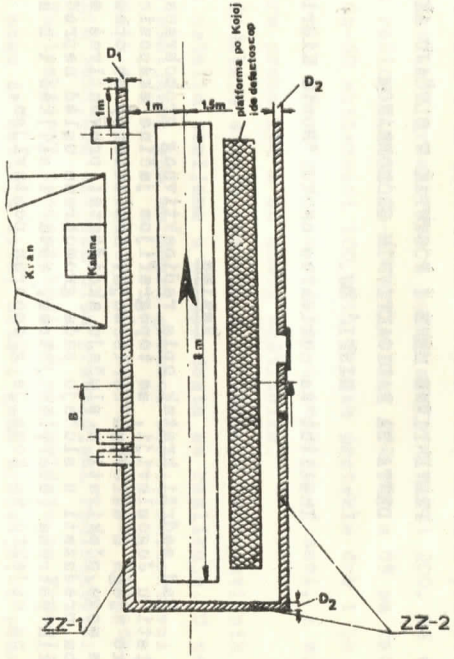
RADIATION PROTECTION IN THE USE OF X AND GAMMA RAYS IN DEFECTOSCOPY - The paper describes the X-ray apparatus, the radioactive sources, the radiation hazards, the shielding materials and the shielding computations used in X and gamma ray defectoscopy. An example of the shielding computation around an X-ray apparatus and defectoscope with the experimental test results is given.


## Bibliografija


1. Rumjancev S.V.,Radijacionnaja defektoskopija,(1968), Atomizdat, Moskva
2. Kimel L.R., Mašković V.P., Zaščita ot jonizirujuščih izlučenii, (1966), Atomizdat, Moskva
3. Price B.T., Horton C.C., Spinney K.T., Radiation Shielding, (1957), Pergamon Press, London


130 mR/h
0,5 mR/h
0,05 mR/h
0,5 mR/h
D2
D2
D2
D1
ZZ-1
ZZ-2
0,5 mR/h
0,5 mR/h
0,5 mR/h
0,05 mR/h
130 mR/h

SL.1


D1
1m
1m
1,5m
platforma po kojej idą dekontaminanci
D2
Kran
Kabina
8m
8
D2
ZZ-1
ZZ-2

SL.2

# PREVENTIVNE MERE I POSTUPAK U SLUČAJU AKCIDENTA SA RADIOAKTIVNIM GROMOBRANOM

RISTIĆ DJ.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič",Vinča

**Rezime**

Rad sadrži kratak opis radioaktivnog gromobrana, koji se koristi u Jugoslaviji, sa topografijom jačine ekspozicionih doza oko njega u uslovima korišćenja. Analizirane su opasnosti koje se mogu očekivati u slučaju akcidenta; preventivne mere koje treba preduzeti u slučaju pada gromobrana usled nepredvidjenih jakih potresa (udar,zemljotres, vetar i sl.)kao i u slučaju požara na objektu na kome je gromobran postavljen.

## I Uvod

Već duži niz godina u svetu se čine pokušaji da se poboljšaju uslovi zaštite od atmosferskog pražnjenja. Umesto Franklinovog gromobrana, ili Faradejevog kaveza, koji su se pokazali kao skupe i ne naročito efikasne metode zaštite, već tridesetih godina predloženo je da se efikasnost zaštite popravi postavljanjem izotopa radijuma pri vrhu Franklinovog gromobrana. Time bi se povećala jonizovanost vazduha oko gromobrana i poboljšala zaštita.

Pre tri godine i kod nas je učinjen prvi pokušaj da se sračuna i izradi prototip zaštitnika od atmosferskog pražnjenja, koji koristi radioaktivne izotope.

Na osnovu teorije i proračuna, proverenih prvim merenjima u Institutu "Boris Kidrič", izradjen je prototip radioaktivnog gromobrana. Gromobrani iz prvih serija stavljeni su pod dejstvo atmosferskih pražnjenja, a uporedo sa tim obezbedjeno je posmatranje i prikupljanje podataka o njihovom dejstvu.

Gromobrani koje danas proizvodi preduzeće "Elind" iz Valjeva, omogućili su da se i kod nas stekne pozitivno praktično iskustvo o radu ovih zaštitnika. Ukupan broj do sada postavljenih radioaktivnih gromobrana u našoj zemlji iznosi 200. Od toga je 115 sa radioaktivnim Co-60 aktivnosti 200 mCi a 85 sa radioaktivnim Co-60 aktivnosti 100 mCi. U toku protekle dve i po godine nije bilo udara groma u objekte u zaštićenoj zoni, a zona se prostire preko 100 m od samog zaštitnika.

Sadašnje stanje razvoja i korišćenje radioaktivnih gromobrana u ostalim zemljama u Evropi dosta se razlikuje. U mediteranskim zemljama, gde su udari gromova češći,radioaktivni gromobrani dosta su rasprostranjeni (nekoliko desetina hiljada). U nekim drugim zemljama zakonom nisu predvidjeni radioaktivni gromobrani. Radioaktivni izotopi koji se postavljaju na Franklinov gromobran mogu da emituju alfa, beta i gama zračenja, a posredstvom nuklearne reakcije i neutrone. Dok se većina stranih gromobrana zasniva na korišćenju alfa aktivnosti, dotle je naše rešenje zasnovano na dejstvu gama zračenja iz radioaktivnog izotopa Co-60.

Specijalno pripremljeni alfa emiteri, koje koriste strani proizvodjači gromobrana, imaju dva nedostatka. Prvi-dejstvo im je strogo lokalno (samo u neposrednoj blizini vrha gromobrana) i drugi-čak i vrlo tanak sloj vode ili nečistoće u stanju je da ga učini potpuno neefikasnim.

Vrlo visoka radiotoksičnost beta emitera koji bi došli u obzir za korišćenje kod radioaktivnog gromobrana, čini da se izbegava njihova upotreba.

Ovo su razlozi da je naše rešenje zasnovano na korišćenju izotopa Co-60 koji su za ove svrhe praktično gama emiter. Ima izgleda da će se već u toku ove godine početi sa upotrebom Eu-152 umesto Co-60.

## II Opis radioaktivnog gromobrana

Gromobranska instalacija radioaktivnog gromobrana sastoji se iz:

- hvataljke sa izvorom jonizujućeg zračenja,
- najmanje dva odvodna - spusna voda,
- mernog spoja i
- uzemljenja.

Hvataljka sa izvorom jonizujućih zračenja čini osnovni elemenat gromobranske instalacije. Sastavni delovi hvataljke su:

- radni zaštitni kontejner,
- izvor jonizujućeg zračenja,
- visokonaponski izolator,
- konusni metalni prsten,
- spoljni vezujući elementi (šiljak, zavrtanj,noseća pocinkovana cev i sl.), i
- postolje za učvršćenje.

Izgled hvataljki ili glave gromobrana sa izvorom jonizujućeg zračenja dat je na slici 1. Radni zaštitni kontejner služi za nošenje radioaktivnog izvora i zaštitu prostora ispod kontejnera od štetnog dejstva jonizujućeg zračenja. Izvog jonizujućeg zračenja je u obliku prstena smeštenog u žljeb kontejnera.

Izvor zračenja je u obliku žice prečnika 0,8 mm, dužine 120 mm, koja je uvučena u cevčicu od nerdjajućeg čelika zavarena na krajevima. Izvor je osiguran od ispadanja na taj način što je žljeb zaliven specijalnom masom i odozgo zatvoren poklopcem od aluminijuma. Visokonaponski izolator izoluje konusni metalni prsten od mase. Konusni metalni prsten vrši usmeravanje električnog polja, čime se poboljšava efikasnost radioaktivnog gromobrana. Glava radioaktivnog gromobrana, odnosno hvataljka, se utvrdjuje na noseću pocinkovanu cev najčešće dužine 4 m. Cev se stavlja u ležište koje je pokretno tako da se cela konstrukcija gromobrana može da spušta i podiže.

Radioaktivni gromobrani se postavljaju u većini slučajeva na krovne konstrukcije. Glava (radni kontejner) je uvek na visini koja omogućuje da se jačina ekspozicionih doza, na mestima ispod radnog kontejnera, pristupačnim za ljude, svede na 0,5 mR/h. Koristan snop zračenja je usmeren naviše i ima oblik konusa. Topografija jačina ekspozicionih doza zračenja oko gromobrana prikazana je na sl.2.

## III Opasnosti koje mogu da se očekuju u slučaju akcidenta

U normalnim uslovima korišćenje radioaktivnog gromobrana praktično ne predstavlja opasnost od ozračivanja ili kontaminacije za okolno stanovništvo.

Medjutim, u slučaju akcidenta (na primer, pada konstrukcije gromobrana usled nepredvidjenih okolnosti kao što su: udar, zemljotres, jak vetar, požar na objektu) može da nastane realna opasnost od ozračivanja. Tada bi postajala mogućnost da lica koja intervenišu, ili stanovništvo koje se zateklo na tom mestu, budu izloženi ozračivanju od direktnog snopa zračenja. Jačina ekspozicionih doza zračenja, kao što se vidi iz slike 2. je na korisnom snopu na 1 m udaljenosti 260 mR/h. U slučaju požara, zaštitni radni kontejner, koji je napravljen od olova, može da se istopi i da izvor zračenja bude nezaštićen. Tada opasnost od ozračivanja biva veća, jer će izvor zračiti na sve strane.

Kontaminacija u slučaju akcidenta je minimalna jer je metalni oblik izvora zračenja i način pakovanja takav da je praktično nemoguće da dodje do rasturanja radioaktivnog materijala.

## IV Preventivne mere zaštite

S obzirom da je broj radioaktivnih gromobrana u stalnom porastu raste i verovatnoća da će se akcidenti dogadjati. Zbog toga je potrebno da se organizovano pristupi preduzimanju mere koje će opasnosti od zračenja u slučaju akcidenta svesti na najmanju moguću meru.

Da bi se smanjila opasnost od zračenja u toku intervencije ili posle akcidenta potrebno je da nadležni organi znaju gde su mesta na kojima su postavljeni radioaktivni gromobrani. Zbog toga je neophodno da korisnici o tome upoznaju službu protivpožarne zaštite, civilnu zaštitu, organe SUP-a i jednu od ovlašćenih ustanova za vršenje poslova zaštite od jonizujućih zračenja.

Preventivne mere zaštite od posledica akcidenta imaju

za cilj da spreče da dodje do akcidenta, odnosno da posledice akcidenta ograniče. Zbog toga je potrebno da se još pre postavljanja gromobrana razmotre potencijalne okolnosti koje mogu da dovedu do akcidenta i da se izabere takvo rešenje koje će dati najmanju mogućnost da dodje do požara ili pada gromobranske konstrukcije. To znači na primer, da krovna konstrukcija - noseći gradjevinski delovi, budu takvi da se svede na minimum mogućnost požara ili pada gromobranske konstrukcije; zatim da se izradi plan intervencije u slučaju akcidenta. U tom cilju teritorijalne službe ili organi treba da raspolažu sa podacima kao što su:

- ime, adresa i broj telefona odgovornog rukovodioca, pogona, objekta i sl;
- ime, adresa i broj telefona odgovornog lica za zaštitu od zračenja i njegovog zamenika;
- kratak opis radioaktivnog gromobrana, kao i opis lokacije;
- osnovne karakteristike izvora jonizujućeg zračenja ugradjenog u gromobran (vrsta izotopa, vrsta zračenja, radioaktivnost, način kapsuliranja, fizički oblik izotopa i sl.);
- grafik jačina ekspozicionih doza zračenja i vreme boravka u zavisnosti od rastojanja.

Planove intervencija treba izraditi u više primeraka. Sa po jednim primerkom treba da raspolažu spomenute službe i organi, a jedan treba da se nalazi na dostupnom mestu, na primer kod portira pogona, domara zgrade i sl.

Pre intervencije, treba na mestu intervencije, da se mere jačine ekspozicionih doza. Dobijeni rezultati se koriste za odredjivanje pravaca dejstvovanja u kojima će ljudstvo da bude najmanje ozračeno.

U toku intervencije potrebno je da se raspolaže sa instrumentom za merenje jačine ekspozicionih doza zračenja, sredstvima za obeležavanje i eventualno ogradjivanje zabranjene zone (oznake upozorenja: OPASNOST OD ZRAČENJA, užad, neophodan alat, itd.) i mašicama (po mogućstvu da budu duže).

U slučaju požara treba gasiti radioaktivni gromobran ako je zahvaćen vatrom, ali je bolje sprečiti da ga vatra ne zahvati.

## V Mere zaštite pri intervenciji i posle intervencije

Ljudstvo koje učestvuje u intervenciji prilikom akcidenta spada u specijalnu grupu stanovništva te ga u pogledu dozvoljenih doza ozračivanja treba tako i tretirati. Svaka intervencija treba da bude izvedena na takav način da svaki čovek koji učestvuje primi najmanju moguću dozu. U toku intervencije treba da se nastoji da svaki pojedinac obavlja svoju dužnost na način koji mu omogućuje najveće udaljenje od izvora zračenja. Pored ovoga zaštita je moguća korišćenjem zaklona i skraćenjem vremena boravka u blizini izvora zračenja. Na osnovu pomenutog grafika i vremena koje ljudstvo provede blizu izvora u toku intervencije može da se izvrši procena primljene doze. O tome treba voditi evidenciju.

Da bi se zaštitilo okolno stanovništvo tokom intervencije treba da se odredi, pored zabranjene zone prema uobičajenim kriterijumima požarno tehničke zaštite, i zabranjena zona sa gledišta opasnosti od ozračivanja, (na osnovu rezultata merenja jačine ekspozicione doze ili korišćenjem grafika). Za gromobran sa ugrađenim Co-60 aktivnosti 100 mCi zabranjena zona za stanovništvo iznosi 10 m, a za izvore od 200 mCi - 30 m.

Posle intervencije izvor zračenja može da se zadrži na mestu gde se zatekao i da se obezbedi zabranjena zona do dolaska ekipe jedne od ovlašćenih ustanova za poslove zaštite od jonizujućih zračenja ili da se ukloni na bezbedno mesto.

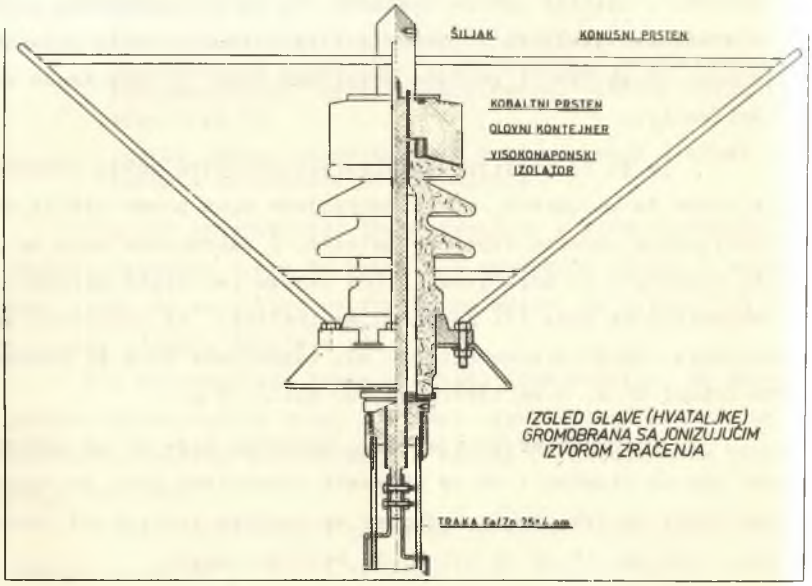
## Abstract

PREVENTIVE MEASURES AND HANDLING OF RADIATION ACCIDENTS WITH A RADIOACTIVE LIGNTNING CONDUCTOR

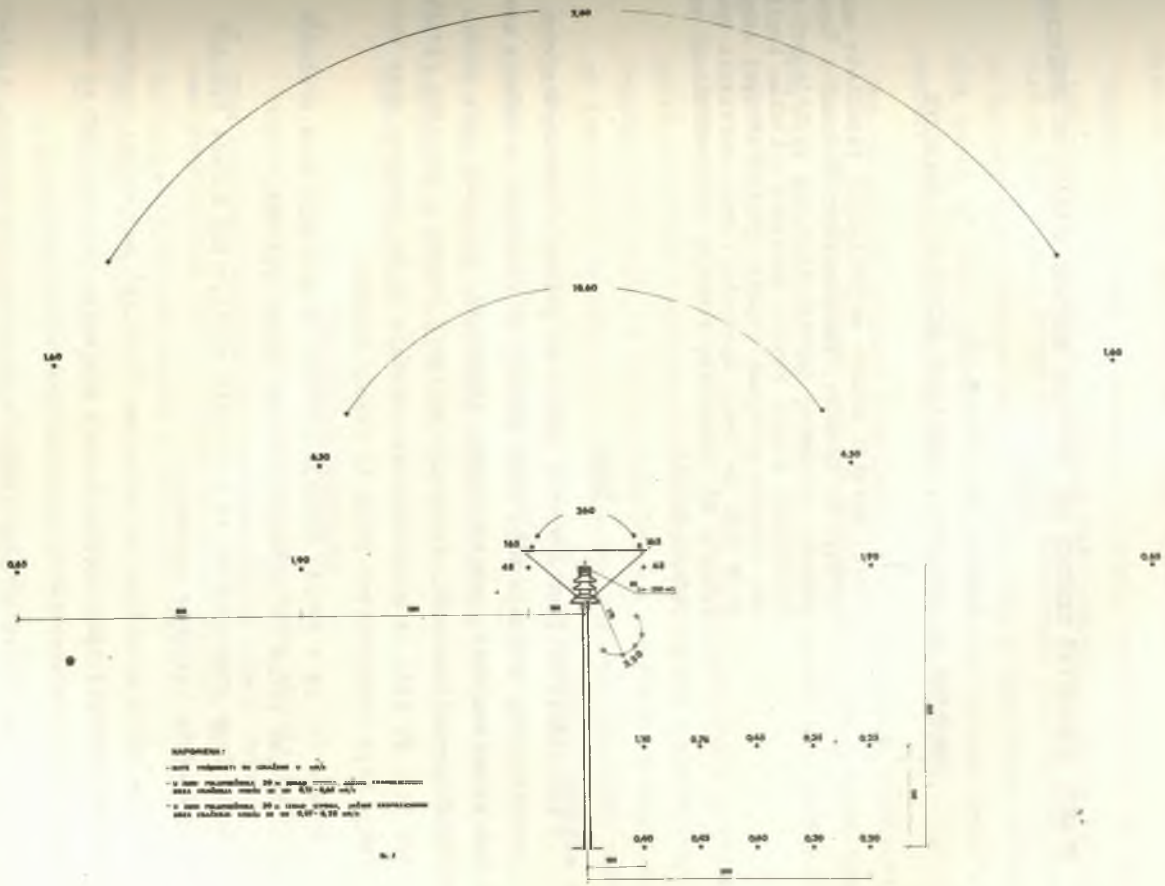
The paper gives a brief description of the radioactive lightning-conductor used in Yugoslavia, with a dose exposure topography around it. The dangers expected in case of an accident have been analysed; the preventive measures to be undertaken in case of the fall of the lightnig-conductor caused by an unexpected strong shake (wind, earthquake shock, etc.) as well as in case of a fire on the building on which the lightning-conductor is placed.


## Literatura


1. I.S.Stekoljnikov: Izučenije molnij i grozozaštita, Akademi Nauk SSSR, Moskva 1955.
2. Hanson Blatz: Radiation Hygiene Handbook, Mc Graw-Hill Company, Inc. New York, Toronto, London, 1959.
3. B.Maršićanin: Merenje električne provodnosti vazduha i jonske koncentracije oko radioaktivnog gromobrana, IBK-667.


SL. 1


3,00
10,60
1,60
1,60
4,30
4,30
360
165
165
45
45
0,65
1,90
1,90
0,65
1,10
0,76
0,40
0,24
0,23
0,40
0,40
0,40
0,30
0,30
NAPOMENA:

# STANJE OPERATIVNE TEHNIKE PRI UPOTREBI RENTGEN APARATA PO DESKRIPCIJI PLUĆA

Čerkez, F. i Simić, B.

INSTITUT ZA HIGIJENU I SOCIJALNU MEDICINU U SARAJEVU

U ovoj studiji autori su prikazali rezultate anketiranja 6o ljekara (zaposlenih u SR Bosni i Hercegovini), o radnoj tehnici koju oni koriste pri fluoroskopiji pluća. Pomoću anketnog upitnika ispitali smo tehniku primjene napona, jačine struje, adaptaciju vida na tamu, upotrebu ličnih zaštitnih sredstava i sl. Rezultati studije su prezentirani na jednoj tabeli.

## Uvod

U posljednje vrijeme sve veća pažnja se poklanja štetnom dejstvu jonizirajućeg zračenja koje može dovesti do somatskih oštećenja kao što su eritem kože, gubitak dlake, katarakta, usporeni rast kosti, oštećenja koštane srži, indukcija malignih tumora i genetska oštećenja (4). Do sada je provedeno niz pokušaja da se procjene doze zračenja koje stanovništvo prima iz raznih izvora.

Spiers (9) je u svojoj studiji utvrdio da godišnja doza zračenja koju čovjek prima iz prirodnih izvora iznosi o,1 rem.

Pored toga stanovništvo se u brojnim slučajevima izlaže također i vještačkim izvorima zračenja.

Prema nekim zvaničnim izvještajima (5,13,14) medicinski rentgen aparati pretstavljaju glavne izvore zračenja, jer daju 96% od ukupne doze koju stanovništvo prima iz vještačkih izvora.

Pored toga, upotreba medicinskih rentgen aparata pokazuje tendenciju stalnog porasta i prema SZO (3), godišnji priraštaj je lo-15%.

Veličina doze zračenja ovisi o nizu faktora kao što su ispravnost

rentgen aparata, rentgen kabinetu, vrati i tipu ispitivanja, a naročito od tehnike rukovanja sa rentgen aparatom.

Buschke (2) je pokazao da se pri mjerenju radnih uslova tj. napona i jačine struje, mijenja i veličina doze zračenja i nađene vrijednosti bile su 6-38 r/min. Prema zvrđenjima Braeatrupa (1) fluoroskopija daje najveće doze zračenja kako pacijentu tako i zaposlenom osoblju. Isti autor je obavio mjerenje zračenja na seriji rentgen aparata i utvrdio visoke doze zračenja koje su se kretale od 6,8 r - 127 r/min.

Ovo ukazuje da upotreba fluoroskopije u dijagnostici pretstavlja važan radiološki problem, jer nekritičkim upotrebom i lošom tehnikom rada može doći do nepotrebnih i opasnih ozračivanja pacijenata i medicinskog osoblja.

Prema tome, efikasna zaštita u medicinskoj radiologiji podrazumjeva, pored provođenja tehničke zaštite, ispravno stručno primjenjivanje tehnike rada, koja je također regulisana i Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja (8). Obavljajući poslove radiološke zaštite u SR Bosni i Hercegovini često smo uočili kod ljekara tehničke nedostatke u rukovanju sa rentgen aparatima.

U cilju boljeg poznavanja tehnike koja je korištena pri radu sa rentgen aparatima anketirali smo grupu ljekara o tome i rezultata ankete prikazaćemo u nastavku ove studije.

## Metodika i materijal

Pomoću anketnog upitnika ispitali smo grupu ljekara o nekim elementima rukovanja aparatom pri rentgenoskopiji pluća. Anketni upitnik smo konstruisali sami i u njemu se nalaze pitanja koja su od značaja za dijagnostičku efikasnost i radiološku zaštitu. U upitniku su bila slijedeća pitanja:

1. Provođenje podešavanja i alteracije napona i jačine struje kod pregleda pacijenata koji su različite debljine;
2. Provođenje i trajanje adaptacije vida na temu;
3. Predstava i znanje o veličini doze zračenja u direktnom snopu rentgen cijevi;

4. Trajanje pregleda kod rentgenskopije pluća;
5. Pitanje pomoći pri pridržavanju pacijenata;
6. Upotreba ličnih zaštitnih aredatava za ljekara i pacijenta.

Ukupno smo anketirali 6o ljekara. Ispitivani ljekari po specijalnosti su bili ftiziolozi, internisti, ljekari opšte prakse, pedijatri i rentgenolozi. Radi boljeg odziva anketiranih sva anketiranja su bila dobrovoljna i anonimna. Ispitivanja smo proveli 1968 godine.

## Rezultati

Na Tab. 1 smo prikazali rezultate naših ispitivanja i to: broj i strukturu ispitivanih ljekara, podešavanje napona i jačine struje i njihove maksimalne vrijednosti pri korištenju (u kV i mA), provođenje i trajanje adaptacije vida na tamu i poznavanje vrijednosti minutne doze zračenja u direktnom snopu zračenja. Od 6o anketiranih ljekara 15 je bilo ftiziologa, 1o internista, 15 ljekara opšte prakse, 15 pedijatara i 5 rentgenologa. Od svih anketiranih 19 ljekara ne podešavaju uopšte napon, a 17 jačinu struje bez obzira na debljinu pacijenata.

Od ispitivanih, 7 ljekara ne provodi uopšte adaptaciju vida na tamu. Tabela 1 prikazuje također numeričke vrijednosti ispitivanih elemenata.

## Diskusija

U ovoj studiji smo od 432 ljekara koji rade sa rentgen aparatima (u SR Bosni i Hercegovini) anketirali 6o (13,9%) o tehnici primjene nekih operativnih elemenata koji se koriste u radu pri rentgenoskopiji pluća.

Utvrdili smo da skoro 1/3 anketiranih ljekara uopšte ne provodi podešavanje napona i jačine struje bez obzira na debljinu i uzrast pacijenta, a 7 ne provodi adaptaciju vida na tamu. Također smo ustanovili da oko 1/3 ispitivanih ljekara koristi podešavanje napona i jačinu stanja i adaptaciju vida na tamu, međutim vrijednosti koje se primjenjuju su nezadovoljavajuće, jer nisu u skladu s uobičajenim standardima.

Treću grupu anketiranih ljekara predstavljaju oni koji primjenjuju alternativno napon i jačinu struje i adaptaciju vida na tamu, a vrijednosti pomenutih elemenata su zadovoljavajući.

U pogledu korištenja ličnih zaštitnih sredstava za zaposleno osoblje i primjene preporučenih (6,7) sredstava za zaštitu pacijenata, te korištenja pomoćnog osoblja za pridržavanje pacijenata pri rentgenskim pregledima, ustanovili smo da samo djelomični broj ispitivanih ljekara koristi lična zaštitna sredstva dok zaštitu gonada pacijenata ne provodi niko.

Za pridržavanje pacijenata pri rentgenskim pregledima pluća ispitivani ljekari najčešće koriste medicinsko osoblje.

Na osnovu naših nalaza ustanovili smo da je ne samo radiološka zaštita nezadovoljavajuća, nego i dijagnostička efikasnost, pošto se podešavanje napona, jačine struje i adaptacija na mrak uopšte ili neadekvatno provode.

Poznato je da su stepen iluminacije ekrana i adaptacije vida na tamu faktori koji određuju ne samo dijagnostičku efikasnost rentgenske pretrage nego također i njeno trajanje.

Našom studijom smo utvrdili da je vrijeme fluoroskopije pluća kod znatnog broja ljekara prilično produženo i kreće se od 1-5 min., a u jednom slučaju čak 1o minuta.

Interesantno je da niko od 6o anketiranih ljekara nema predstavu o veličini minutne doze zračenja u direktnom snopu rentgen cijevi, iako su među njima neki bili istaknuti kliničari.

Naši nalazi o utvrđenoj slaboj tehnici koju primjenjuje većina ispitivanih ljekara se podudaraju sa rezultatima sličnih studija koje su proveli Buschke i sar. (2), Sonenblick (1o,11), Taylor (12) i dr.

## Summary

The authors surveyed a determined number of physicians in SR Bosnia and Hercegovina for the elements of operative techniques employed in the use of X-ray in medical practice.

A specially designed questionnaire was used to survey things such as voltage, milliamperage, the adaptation of eyes to darkness use of personnel protective equipment etc.

The results of the study of the operative techniques are pre sented.


## Literature


1. Braestrup, C., X-Ray Protection in Diagnostic Radiology, Radiology, Vol. 38, 1942;
2. Duschke, F., and Parker, H.: Possible Hazards of Repeated Fluoroscopies in Infants, J. Pediatrics. Vol. 21. 1942;
3. Expert Committee on Radiation: Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation, WHO, Technical Report Series, No 306, str.4
4. Ministry of Health Scotish Home and Health Department: Radiological Hazards to Patients, Final Report of the Committee, H.M.S.O., London, 1966;
5. National Academy of Sciences - National Research Council: The Biological Effects of Atomic Radiation, Washington, D.C. 1956;
6. Petrovčić, P. i Benković B.: Izloženost gonada bolesnika kod dijagnostičkih rentgenoloških pretraga. Radovi Medicinskog fakulteta Zagreb. Vol. VIII, 1960;
7. Petrovčić P.: Zaštita gonada u rentgenskoj dijagnostici, Liječnički vjesnik, LXXXII, br.2. 1960;

TAB.br. 1. Stanje nekih operativnih elemenata koje primjenjuje grupa anketiranih ljekara pri rentgenskopiji pluća

| Specijalnost anketiranih ljekara | Broj anketiranih ljekara | Broj ljekara i primjena napona u kV | | | | | | | Broj ljekara i primjena jačine struje u mA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ne podešava | Podešava napon uz maksimalno korišteni napon u kV | | | | | | Ne podešava | Podešava jačinu struje maksimalno korišćenu u mA | | | | | |
| | | | 4o | 5o | 6o | 7o | 8o | 8o i više | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 i više |
| Ftiziolozi | 15 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1o | - | 1 | 0 |
| Internisti | 1o | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Opšta praksa | 15 | 6 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 6 | 1 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 |
| Pedijatrija | 15 | 6 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Rentgenolozi | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| Ukupno: | 6o | 19 | 7 | 11 | 1o | 8 | 5 | - | 17 | 5 | 6 | 21 | 7 | 2 | 2 |

TAB. br.1. - Nastavak Stanje nekih operativnih elemenata koje primjenjuje grupa anketiranih ljekara pri rentgenskopiji pluća

| Specijalnost anketiranih ljekara | Broj anketiranih | Broj ljekara i dužina adaptacije vida na tamu | | | | | | Broj ljekara koji imaju pretstavu o veličini minutne doze zračenja u direktnom snopu. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ne adaptira | Adaptacija vida na minut 3 | 5 | 1o | 15 | 2o | |
| Ftiziolozi | 15 | 1 | 5 | 3 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Internista | 1o | 1 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Opšta praksa | 15 | 3 | 7 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Pedijatrija | 15 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| Rentgenolozi | 5 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Ukupno: | 6o | 7 | 24 | 16 | 9 | 3 | 1 | 0 |

# PROBLEMI RADIOLOŠKE ZAŠTITE PRI DIJAGNOSTIČKOJ UPOTREBI RENTGEN APARATA U ZUBARSTVU

Čerkez, F. i Simić, B.

INSTITUT ZA HIGIJENU I SOCIJALNU MEDICINU U SARAJEVU

Upotreba zubarskih rentgen aparata dovodi do izlaganja jonizirajućim zračenjima pacijenata i zaposlenog osoblja. Studijom dokumentacije o zubarskim rentgen aparatima u SR Bosni i Hercegovini utvrdili smo njihovo stanje radiološke zaštite. U studiji smo prikazali metodiku rada, rezultate i preporuke za unapređenje radiološke zaštite.

## Uvod

U izvještajima eksperata o biološkom dejstvu joniznjućih zračenja /United Nations Scientific Committee (1962) i Medical Research Council (1960) (8,14)/, opisano je da se štetne posljedice mogu manifestovati kao somatska ili genetska oštećenja i da je učestalost i stepen oštećenja ovisan od primljene doze zračenja.

Uslijed izlaganja jonizirajućim zračenjima koja potiču iz prirodnih izvora, prema procjeni Spiers-a (12), godišnja doza iznosi o,1 rem-a, a prema Moeller-u i sar. (9) prosječna doza koju primi čovjek za period od 7o godina iznosi 9 rem-a.

Prema ispitivanjima Lindell-a i sar. (6) glavni vještački izvori zračenja su medicinski rentgen aparati, jer oni stanovništvu daju najveću dozu zračenja.

Ispitivanje uloge zubarskih rentgen aparata u doprinosu veličine doze zračenja, pri medicinskoj upotrebi je bio predmet niza ispitivanja.

Prema ispitivanjima Nolan-a i sar. (10) doza zračenja kod eksponicije zuba (pri upotrebi 65 kV i 10 mA) iznosila je 75 r min. Ukupno vrijeme eksponicije za 33 snimka je trajalo 9e sekundi.

Slična ispitivanja su proveli Budowsky i sar. (2), našavši da su se kožne doze lica kretale od 33.5 r-91.6 r, dok su kožne doze za abdomen bile od 0-5,6 r. Slične nalaze su dobili također Brasstrup (1), Lewis i sar. (7), Jacobson i sar. (4,5) i dr.

Ovakvi nalazi dovoljno ukazuju na veliki značaj kritičke upotrebe zubarskog rentgen aparata i značaj radiološke zaštite zaposlenog osoblja i pacijenata.

## Metodika ispitivanja

Registracija i radiološke kontrola zubarskih rentgen aparata na teritoriji SRBiH obavlja se pomoću standardizovane tehnike i adekvatne instrumentacije.

Svaki zubarski rentgen aparat je podvrgnut pregledu jedanput godišnje. Procedura kontrole rentgen aparata se sastoji od vizuelne inspekcije i određenih mjerenja. Detalji pregleda kod zubarskih rentgen aparata se baziraju shodno članu 3 Osnovnog zakona (13) o zaštiti od jonizujućih zračenja pri kome kontrola izvora zračenja uključuje slijedeće:

Ispitivanje radiološke zaštite izvora zračenja, svrsishodnosti i pogodnosti prostorije u kojoj je rtg. aparat smješten i ispitivanje postojanja, ispravnosti i efikasnosti ličnih zaštitnih sredstava.

Detaljniji elementi u odnosu na izvor, prostor i lična zaštitna sredstva su slijedeći:

Kontrola izvora zračenja podrazumjeva slijedeće:

1. Mjerenje doze zračenja na određenim odstojanjima od rentgen cijevi.
2. Topografska mjerenja zračenja na različitim mjestima, kao što su:
   a) na mjestu lica koje vrši snimanje, ako nema zaštitnog paravana,
   b) na maksimalnoj udaljenosti vremenskog relea,
   c) iza zaštitnog paravana.

3. Ispitivanje tehničke ispravnosti aparata.

Ispitivanje prostora u kome se izvor nalazi uključuje slijedeće:

a) Ispitivanje prostorija, u kojima se nalazi jedan ili više izvora zračenja, uključuju seriju mjerenja doza zračenja na mjestima gdje se nalaze druga lica u blizini rentgen aparata;

b) Mjerenja doza zračenja u susjednim prostorijama koje se nalaze iznad, ispod i sa strane u odnosu na izvor zračenja.

Ispitivanje postojanja i ispravnosti pomoćnih i ličnih zaštitnih sredstava i operativne tehnike uključuje slijedeće:

a) Ispitivanje postojanja zaštitnog paravana za operatera zubarskog rentgen aparata i efikasnost njegove zaštite;

b) Ispitivanje tehnike držanja filma u pacijentovim ustima, pitanje pravca direktnog snopa i eventualne zaštite gonada pacijenta.

Na osnovu inspekcije i mjerenja doza zračenja provodi se evaluacija nađenog stanja i dostavlja pismeni izvještaj o stanju radiološke zaštite i preporukama za uklanjanje nedostataka.

## Rezultati

Broj i strukture zubarskih rentgen aparata, u odnosu na porijeklo proizvodnje, koji su upotrebljavani u 1968 godini u SRBiH, prikazani su na Tab. 1.

Od ukupno 92 zubarska rentgen aparata 78 je domaće proizvodnje, dok je 14 stranog porijekla.

Stanje zaštite samog izvora zračenja, pogodnosti prostorija i ličnih zaštitnih sredstava koje smo ispitivali u toku 1968 godine također su prikazani na Tab. 1.

U pogledu stanja radiološko zaštite na izvorima zračenja od ukupno 92 ispitivana rentgen aparata na 84 aparata zaštita je zadovoljavajuća, dok ih je 8 imalo nedostatke. Najčešći nedostatak je bio nemogući-

most fiksiranja kućišta cijevi u željeni položaj.

Po pitanju pogodnosti prostorija kako se vidi na Tab. 1 stanje je manje zadovoljavajuće, jer od ukupno 92 prostorije u kojima se nalaze zubarski rentgen aparati samo su 55 zadovoljavala, dok 37 nisu.

Najčešći nedostaci u pogledu radnog prostora su ti što se rentgen aparati nalaze u prostorijama u kojima se nalazi i ostali personal, radi čega je ovo osoblje izloženo zračenju uvijek kada se koristi rentgen aparat. Pored toga, često su u susjednim prostorijama izmjerene veće doze od dozvoljenih.

U pogledu postojanje i ispravnosti ličnih zaštitnih sredstava kako se vidi na Tab. 1, konstatovali smo da od ukupno 92 rentgen aparata na 35 aparata, lica koja vrše snimanje, nisu bila zaštićena ličnim zaštitnim sredstvima, dok je u 57 slučajeva ta zaštita bila zadovoljavajuća.

## Diskusija

Stalnom kontrolom zubarskih rentgen aparata smanjuje se broj aparata a neadekvatnom zaštitom.

Svi zubarski rentgen aparati, koji se sada koriste u SRBiH imaju tubus čime se postiže odgovarajuća distanca i veličina polja ozračavanja.

Ispitivani rentgen aparati nemaju posebno ugrađene filtre niti postoji tehniška mogućnost da se postave dodatni filtri.

Ispitivanje prostora u kome je smješten rentgen aparata ukazuje na potrebu testiranja zaštitne moći barijera bilo da se radi o zaštiti operatera, susjednog osoblja ili zaštiti okolnih prostorija koja se nalaze oko izvora zračenja.

Pri našoj kontroli zapazili smo izvjesne nedostatke operativne tehnike, kao što su pridržavanje filma u ustima pacijenta od strane operatera ili pomoćnog osoblja. U nekoliko navrata smo konstatovali da operateri, zbog neispravnosti aparata pridržavaju kućište rentgen-

ske cijevi za vrijeme ekspozicija.

Upotrebu olovnih zaštitnih kecelja koje se koriste u zaštiti gonada kod djece i žena i drugih lica u reproduktivnom dobu (11) nismo na žalost konstatovali ni u jednom slučaju.

## Zaključak i preporuke

Proučavanjem postojeće dokumentacije o zubarskim rentgen aparatima koji su upotrebljavani u periodu 1968 godine na teritoriji SR Bosne i Hercegovine u cilju unapređenja zaključujemo i preporučujemo slijedeće:

1. Potrebno je nastaviti sa redovnom kontrolom svih zubarskih rentgen aparata;
2. Kod svih rentgen aparata kod kojih se ustanove neki nedostaci potrebno je energično zahtijevati uklanjanje nedostataka;
3. Zabraniti upotrebu svih rentgen aparata koji nisu u potpuno ispravnom stanju;
4. U narednom periodu proučiti tehničke mogućnosti ugrađivanja dodatnih filtera;
5. U pogledu lokacije zubarskih rentgen aparata, trebalo bi ih postaviti na takvim mjestima da se spriječe ekspozicije ostalog personala koje se nalazi u istoj prostoriji;
6. Operatora i personal u susjednim prostorijama trebalo bi zaštititi olovnim paravanima ili zidovima zadovoljavajuće debljine koji mogu pružiti zaštitu od zračenja;
7. Naročito bi bilo potrebno da se pri tehnici svih rentgenografskih snimanja u stomatologiji vodi računa o geometriji snopa zračenja, tj. da se smanje ekspozicije u direktnom snopu ostalih dijelova tijela, naročito reproduktivnih organa.
8. Provoditi zaštitu pacijenata pomoću kecelja od olovne gume, pri geometrijskim snimanjima.
9. Naročito je potrebno zabraniti pridržavanje kućišta cijevi od strane operatera.

10. Zabraniti intraoralno držanje filma od strane operatera ili pomoćnog osoblja. Ovo treba da obavlja pacijent ili pratilac ukoliko ne postoji određeni držač filma.
11. Koristiti što više osjetljive filmove, čuvati filmove od oštećenja i provoditi što bolju tehniku u procesu razvijanja ozračenih filmova (3).
12. Izostaviti sva nepotrebna rentgenografska snimanja u stomatologiji, naročito kod lica u reproduktivnom periodu i žena u graviditetu.
13. Primjenjivati odgovarajuće zakonske sankcije nad ustanovama i odgovarajućim licima zbog kršenja sankcije nad ustanovama i odgovarajućim licima zbog kršenja propisa koji se odnose na radiološku zaštitu.


## Summary

The widespread use of dental X-ray units includes exposure to ionizing radiation both to medical personnel as well as patients. Analysing the documentation for the sources of ionizing radiation used in SR Bosnia and Hercegovina we have established a state of radiological protection. In this study we have presented the techniques and instruments which were used. A table is presented showing the results.

The authors proposed an improvement in general towards radiological protection for medical staff and patients.

Literatura:

1. Braestrup C., and Wyckaff: Radiation Protection, knjiga 145; Charles Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, U.S.A.,1958;
2. Budowsky, J. and al.: Radiation Exposure to the Head and Abdomen during oral Roentgenography, J. Am. Dent. Assoc. Vol.52. 1956;
3. Federation Dentaire Internationale: Rules for Dental Radiation Hygiene, International Dent. J. Vol. 16, No 4, 1966;
4. Jacobson, L. and al.: X-ray Hazards and Protection in Dental Radiography, New York, Dent. J. Vol. 18, 1953;
5. Jacobson L. and al.: Dental Radiological Health Program, J. Mich. State. Dent. Assoc. Vol. 46, 1964;
6. Lindell B., and Dobson L.: Ionising Radiations and Public Health, Papers, 6, str.54, 1961;
7. Lewis, B.: Need for Precaution in Dental Rosentgenography, J. Am. Dent. Assoc. Vol. 51, 1935;
8. Medical Research Council: The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, A Second Report. London, H.M.S.O., 1960;
9. Moellor, D. and al.: Radiation Exposure in the United States, Public Health Reports, Vol.68, 1953;
10. Nilan, W. and al: Radiation Hazards From the Use of Dental X-ray Units, Radiology Vol.61, 1953;
11. Petrovčić F. i Benković B., Izloženost gonada bolesnika kod dijagnostičkih rentgenoloških pretraga, Radovi Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Vol. VIII, 1960;
12. Spiers, F., Radioactivity in Mand and His Environment, Brit. J. Radiology, Vol.29, 1956;
13. Službeni list SFRJ, br.31/1965, str.1199;
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radioative Report New York, United Nations, 1962.

TAB. br. 1.

Stanje radiološke zaštite kod zubarskih rentgen aparata u SRBiH korištenih u 1968 godini.

| Vrste rentgen aparata prema proizvodnji | Broj rentgen aparata | Stanje zaštite u odnosu na rentgen aparat, prostor i ličnu zaštitu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | zaštita rentgen aparata | | zaštita prostorija | | lična zaštita | |
| | | zadovoljava | nezadovoljava | zadovoljava | nezadovoljava | zadovoljava | nezadovoljava |
| Domaći | 78 | 73 | 5 | 45 | 33 | 49 | 29 |
| Strani | 14 | 11 | 3 | 1o | 4 | 8 | 6 |
| Ukupno | 92 | 84 | 8 | 55 | 37 | 57 | 35 |

# STANJE MEDICINSKIH IZVORA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U SRBIH I RADIOLOŠKA ZAŠTITA

F. Čerkez, B. Simić
INSTITUT ZA HIGIJENU I SOCIJALNU MEDICINU U SARAJEVU

U skladu sa zakonskim propisima razvili smo metodiku za kontrolu izvora jonizujućih zračenja. Tehnika kontrole uključuje registraciju, mjerenje zračenja i inspekciju izvora, prostora i ličnih zaštitnih sredstava. Rezultati, zaključci i preporuke za unapredenje su u studiji izloženi.

Cjelokupni biljni i životinjski svijet je od svog postanka izložen jonizujućim zračenjima koja potiču iz prirodnih izvora (6) .

Doza zračenja koju čovjek primi iz prirodnih izvora u toku jedne godine, prema Naučnom komitetu Ujedinjenih Nacija za ispitivanje efekta jonizujućih zračenja (16) i Spiers-a (15) iznosi oko 0,1 rem.

Moeller i sar. (9) navode da prosječne doze zračenja koje čovjek primi za period od 7o godina iznose 9 reme.

Prirodna zračenja predstavljaju samo dio od ukupnih ekspozicija koja dolaze iz raznih vještačkih izvora zračenja.

Prema Lindell-u i Dobson-u (5), glavni izvori zračenja iz kojih se ozračava stanovništvo i medicinsko osoblje su medicinski rentgen aparati.

Prema ispitivanjima Sonnenblick-a (12) i Jacobson-a (4) je dokazano da je veličina doza koje primaju zaposleno osoblje i pacijenti ovisno uglavnom o zaštiti na izvoru i od operativnih procedura koje se koriste pri rukovanju sa rentgen aparatom.

Eksperti Svjetske zdravstvene organizacije (3) ukazuju da je

zbog poboljšanja ekonomskih prilika porasla upotreba rentgen aparata i da taj porast upotrebe aparata povećava se godišnje za 10-15%.

Prema informacijama eksperata o biološkom dejstvu jonizujućih zračenja (United Nations Scientific Committee i Medical Research Council) (16,6) ustanovljeno je da se štetne posljedice mogu pojaviti kao somatska i genetska oštećenja. Polazeći od takvih shvatanja da su jonizujuća zračenja veoma štetan agens, rezultirala je efikasna kontrola primljenih doza kako kod zaposlenog osoblja tako i kod lica koja se podvrgavaju rentgenskim pregledima (1,7,8).

Za efikasno ograničavanje izloženosti jonizujućim zračenjima naročito je potrebno poznavanje svih izvora zračenja i to u pogledu broja, vrste, stepena korištenja i stanja radiološke zaštite zaposlenog osoblja i pacijenata (2).

U tom pogledu u našoj zemlji ovaj problem je regulisan Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja (13) i saglasno članovima 4 i 11 potrebno je kontinuirano provoditi mjerenje stepena izloženosti jonizujućim zračenjima u prostorijama i radnim mjestima.

Na osnovu zvaničnih ovlaštenja (14) Institut za higijenu i socijalnu medicinu u Sarajevu provodi registraciju svih izvora jonizujućih zračenja, mjerenja doza zračenja, ispituje postojanje potrebnih ličnih zaštitnih sredstava i adekvatnost prostorije u kojima je smješten izvor zračenja. Obavljajući ove poslove svi nalazi o pomenutim ispitivanjima se propisno registruju u određenoj dokumentaciji.

U ovom radu autori su na osnovu proučavanja dokumentacije prikazali stanje radiološke zaštite na izvorima jonizujućih zračenja na teritoriji SRBiH koji su korišteni 1968 godine.

## Metodika ispitivanja

Registraciju i kontrolu izvora jonizujućih zračenja obavlja tim zdravstvenih fizičara pomoću standardizovane metodike i adekvatne instrumentacije kojom se provodi mjerenje i promptno očitavanje doza zračenja.

Shodno članu 3 Osnovnog zakona (13), o zaštiti od jonizujućih zračenja radiološka kontrola uključuje kontrolu zaštite na izvorima zračenja, ispitivanje pogodnosti radnih prostorija i stanje ličnih zaštitnih sredstava koja služe za bezbjedno rukovanje i zaštitu pacijenata. Detaljniji elementi metodike pomenutih ispitivanja uglavnom se sastoje u slijedećem:

1. Kontrola izvora

1.1. Ispitivanje kolimacije snopa zračenja i širine korisnog snopa pri maksimalno otvorenom kolimatoru;

1.2. Mjerenje doza zračenja na određenom odstojanju od zatvorenog kućišta rentgenske cijevi čime se ispituje zaštitna moć olovnog kućišta;

1.3. Mjerenje zaštitne vrijednosti olovnog stakla na fluorescentnom ekranu;

1.4. Mjerenje doza zračenja na odgovarajućim tačkama pri radnim uslovima, kod potpuno otvorenog kolimatora;

2. Kontrola pogodnosti prostorija uključuje:

2.1. Mjerenje površine prostorije u kojoj je smješten izvor zračenja;

2.2. Utvrđivanje postojanja svlačionice, ispravnosti i kapaciteta ventilacije u prostoriji gdje se izvor zračenja nalazi;

2.3. Mjerenje doza zračenja u susjednim prostorijama koje se nalaze ispod, iznad i sa strana u odnosu na izvor zračenja;

3. Lična zaštitna sredstva

3.1. Kontrola postojanja ličnih zaštitnih sredstava;

3.2. Ispitivanje zaštitne moći ličnih zaštitnih sredstava;

3.3. Kontrola postojanja zaštitnih sredstava za zaštitu gonada kod pacijenata u raproduktivnom dobu;

## Rezultati

Broj i strukturu rentgen aparata, prema korisniku i namjeni, prikazali smo na Tab. 1.

Ukupan broj rentgen aparata koji su se koristili 1968 godine u SR Bosni i Hercegovini iznosio je 426. Najveći broj rentgen aparata tj. 149 se nalazi u zdravstvenim stanicama, potom slijede domovi zdravlja sa 146, bolnice 78 itd.

U pogledu namjene najviše je bilo rentgen aparata koji služe za skopiju - 179, zatim slijede rentgen aparati koji služe za rentgenografiju i rentgenoskopiju - 93, potom zubarski rentgen aparati (92), itd. Stanje radiološke zaštite klasificirane prema vrsti rentgen aparata i to u odnosu na izvor zračenja, pogodnosti prostora i ličnih zaštitnih sredstava smo prikazali na Tab. 2.

Od svih 426 rentgen aparata koji se koriste za razne svrhe radiološka zaštita je bila zadovoljavajuća kod 339 izvora, dok je kod 87 aparata ustanovljen bar po jedan nedostatak. Najčešći nedostatak kod aparata za rentgenoskopiju je bila neadekvatna kolimacija snopa zračenja, a kod rentgen aparata za rentgenografiju najčešći nedostatak je neupotrebljavanje tubusa kojim se reguliše veličina polja ozračavanja.

U pogledu pogodnosti prostora u kojima su smješteni rentgen aparati situacija je najgora. Od ukupno 426 prostorija 172 su zadovoljavale u pogledu potrebnih standarda radijacione higijene, dok je nezadovoljavajuće stanje bilo u 254 slučaja.

I stanje lične zaštite je nezadovoljavajuće. Iako ne iziskuje veća materijalna ulaganja kod 293 izvora lična zaštita je nezadovoljavajuća, a kod 133 je zadovoljavala.

## Diskusija

Rezultati naše studije pokazuju da se u SR Bosni i Hercegovini nalazi 426 medicinskih izvora jonizujućih zračenja i da je to najveći vještački izvor koji doprinosi u ozračivanju kako profesionalnog osoblja tako i stanovništva.

U pogledu strukture rentgen aparata prema namjeni, značajno je da se 174 izvora koriste za rentgenoskopske svrhe, a njihova upotreba daje najveće doze ozračavanja.

Ispitivanja nedostataka radiološke zaštite su otkrila nedostatke na izvorima, u radnom prostoru i u pogledu ličnih zaštitnih sredstava namijenjenih za zaposleno osoblje i pacijente.

Najčešći uočeni nedostaci radiološke zaštite na rentgen aparatima koji služe za rentgenoskopiju bili su povećana širina direktnog snopa. Na istim aparatima je relativno čest slučaj otežano regulisanje veličine zračnog polja.

Na rentgen aparatima namijenjenim za rentgenografska snimanja često smo konstatovali nekorištenje tubusa kojim se reguliše veličina polja snimanja.

U pogledu prostorija u kojima su smješteni rentgen aparati za prosvjetljavanje, čest je nedostatak svlačionica, pa se pacijenti nepotrebno izlažu zračenju za vrijeme skidanja odijela i čekanja na red u istoj prostoriji u kojoj je uključen rentgen aparat.

Također smo konstatovali veći broj rentgen kabineta bez ventilacije ili je pak ova neispravna, neadekvatna po kapacitetu ili bučna, radi čega je ljekari isključuju.

Daljnji nedostatak rentgen kabineta je nedovoljna veličina prostorija, a u nizu slučajeva smo konstatovali nedovoljnu zaštitu okolnih prostorija.

Ispitivanjem ličnih zaštitnih sredstava utvrđen je češći nedostatak olovnih paravana, naočala za adaptaciju za mrak i zaštitnih sredstava koja su potrebna za zaštitu pacijenata.

## Zaključci i preporuke

U cilju daljnjeg unapređenja radiološke zaštite pri upotrebi medicinskih rentgen aparata zaključujemo i preporučujemo slijedeće:

1. U 1968 g. u Bosni i Hercegovini je bilo registrovano 426 medicinskih rentgen aparata, što znači da su medicinski izvori najrasprostranjeniji vještački izvori zračenja u ovoj Republici;

2. Najveći broj rentgen aparata se koristi za prosvjetljavanje;

3. Na većem broju rentgen aparata, koji služe za rentgenoskopske

svrhe, potrebno je provesti tehničke korekcije za kolimaciju korisnog snopa;

4. Kod rentgen aparata koji služe za snimanje potrebno je upotrebljavati tubus kojim se reguliše veličina polja ozračavanja.

5. Veliki dio rentgen aparata se još uvijek nalazi u prostorijama koje su adaptirane, nisu posebno građene za rentgen kabinete, zbog čega proističe čitav niz nedostataka.

6. U svim slučajevima gdje se pomoćno osoblje nalazi u rentgen kabinetima potrebno je za njih izgraditi zaštitne kabine ili nabaviti olovne paravane.

7. Svo osoblje snabdjeti ličnim zaštitnim sredstvima.

8. Kod rentgenoskopije svi operateri treba da se snabdiju zaštitnim naočarima za adaptaciju na mrak.

9. U cilju boljeg upoznavanja stvarnih doza zračenja, mjeriti dozu zračenja u direktnom snopu i proučiti značaj i tehničke mogućnosti ugradivanja dodatnih filtera u kućište rentgen cijevi.

10. Potrebno bi bilo uvesti redovnu zaštitu gonada pacijenata pomoću olovnih kecelja i tehničkih sredstava koje preporučuje Petrovčić (10,11).

11. Primjenjivati zakonske sankcije nad ustanovama i kod odgovarajućih lica koja ponavljano krše propise koji se odnose na radiološku zaštitu.


## Summary

In the introduction the biological changes are presented which follow from exposure to ionising radiation. The need for monitoring a diagnostic X-ray department is discussed. A system of monitoring is outlined consisting of the measurement of the doses at the topical places, auxilliary fluoroscopic protection such as chairs aprons gloves etc, and structural shielding.

The results of this survey are presented in two tables. The conclusion and several recommendations for the improvement of radiological protection are outlined.

TAB. br. 1.

Rasprostranjenost i struktura prema namjeni rentgen aparata koji se koriste u SRBiH u pojedinim zdravstvenim ustanovama u SRBiH

| Vrsta zdravstvene ustanove | Vrsta rentgen aparata prema namjeni | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | skopija | grafija zuba | skopija i grafija | grafija | skopija i grafija i kontrast | terapija | Svega |
| Kliničke bolnice | 3 | 1 | 5 | 1o | 2 | 6 | 27 |
| Bolnice | 17 | 2 | 4o | 12 | 6 | 1 | 78 |
| Domovi zdravlja | 63 | 45 | 25 | 8 | 5 | | 146 |
| Zdravstvene stanice | 9o | 42 | 16 | 1 | - | | 149 |
| Ostale zdravstvene ustanove | 6 | 2 | 7 | 5 | 3 | 3 | 26 |
| Ukupno: | 179 | 92 | 93 | 36 | 16 | 1o | 426 |

TAB. br.2.

Stanje radiološke zaštite prema namjeni rentgen aparata koji su upotrebljavani u 1968 godini na teritoriji SRBiH

| Vrsta namjene rentgen aparata | Broj rentgen aparata | Stanje zaštite u odnosu na rentgen aparate, prostor i ličnu zaštitu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Zaštita rentgen aparata | | Pogodnost prostora | | Lična zaštita | |
| | | zadovoljava | nezadovoljava | zadovoljava | nezadovoljava | zadovoljava | nezadovoljava |
| Skopija | 179 | 136 | 43 | 43 | 136 | 115 | 64 |
| Grafija zuba | 92 | 84 | 8 | 55 | 37 | 57 | 35 |
| Skopija i grafija | 93 | 65 | 28 | 34 | 59 | 66 | 27 |
| Grafija | 36 | 33 | 3 | 23 | 13 | 33 | 3 |
| Skopija, grafija i kontrastna snimanja | 16 | 11 | 5 | 7 | 9 | 12 | 4 |
| Terapija | 10 | 10 | - | 10 | - | 10 | - |
| Ukupno: | 426 | 339 | 87 | 172 | 254 | 293 | 133 |

## Bibliografija

1. Beckman, Z.M. (1962), Genetically Significant Dose from Diagnostic Roentgenology, Doktorska disertacija, N.V., Drukerij V/H, Botteljee i terpstra-Leiden, str.1o;

2. Baumgarten, L. and Blatz, H. (1961), Control of Common Radiation Hazards in New York City, Public Health Reports, Vol. 76, P.583;

3. Expert Committee on Radiation (1965), Public Health and the Medical use of Ionizing Radiation, World Health Organization Technical Report Series, No 3o6, str.4;

4. Jacobson, L.E. (1951), Monitoring of Diagnostic X-ray Department Radiology, Vol. 58, 568;

5. Lindell, B. and Dobson, L. (1961), Ionising Radiations and Health Public Health Papers, 6, P.54;

6. Medical Research Council (1958), The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, H.M.S.O., London;

7. Ministry of Health Department of Health for Scotland (196o), Radiological Hazards to Patients, Second Report of the Committee, H.M.S.O., London, str.46;

8. Ministry of Health, Scottish, Home and Health Department (1966), Radiological Hazards to Patients, Final Report of the Committee, H.M.S.O., London, str.11;

9. Moeller, D., Terril J. and Ingraham, S. (1953), Radiation Exposure in the United States, Public Health Reports, Vol. 68, P 57;

1o. Petrovčić, F. i Benković B., Izloženost gonada bolesnika kod dijagnostičkih rentgenoloških pretraga. Radovi Medicinskog fakulteta Zagreb, Vol. VIII, 196o;

11. Petrovčić, F., Zaštita gonada u rentgenskoj dijagnostici, Liječnički vijesnik, LXXXII, br.2, 196o;

12. Sonnenblick, B.P. (1955), On some Aspects of the Problem of Human Radiation Protection, Journal of the Newark Beth Israel, Hospital, Vol.6, 31;

13. Službeni list SFRJ, broj 12/65;

14. Službeni list SRBiH, broj 28/61;

15. Spiers, F.W. (1956), Radioactivity in Man and His Environ. British, J. Radiol. Vol. 29, P. 4o9;

16. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1958), Report New York.

# METODA ZA ODREDJIVANJE Sr-90 SA ALUMINIJUMOM KAO NOSACEM ZA Y-90

BRNOVIĆ R. GVOZDANOVIĆ D.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović" Beograd

**Rezime**

Izvršena je verifikacija analitičko hemijske metode za odredjivanje Sr-9o, zasnovane na oksalatnom izdvajanju zemnoalkalnih metala uz korišćenje aluminijuma kao nosača za Y-9o.

Primena ove metode proverena je na velikom broju uzoraka iz biosfere (mleko, hrana, voda, zemljište, kosti). Efikasnost izdvajanja Y-9o na nosaču aluminijum hidroksidu je oko 95% i potpuno je selektivno obzirom na dobijeno vreme poluraspada za Y-9o (64 časa).

## Kratak literaturni pregled metoda za odredjivanje stroncijuma 9o

Proučavajući metode za odredjivanje Sr-9o, nama je bio cilj da ustanovimo mogućnost praktične primene pojedinih metoda za rutinsku kontrolu aktivnosti Sr-9o u različitim uzorcima u biosferi (voda, mleko, ljudska i stočna hrana, kosti, zemljište itd.)

Hteli smo da odaberemo metodu koja daje zadovoljavajuće rezultate, a u isto vreme je tehnički lako ostvarljiva i ekonomična. Hemijski analogi elementi kalcijum, stroncijum i barijum nalaze se u varijabilnim količinama u uzorcima biosfere. Najsloženiji zadatak u metodici odredjivanja Sr-9o, predstavlja njegovo izdvajanje od makrokoličina kalcijuma i eventualnih tragova barijuma. Sr-9o se može odrediti pomoću fizičko-hemijskih i fizičkih metoda. Fizičko-hemijske metode baziraju se na analitičko-hemijskim postupcima sa primenom nosača (1), (2), (3), (4),(5),(6), zatim na jonoizmenjivačkoj hromatografiji (7), (8),(9),(1o), i ekstrakciji (11). Mada

se ove metode najčešće koriste, Sr-9o moguće je odrediti i fizičkim putem na osnovu merenja apsorpcije beta zraka: E (Sr-9o)= o,5 MeV-a; E (Y-9o)= 2,2 MeV-a.(2).
Veliki broj metoda zasnovan je na različitoj rastvorljivosti soli zemnoalkalnih metala u neorganskim i organskim rastvaračima.
Bryant (1) je dao klasičnu analitičko hemijsku metodu zasnovanu na separaciji kalcijum i stroncijum nitrata iz pušljive azotne kiseline. Razdvajanje nitrata kalcijuma, stroncijuma i barijuma moguće je i apsolutnim etil alkoholom, smešom etil-lakohola i etiletra, amil alkoholom i acetonom (2).

Interesantna je analitičko hemijska metoda zasnovana na oksalatnom taloženju zemnoalkalnih metala i izdvajanju i merenju itrijuma 9o bez prethodne separacije kalcijuma, stroncijuma i barijuma. Ovu metodu opisao je Volchok (4) 1957 g. a usvojena je uz izvesne modifikacije kao standardna metoda za odredjivanje Sr-9o u biološkom materijalu u Poljskoj (5). I sovjetski autori (6) koriste ovu metodu za odredjivanje Sr-9o u pepelu rastinja.

Za separaciju zemnoalkalnih metala razradjene su tekodje različite jonoizmenjivačke metode na smolama uglavnom Dowex i Amberlit. Joni kalcijuma, stroncijuma i barijuma prvo su adsorbovani kao katjoni, a zatim se eluiraju laktatima, citratima ili sa EDTA (etilen diamin tetra sirćetna kiselina), pri odredjenim brednostima pH, (9), (1o).

Metoda koja se koristi za rutinsko odredjivanje Sr-9o u uzorcima mleka u Francuskoj (Service central de protection contre les rayonnements ionisants - B.P. n 35, 78 Le Vesinet), zasnovana je takodje na jonoizmenjivačkoj hromatografiji. Na katjonskoj smoli Dowex 5o w x 8 adsorbuje se Sr-9o a na anjonskoj smoli Dowex 1 x 8 fiksira se Y-9o.(7),(8).

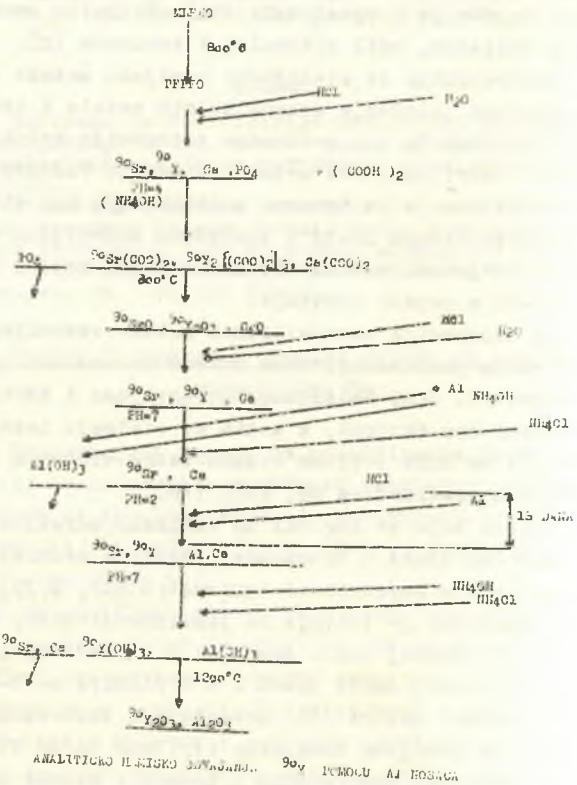
Francuski autori (11) preporučuju ekstrakcionu metodu zasnovanu na gradjenu kompleksa itrijuma 9o sa TTA (o-tenoil trifluoraceton) rastvorenim u benzolu. Metoda je brza i vrlo selektivna u odnosu na Y-9o u prisustvu drugih katjona (Ca, Sr, U, Th, Pu). Maksijum ekstrakcije postiže se pri pH=6,5-6,6. Osetljivost metode je $3.10^{-7}$ µCi/ml.

Razmatrajući i eksperimentalno uporedjujući navedene metode, mi smo odabrali kao efikasnu nekomplikovanu i eko-

nomičnu metodu koju preporučuju poljski autori Liniecki J. and al. (7) za rutinsko odredjivanje Sr-90 u biosferi. U principu smo je usvojili, ali je kao nosač za Y-90 korišćen aluminijum hidroksid, koji vrlo efikasno zamenjuje itrijum nosač.

## Metoda

Šematski prikaz metode dat je na sl. 1.(slika)




ANALITIČKO HEMIJSKO [illegible] $^{90}Y$ POMOĆU Al NOSAČA

SLIKA 1

Analitički tok metode je sledeći:

1. Mineralni prah uzorka (mleko, ljudska i stočna hrana, kosti itd.) rastvara se u HCl konc. uz dodatak destilovane vode. Ukoliko uzorak nije bogat kalcijumom, on se dodaje u makrokoličini (do o,5 gr.Ca), obzirom da služi kao nosač za Sr-9o i Y-9o.

2. Rastvor se zagreva do 80°C i dodaje rastvor oksalne kiseline (8o gr/l) u višku. Zatim se dodaje amonijak kap po kap do pH- 4 (promena boje bromkrezol zelenog). Tada su kvantitativno staloženi oksalati. kalcijuma, stroncijuma 9o i itrijuma 9o. Talog se ostavi preko noći, jer se onda formira u najpogodnijem obliku za cedjenje.

3. Po filtriranju talog se žari na 800°C dva sata. Pošto se žarenjem oksalati kalcijuma, stroncijuma i itrijuma prevedu u odgovarajuće okside, ovi se rastvaraju u HCl (1:1).

4. Rastvoru se dodaje 3o mg aluminijuma nosača, 2 gr amonijum hlorida i kvantitativno se taloži amonijakom (pH=7,5) aluminijum-hidroksid na kome je adsorbovan Y-9o. Talog se po filtriranju i ispiranju rastvorom amonijum hlorida (2%) i destilovanom vodom odbacije. Filtratu se dodaje ponovo aluminijum nosač u kiseloj sredini. Rastvor se ostavi da stoji 18 dana do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže Sr-9o - Y-9o.

5. Zatim se nanovo kvantitativno taloži $Al(OH)_3$ koji je nosač za formirani Y-9o. Ova operacija se ponovi radi potpunog odvajanja i prečišćavanja Y-9o od tragova stroncijuma i kalcijuma. Vreme poslednjeg taloženja $Al(OH)_3$ se zabeleži.

6. Talog $Al(OH)_3$ sa filter papirom stavi se u odmereni porcelanski lončić za žarenje, osuši, sagori na plamenu filter papir i talog žari u električnoj peći na 12oo°C u intervalima od po lo min. do konstantne težine.

7. Ižareni aluminijum trioksid prenese se u planšetu i aktivnost Y-9o meri na GM antikoincidentnom brojaču("Philips") tri puta u toku nedelju dana. Vreme početka merenja se zabeleži.

8. Formira se dijagram opadanja aktivnosti Y-9o u semi-log sistemu. Iz ovog dijagrama izračunava se aktivnost Y-9o

u momentu njegovog odvajanja od Sr-9o (T=O), i ova vrednost unosi se u proračun.

Izračunavanje aktivnosti Sr-9o vrši se po formuli:

$$\frac{No}{2,22\ (A)\ (B)\ (C)\ (D)} = pCi\ Sr\text{-}9o/D$$

No = aktivnost (imp/min) itrijuma 9o u momentu odvajanja (To)
A = efikasnost brojačkog uredjaja
B = hemijski prinos metode
C = hemijski prinos aluminijuma
D = količina uzorka (gr, l, kg itd.)

## Verifikacija metode

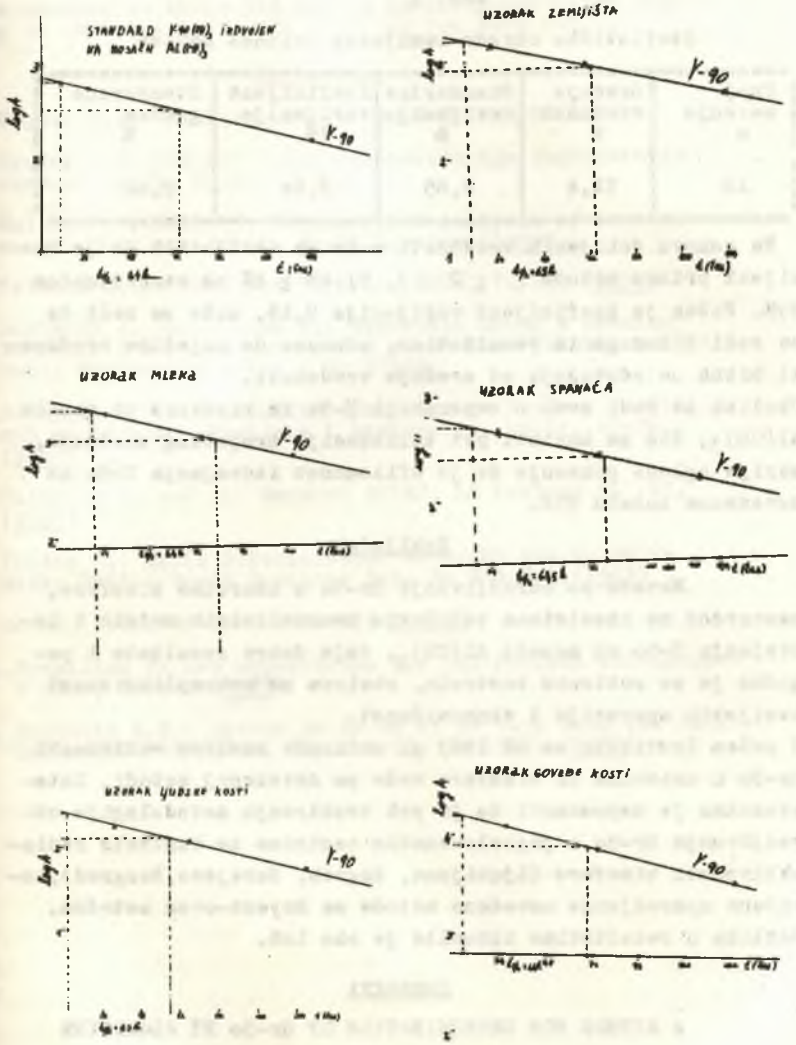
Metoda je verifikovana na sledeći način:

a) Snimanjem krivih raspada Y-9o izdvojenog na $Al(OH)_3$ za veliki broj različitih uzoraka iz biosfere (preko 1000 uzoraka).

b) Statističkom analizom hemijskog prinosa metode

Na slikama 2 - 7 prikazano je opadanje aktivnosti Y-9o kao standarda izdvojenog na nosaču $Al(OH)_3$ zatim u uzorcima zemljišta, mleka, spanaća, ljudska i govedje kosti. Eksperimentalno nadjeno vreme poluraspada Y-9o je 64 h ± 1 h. Iz navedenih grafika evidentno je da je čistoća izdvajanja Y-9o na $Al(OH)_3$ zadovoljavajuća.

Hemijski prinos metode utvrdjen je provodjenjem odredjene aktivnosti Sr-9o + Y-9o (933 pCi) kroz celokupan operativni tok navedene metode u 18 kvalitativno i kvantitativno različitih uzoraka iz biosfere (mleko, hleb, krompir, kukuruz, pasulj, grožđje, lucerka itd.). U ovim ogledima Y-9o korišćen je kao traser i uporedjujući aktivnosti Y-9o po završetku analize sa poznatom dodatom aktivnošću, bilo je moguće odrediti hemijski prinos opisane metode. Statistička obrada dobijenih rezultata prikazana je u tabeli 1.




Sl. 2 - 7 . Krive raspada Y-90 izdvojenog na nosaču $Al(OH)_3$ u različitim uzorcima iz biosfere

TAB. 1

Statistička obrada hemijskog prinosa metode

| Broj merenja n | Srednja vrednost % | Standardna devijacija % | Koeficijent varijacije V% | Standardna greška % |
|---|---|---|---|---|
| 18 | 91,4 | 8,85 | 9,6o | 2,oo |

Na osnovu dobijenih vrednosti može se zaključiti da je hemijski prinos metode ( ± 2 ), 91,4% ± 4% sa verovatnoćom 95%. Pošto je koeficijent varijacije 9,6%, može se reći da se radi o homogenim rezultatima, odnosno da pojedine vrednosti bitno ne odstupaju od srednje vrednosti.
Ukoliko se radi samo o separaciji Y-9o iz rastvora na nosaču $Al(OH)_3$, što se koristi pri kalibraciji brojačkog uredjaja, serija ogleda pokazuje da je efikasnost izdvajanja Y-9o na navedenom nosaču 95%.

## Zaključek

Metoda za odredjivanje Sr-9o u uzorcima biosfere, zasnovana na oksalatnom taloženju zemnoalkalnih metala i izdvajanju Y-9o na nosaču $Al(OH)_3$, daje dobre rezultate i pogodna je za rutinsku kontrolu, obzirom na nekomplikovanost hemijskih operacija i ekonomičnost.
U našem Institutu se od 1963 g. rutinske analize aktivnosti Sr-9o u uzorcima iz biosfere vrše po navedenoj metodi. Interesantno je napomenuti da je pri testiranju metodologije odredjivanje Sr-9o u jugoslovenskim centrima za kontrolu radioaktivnosti biosfere (Ljubljana, Zagreb, Sarajevo,Beograd),izvršeno uporedjenje navedene metode sa Bryant-ovom metodom. Razlika u rezultatima iznosila je oko 1o%.


## Summary:

A METHOD FOR DETERMINATION OF Sr-9o BY ALUMINIUM AS A CARRIER FOR Y-9o

Analytico-chemical method for determination of Sr-9o, based on oxalate extraction the alkaline earths-metals with use of aluminium as a carrier for Y-9o, was verified.
The use of this method was checked up in a great number of samples from biosphere (milk, food,watter, soil,bones).

Efficacy of separation of Y-9o on aluminium hydroxide carrier is about 95% and is entirely selective regarding to obtained half-life of decay for Y-9o (64,5h.).

## Literature


1. Bryant F.J. Chamberlain A.C. AERE-HP/R.2o56(1956)

2. Švedov V.P. Širokov S.I.: Radioaktivnije zagraznenija vnešnej sredi, Moskva (1962)

3. Hallbach P.(Editor): Radionuclide analysis of environmental samples, Public Healt Service,(1959)

4. Volchok H.L.: Ann. New York Ac. Scie. 71,293 (1957)

5. Liniecki J. Czosnovska W.: Zawartość Sr-9o w kościan ludzkich i zwierzecych oraz w mleku-dane Polskie z 1958 roku; Nucleonika - tom V Nr 5/1960

6. Zacepina L.H.: K metodike opredelenija Sr-9o v rastitelnih materjalah. Gigijena i sanitarija, br.1o, 68-7o, (1966)

7. Pellerin P. and al: Rapport SCPRJ, Le Vesinet No 115, (1967)

8. Porter C.: Rapid Determination of Sr-89 and Sr-9o in Milk: Public Healt Service; Pub. No 999-R-2,(1963)

9. Davis, P.S.: Nature, 183, 674 (1959)

1o. Tremillon B: Les séparatione par les résimes echangeuses d'ions, Paris, (1965)

11. Francoie M.H.: Dosage du Sr-9o et de Y-9o dans les eaux naturelles chargées. Rapport CEA No 1965, (1961)

# ZAŠTITA MEDICINSKOG OSOBLJA I OKOLINE KOD PRIMENE $^{60}$Co U DUBINSKOJ TERAPIJI

RISTIĆ Đ., VUKOVIĆ S., GNJATOVIĆ S.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Rezime

U referatu su opisane karakteristike kobalt uredjaja, opasnosti koje nastaju kao posledica eksploatacije kobalt uredjaja, mere zaštite i osnovni faktori koje treba uzeti u obzir pri planiranju prostorije u kojoj će biti smešten kobalt uredjaj.

## Uvod

Bitna promena u radijacionoj terapiji nastala je kada su se prvi put pojavili uredjaji sa izvorima zračenja $^{60}$Co. Konstrukcija takvih uredjaja je neprekidno usavršavana i danas postoji niz tipova koji u znatnoj meri mogu da zamene ranije korišćene terapeutske aparature. Osnovno preimuštvo ovih uredjaja je u tome što se može da koristi izvor relativno malih dimenzija na relativno velikom rastojanju od bolesnika.

Izvesno vreme Kanada je bila jedina zemlja koja je proizvodila izvore $^{60}$Co sa visokom specifičnom aktivnošću, dok danas mogućnost ove proizvodnje postoji u više zemalja. Naša zemlja, odnosno Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, u saradnji sa Elektronskom industrijom - Niš, proizvodi i isporučuje ovakve kompletne uredjaje sa $^{60}$Co od 1965. godine. Do danas je na zahtev domaćih medicinskih ustanova Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u saradnji sa Ei - Niš isporučila 6 izvora aktivnosti 1.500 do 2.000 Ci od kojih 3 kompletna uredjaja za dubinsku terapiju.

Karakteristike kobalt uredjaja

Kobalt uredjaj se koristi za dubinsku terapiju zračenjem sa nepokretnim ili pokretnim izvorom.

Kobalt-60 je smešten u specijalan sistem čaure od nerdjajućeg čelika tako da je opasnost od neposredne kontaminacije u normalnim uslovima rada praktično nemoguća.

Izvor se nalazi u zračnoj glavi koja je napravljena od čelika, a ispunjena olovom i volframom. Zaštitna moć zračne glave je takva da, sa izvorom od 2.000 Ci $^{60}Co$ kada je glava zatvorena, jačina ekspozicione doze na 1 m od površine glave ne prelazi 1 mR/h. Izvor se dovodi u radni položaj pomoću posebnog elektrouredjaja. Ovaj uredjaj je konstruisan tako da u slučaju nestanka električne struje automatski zatvara izvor.

Upravljanje kobalt uredjajem se obavlja preko komandnog stola i može da ga vrši samo lice koje poseduje ključ od stola. Na taj način se sprečava nekontrolisano stavljanje kobalt uredjaja u pogon.

Opasnosti koje se javljaju kao posledica eksploatacije kobalt uredjaja i odgovarajuće mere zaštite

S obzirom na način kapsuliranja i da se vrši brižljiva provera na kontaminaciju opasnost od kontaminacije praktično ne postoji u normalnim uslovima korišćenja. Medjutim, opasnost od ozračivanja je znatna, jer se koriste izvori aktivnosti do 2.000Ci koji u korisnom snopu na 1 m od izvora daju ekspozicionu jačinu doze od oko 2.700 R/h. Opasnosti od ozračivanja mogu da budu izložena, pored medicinskog osoblja, koje rukuje uredjajem i lica u neposrednoj okolini. Odatle proizilazi da mora da se preduzmu posebne mere zaštite čije sprovodjenje smanjuje opasnost ozračivanja na najmanju moguću meru.

Iz iznetih karakteristika kobalt uredjaja vidi se da je pri konstrukciji sproveden niz mera zaštita. Mi ćemo spomenuti još neke mere koje su neophodne i koje mora da se sprovode.

Najvažnija mera zaštite je izgradnja prostorije u kojoj će biti smešten kobalt uredjaj i u kojoj će se ozračivati pacijenti.

Pri izboru lokacije za ovu prostoriju, u okviru bolničkog kompleksa, poželjno je da prostorija bude funkcionalno vezana sa bolesničkim sobama, da se na zidove prostorije ne naslanjaju druge prostorije i da nije na spratu. Za proračun zaštitne moći zidova prostorije važni su sledeći podaci:

- maksimalna aktivnost radioaktivnog $^{60}Co$
- unutrašnje dimenzije prostorije i lokacija kobalt uredjaja u njoj
- udaljenost okolnih prostorija i susednih objakata, odnosno rastojanja od izvora do okolnih radnih i drugih mesta
- vreme efektivnog korišćenja snopa zračenja
- vreme boravka lica iza zaštitnih zidova prostorije
- dozvoljene doze za lica koja borave iza zaštitnih zidova i u neposrednoj okolini
- materijal od koga će se graditi zidovi, prozori i vrata.

Pristup u prostoriju treba graditi sa lavirintom da bi na ulazna vrata padalo samo rasejano zračenje. Rasejano zračenje koje pada na vrata biće manje ukoliko je lavirint duži i uži. Medjutim, pri odredjivanju njegovih dimenzija treba da se vodi računa da kolica sa bolesnikom mogu nesmetano da prolaze.

Zbog korišćenja snažnog snopa gama zračenja u prostoriji nastaju ozon i nitrozni gasovi. Zaštita od njihovog štetnog dejstva se postiže postavljanjem sistema za ventilaciju koji izvlači zagadjen vazduh iz prostorije, a dovodi svež i klimatiziran.

Vodovi za struju, vazduh i grejanje postavljaju se na visini većoj od 2 m, a gubitak zaštitne moći zidova usled šupljina nadoknadjuje se postavljanjem umetka od olovnog lima odgovarajuće debljine.

Sprečavanje izlaganja zračenju pri ulasku u prostoriju, u vreme kada se pacijent ozračuje, ostvaruje se povezivanjem sigurnosno-signalnog uredjaja u vratima sa komandnim stolom. Naime, kada se otvore vrata dolazi do prekida napajanja komandnog stola i izvor se automatski zatvara. Upravljački sto se obavezno postavlja van prostorije za ozračivanje. Zbog potrebe da se tokom ozračiva-

nja posmatra bolesnik postavlja se izmedju ove prostorije i prostorije u kojoj se nalazi komandni sto prozor od olovnog stakla odgovarajuće debljine.

Kada je izvor u radnom položaju u prostoriji za ozračivanje sme da se nalazi samo pacijent koga treba ozračivati. Medicinskom osoblju se zabranjuje boravak u prostoriji za ozračivanje osim za vreme pripreme pacijenta, tj. kada je izvor zatvoren. U slučaju otkazivanja mehanizma za upravljanje treba isključiti upravljački sto, ući u prostoriju i izvesti pacijenta, zatvoriti prostoriju i obavestiti nadležno lice o nastalom kvaru.

Provera ispravnosti upravljačkog i sigurnosnog sistema vrši se pre puštanja u eksploataciju i u toku eksploatacije.Isto tako, pre puštanja u eksploataciju obavezno se vrši merenje jačina ekspozicionih doza zračenja oko uredjaja i prostorije u kojoj je smešten uredjaj. Merenje se vrši kada je izvor zatvoren i kada je u radnom položaju. Cilj ovih merenja je da se ustanovi ili proveri da su jačine ekspozicionih doza u saglasnosti sa postojećim normativima o izradi i korišćenju ovakvih uredjaja. Merenja se ponavljaju tokom eksploatacije uredjaja ili posle bitnih promena na uredjaju. Prilikom svake provere ispituje se i hermetičnost šaura u kojima je smešten $^{60}Co$.

Zaštita osoblja od ozračivanja ne zavisi samo od tehničkih mera zaštite i sigurnosti uredjaja, već i od savesnog pridržavanja pravila o bezbednom radu. Može se desiti da su jačine ekspozicionih doza oko uredjaja korektne, a da ipak dodje do preteranog ozračivanja. Individualna kontrola predvidja objektivne metode za odredjivanje prave veličine doze ozračivanja zaposlenog osoblja. Uopšte, rezultati individualne kontrole su najbolji pokazatelji efikasnosti preduzetih i sprovedenih mera zaštite.

## Projektovanje objekta u kome se čuva i koristi kobalt uredjaj

Za zdravstvenu organizaciju koja gradi objekat za smeštaj i korišćenje kobalt uredjaja najbitniji su sledeći faktori:

funkcionalnost prostorija, adekvatna zaštitna moć od jonizujućih zračenja i cena objekta.

U dosadašnjim realizacijama nije uvek pri projektovanju vodjeno računa o navedenim faktorima. Što se može videti iz sledećih primera. Na slici 1. je prikazan objekat za kobalt uredjaj Kliničke bolnice u Nišu, a na slici 2. objekat za Pokrajinsku bolnicu u Novom Sadu. Polazeći od činjenice da su oba objekta predvidjena za rad sa izvorima do 2.000 Ci $^{60}$Co i da su im spoljne dimenzije iste, a raspored prostorija sličan, može se zaključiti sledeće:

1. Objekat u Nišu je očigledno stručno projektovan jer su prostorije funkcionalne, zidovi imaju odgovarajuću debljinu, što se može videti iz eksperimentalne provere čiji su rezultati prikazani na slici 3., a utrošak materijala za izgradnju je daleko manji, što se odrazilo i na cenu objekta.
2. Objekat u Novom Sadu ima preterano debele zidove što je rezultat nestručnog projektovanja. Ovo je uticalo na dimenzije prostorije, njihovu funkcionalnost i cenu izgradnje celog objekta.

Otklanjanje nedostataka je praktično nemoguće kada se objekat izgradi. Zbog toga je neophodno da se za dobijanje optimalnih rešenja pri projektovanju angažuju ustanove koje raspolažu sa odgovarajućim stručnim kadrom.

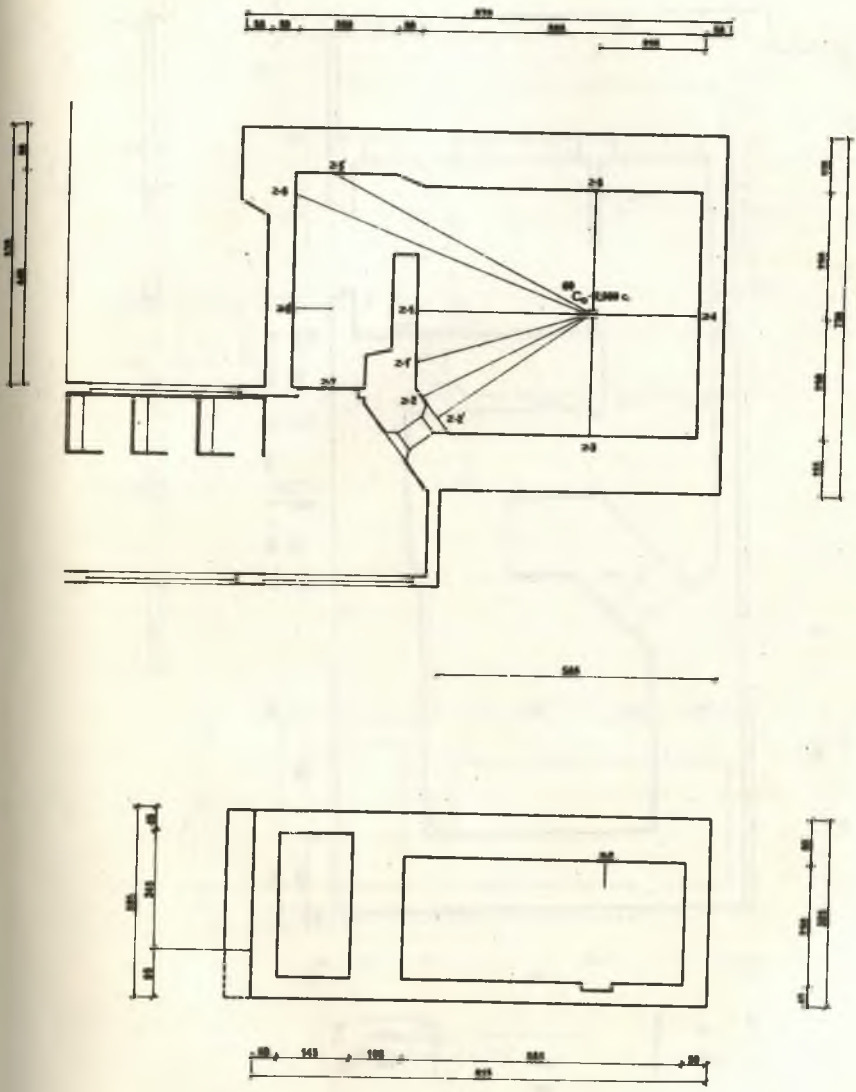

## Resume

PROTECTION OF MEDICAL PERSONNEL AND ENVIRONMENT IN USING Co-60 FOR DEEP THERAPY

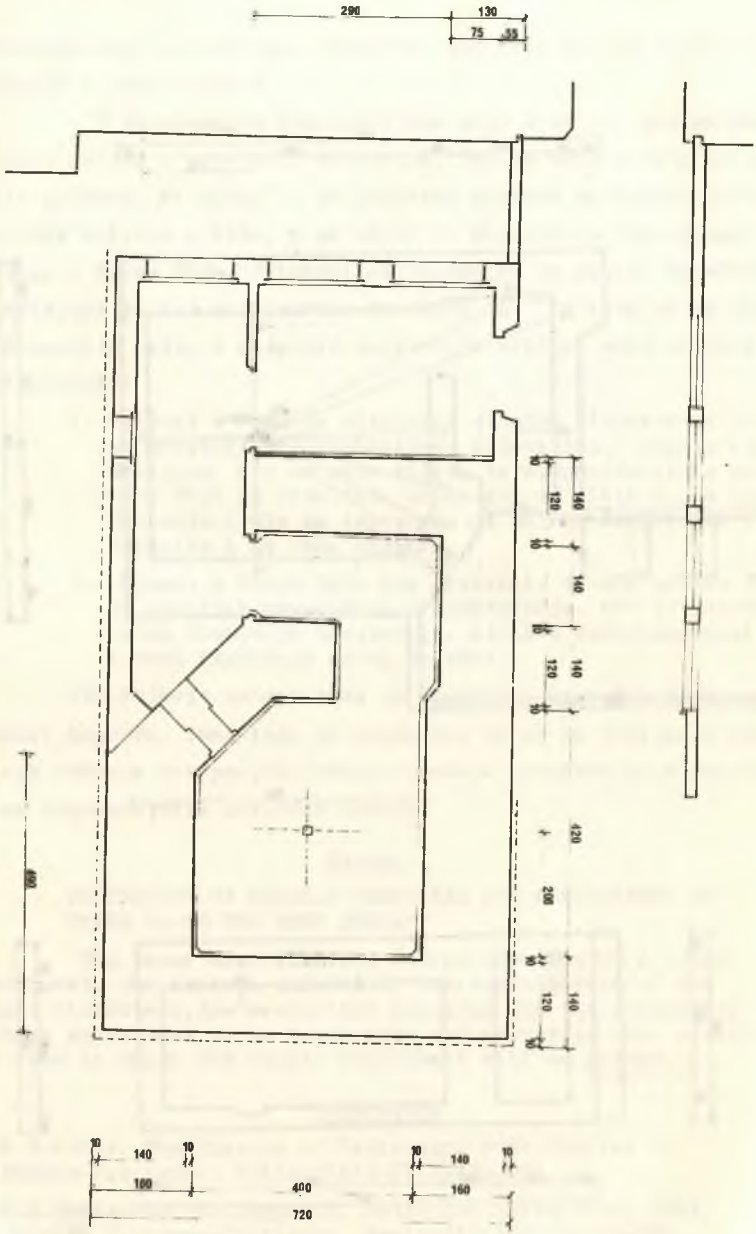
The paper describes the characteristics of a cobalt instrument, the hazards induced by the exploitation of the cobalt instrument, the protection measures and the elementary factors which have to be taken into consideration when planning the room in which the cobalt instrument will be placed.


## Literatura

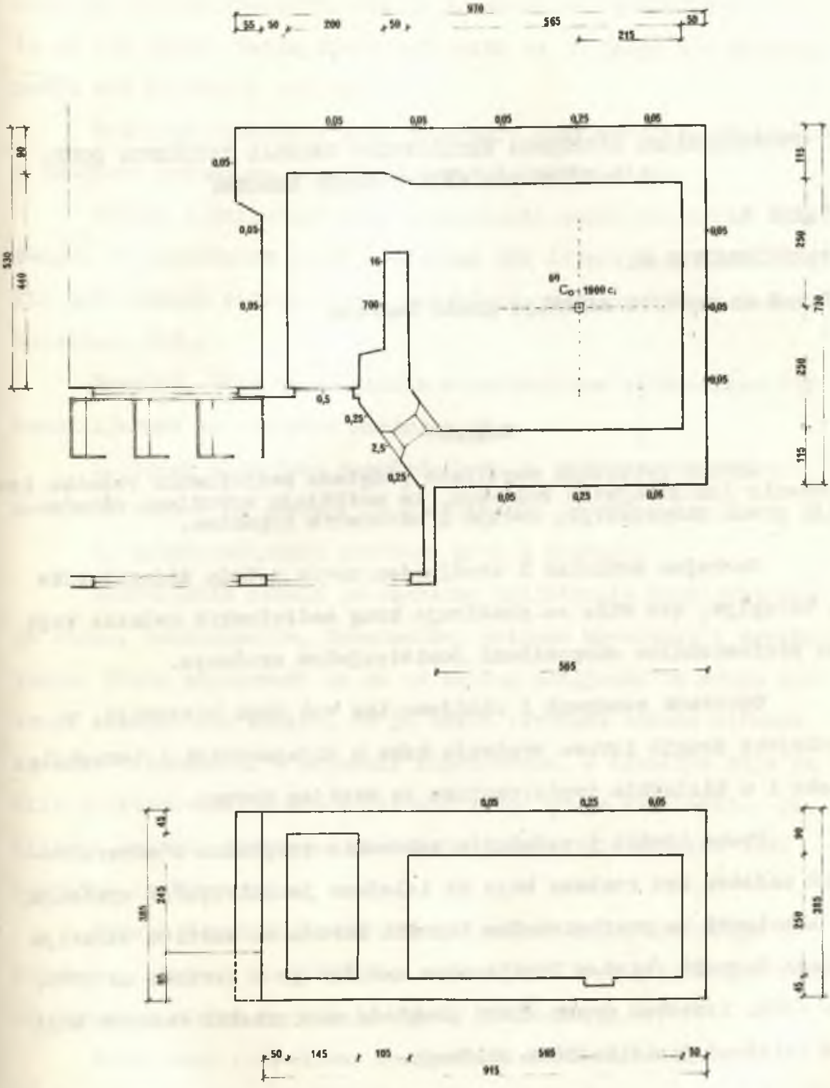

1. H.E.Johns, The Physics of Radiology, 1961, Charles C. Thomas-Publisher, Springfield-Illinois-USA.
2. G.B.Braestrup, H.O.Wyckoff, Radiation Protection, 1958, Charles C.Thomas-Publisher, Springfield-Illinois-USA.



SK.1




SL. 2



**NAPOMENA:**

– VREDNOSTI JAČINA EKSPOZICIONIH DOZA ZRAČENJA DATE SU U mR/h

SL 3

# PROFESIONALNA OŠTEĆENJA MEDICINSKOG OSOBLJA IZLOŽENOG JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U GRADU ZAGREBU

ČANIĆ Z.

FLEISCHHACKER M.

Zavod za zaštitu zdravlja grada Zagreba

Rezime:

Autori prikazuju rezultate pregleda medicinskih radnika izloženih jonizirajućem zračenju, te navadjaju utvrdjena oštećenja prema ekspoziciji, svanju i oštećenim organima.

Razvojem medicine i uvodjenjem novih metoda dijagnostike i terapije, sve više se proširuje krug medicinskih radnika koji su profesionalno eksponirani jonizirajućem zračenju.

Upotreba rendgena i radijuma ima već dugu historiju, a primjena drugih izvora zračenja kako u dijagnostici i terapiji, tako i u biološkim ispitivanjima je novijeg datuma.

Prema bivšim i sadašnjim zakonskim propisima o zdravstvenom nadzoru nad osobama koje su izložene jonizirajućem zračenju, u Ambulanti za profesionalne bolesti Zavoda za zaštitu zdravlja grada Zagreba /bivšem Higijenskom zavodu/ je u periodu od 1946. do 1968. izvršeno preko 25000 pregleda medicinskih radnika koji su izloženi jonizirajućem zračenju.

Pod kontrolom je bilo svega 1791 osoba /od toga 714 muških i 1077 ženskih/. Od tih 1791, 325 je bilo 1-3 puta na pregledu, 417 je bilo 3-10 puta, a preko 10 puta je bilo 1049 osoba.

Treba napomenuti da je u te podatke uvršten i izvjestan broj zdravstvenih radnika koji je u Zagrebu bio na specijaliza-

ciji ili dokvalifikaciji. /To je uglavnom ona grupa koja je bila od 1-3 puta/. Zatim treba naglasiti da je jedan dio eksponiranih već u penziji ili umro.

Ovdje su prikazana naša zapažanja kroz protekle 23 godine, a brojčani podaci su navedeni u priloženim tabelama.

Tabela 1 prikazuje broj pregledanih osoba izloženih zračenju. Pod kontrolom je bilo u svemu 698 liječnika i 1093 ostalih medicinskih radnika /rtg. tehničara, medicinskih sestara, bolničara itd./.

Pregled, bilo da se radilo o periodičnom medicinskom ili konzilijarnom se obavezno sastojao od:

1. Općeg kliničkog pregleda koga je vršio specijalista medicine rada a po potrebi je konzultiran i dermatolog.

2. Laboratorijskih pretraga krvi i mokraće:

Hematološka obrada je obavezno uključivala kompletnu krvnu sliku, retikulocite, trombocite, vrijeme krvarenja i zgrušavanja. Treba napomenuti da su od svakog pacijenta za svaku pretragu uzimana dva uzorka, te je nakon izvršene obrade uzimana srednja vrijednost. U nejasnim slučajevima, a naročito gdje je bilo potrebno isključiti krvna oboljenja druge etiologije, pacijenti su bili upućivani na hematološke odjele bolnica radi daljnjih ispitivanja.

Tabela 2 prikazuje utvrdjena profesionalna oštećenja po strukama, spolu i ekspoziciji, a na tabeli 3 su označeni oštećeni organi u odnosu na zvanje spol i ekspoziciju.

Prije nego prijedjemo na analizu utvrdjenih oštećenja, trebamo se ukratko podsjetiti na djelovanje jonizirajućeg zračenja kod profesionalne ekspozicije.

U prvom redu djelovanje zračenja ovisi o intenzitetu i trajanju ekspozicije, te o vrsti tkiva koje je ozračeno. Poznato je da sva tkiva nisu jednako osjetljiva, te da su najosjetljivija

ona tkiva gdje se stanice brzo razmnožavaju, a napose za vrijeme mitotičke diobe. Djelovanje zračenja na stanicu je to veće što stanica ima veću aktivnost obnavljanja, što proces kariokineze dulje traje i što je morfologija stanice manje diferencirana. Suština pak djelovanja radiacione energije jest u jonizaciji stanice, a to dovodi do poremećaja fizikalno - kemijske ravnoteže, odnosno dolazi do ireverzibilnih promjena sistema enzima citoplazme ili jezgre stanice.

Kod profesionalne ekspozicije zapažamo napose slijedeće patološke promjene:

a/ Kožna oštećenja. Akutne radijacione dermatitide mogu biti izazvane jednokratnim jakim odnosno višekratnim blažim ozračivanjem. Ta akutna oštećenja rijedje nalazimo kod medicinskog osoblja, ali zato češće kod bolesnika koji su liječeni zračenjem. Kronične pak promjene na koži uslijed zračenja možemo podijeliti u nekoliko stadija i to: Upalni, sklerodermički, hiperplastički i stadij kancerizacije, no te promjene se često ne razvijaju opisanim redosljedom te kadšto nalazimo istovremeno najrazličnije promjene. Promjene na noktima javljaju se u vezi sa kožnim oštećenjima budući da je matriks nokta osobito osjetljiv na zračenje. Matriks atrofira, pa zato nokti postaju tanki, lomljivi i isprugani.

b/ Oštećenja krvi i krvotvornih organa. Zračenje ima izrazito nepovoljno djelovanje na krv i krvotvorne organe. Hiperleukocitozu treba smatrati kao prolazni znak podražaja, a smanjenje sveukupnog broja leukocita odnosno vrijednosti leukocita na donjoj granici normale sa smanjenjem pretežno myeloički elemenata vrlo je važan nalaz kao sumnja na oštećenje. Vrlo je značajna tendencija ka leukopeniji, anemiji i trombopeniji. Nadjeli se istovremeno leukopenija sa limfocitozom, anemija i trombopenija,

onda postoji opravdana sumnja da je već nastalo ozbiljno oštećenje.

c/ Oštećenje leće oka. Djelovanje radijacije kod profesionalne ekspozicije dolazi do izražaja nakon latencije od nekoliko godina. Katarakte izazvane zračenjem započinju obično na stražnjem polu leće i obično su progresivne. Zapaženo je da kumulacioni učinci malih doza gama zraka imaju veći učinak od rendgenskih zraka.

## Analiza naših rezultata

Kao što je iz tabela vidljivo, od 698 liječnika koji su bili pod kontrolom, kod 61 /8,7%/ je utvrdjeno profesionalno oštećenje a kod 1093 ostalih medicinskih radnika 34 oštećenja(3,1%).

Oštećenja su pretežno bila uzrokovana rtg zracima /88% slučajeva/, a kod 12% uslijed radijuma i drugih izvora zračenja.

Ako pogledamo tabelu 3, upada nam u oči veliki broj oštećenja kože kod liječnika, a isto tako veći broj oboljenja krvotvornih organa kod ostalog medicinskog osoblja. Kod liječnika od sveukupno 61 slučaj profesionalnog oštećenja otpada na kožu 52, a kod ostalog medicinskog osoblja na svega 34 oštećenja, 26 otpada na krvotvorne organe.

Do navedenih razlika u vrsti i broju oštećenih organa došlo je prema našem mišljenju radi različite vrsti i jačine ekspozicije. Pri radu sa rendgenom, tehničari i ostalo osoblje obično se ne nalaze u blizini direktnog snopa zračenja, te je stoga i rijedje dolazilo do oštećenja kože. Ali, zbog manjkavih tehničkih zaštitnih uredjaja, nedovoljne lične zaštite, neprikladnih prostorija, loše organizacije rada itd., smatramo da je pomoćno medicinsko osoblje bilo više izvrgnuto zračenju čitavog tijela, te je stoga kod njih i primjećen procentualno veći broj oštećenja krvi i krvotvornih organa.

Prema našim podacima još je značajno, da od 156 fizeologa

su 23 profesionalno oštećena /14,7%/, a od 109 rendgenologa je 11 oštećeno /10%/. Zatim da na 6 sveukupno utvrdjenih oštećenja krvotvornih organa kod liječnika, 3 otpadaju na ftizeologe. Prema ovome bi proizilazilo da su ftizeolozi najizloženiji, te moramo dati dopunski komentar. Od prikazanih 61 oštećenja kod liječnika, 27 otpada na period od 1946-1952., dakle skoro polovina svih slučajeva. U tome periodu iza rata niz faktora kao što su: loši i nezaštićeni rtg aparati, mali broj zdravstvenih radnika, nedostatak rtg filmova, masovnost dijaskopiranja pučanstva itd., pridonijeli su da su ftizeolozi bili naročito eksponirani.

Prije završetka još jedna napomena. Vjerojatno će neko primijetiti da kod utvrdjenih oštećenja nismo nigdje naveli primljene doze zračenja odnosno nalaze filmdosimetrije. To je u prvom redu zato što ih u mnogo slučajeva nismo uopće imali /to naročito važi za oštećenja utvrdjena prvih godina iza rata/ zatim kasnije, kada smo imali rezultate primljenih doza zračenja, utvrdjena oštećenja često nisu bila u korelaciji sa primljenim dozama. Naime, imali smo slučajeve izraženih oštećenja gdje su primljene doze zračenja bile u dozvoljenim granicama, ili pak nasuprot gdje su nam medicinski radnici uplašeno dolazili na pregled, jer su bili navodno prezračeni, ali oštećenja od zračenja kod njih nismo mogli utvrditi ni nakon višekratnih pregleda. Medjutim, ispitivanje tih neslaganja izmedju primljenih doza i utvrdjenih oštećenja nije bio cilj ovoga referata.

Na kraju, treba reći, da su naši podaci kako o eksponiranim tako i o oštećenim osobama nepotpuni. Radi nemara bilo zdravstvenih ustanova bilo pojedinaca, izvjestan broj eksponiranih je neredovito dolazio na preglede ili uopće nije došao. Što se tiče utvrdjenih oštećenja u periodu kada su se sva bolovanja plaćala 100% vjerojatno je da nismo mogli ni sva oštećenja re-

gistrirati, jer svi pacijenti se nisu k nama javili, a obaveze administrativnog prijavljivanja profesionalnih bolesti su se ili mijenjale ili nepotpuno izvršavale. Zatim, vjerujemo da ima slučajeva i teških oštećenja liječenih pod raznim dijagnozama, a da se u stvari radilo o profesionalnom oštećenju jonizirajućim zračenjem.

Ovaj naš referat nije imao pretenzije da dade sliku cjelokupne patologije profesionalnih oštećenja jonizirajućim zračenjem kod medicinskog osoblja, nego je to prikaz više od 2 decenija rada našega Zavoda na području otkrivanja oštećenja od jonizirajućeg zračenja.


OCCUPATIONAL LESIONS OF MEDICAL PERSONNEL EXPOSED TO IONIZING RADIATION IN THE CITY OF ZAGREB

The authors discuss the results of periodical examinations of psysicians and other medical personnel having been occupstionally exposed to ionizing radiation in the period from 1946 to 1968.

A higher percentage of lesions was evidenced in the group of physicians than in the group of other medical personnel.

A predominant number of lesions related to occupational skin lesions and a relatively small percentage to the lesions of the hematopoietic organs.

In the group of physicians skin lasions prevailed, while in the group of auxiliary medical personnel a higher percentage of lesions related to the hematopoietic organs. The authors believe that this depended on exposure, attitudes during work, and personal and technical protection.

TAB. 1.

Broj pregledanih osoba

| | Ekspozicija | RTG | Ra | Svega |
|---|---|---|---|---|
| Liječnici | Rendgenolozi | 109 | | |
| | Ftizeolozi | 156 | | |
| | Radiolozi | | 21 | |
| | Ostali: traumatolozi, kirurzi, opća praksa itd. | 412 | | |
| | UKUPNO | 667 | 21 | 698 |
| Ostalo medicinsko osob. | Rtg tehničari | 282 | | |
| | Medicinske sestre, bolničari i drugi | 602 | 209 | |
| | UKUPNO | 884 | 209 | 1093 |
| | SVEGA PREGLEDANO | 1561 | 230 | 1791 |

TAB. 2.

Utvrdjena profesionalna oštećenja

| Struka | Ekspozicija | | | | | | SVEGA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RTG | | | RADIOAKT. | | | |
| | M | Ž | Ukupno | M | Ž | Ukupno | |
| Rendgenolozi | 9 | 2 | 11 | - | - | - | 11 |
| Ftizeolozi | 18 | 5 | 23 | - | - | - | 23 |
| Kirurzi i traumatolozi | 7 | - | 7 | - | - | - | 7 |
| Ostali: pedijatri i opće prakse | 13 | 5 | 18 | - | - | - | 18 |
| Radiolozi | - | - | - | 2 | - | 2 | 2 |
| Liječnici ukupno | 47 | 12 | 59 | 2 | - | 2 | 61 |
| RTG tehničari | 8 | 7 | 15 | - | - | - | 15 |
| Ostalo med.osoblje | 1 | 9 | 10 | 2 | 7 | 9 | 19 |
| Medicinsko osoblje ukupno | 9 | 16 | 25 | 2 | 7 | 9 | 34 |
| S V E G A: | 56 | 28 | 84 | 4 | 7 | 11 | 95 |

TAB. 3.

Profesionalna oštećenja prema vrsti

| Oštećeni organ | Liječnici | | | Ostalo med.osoblje | | | SVEGA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | Ž | Ukupno | M | Ž | Ukupno | |
| Koža | 44 | 8 | 52 | 5 | 3 | 8 | 60 |
| Krv i krvotvorni organi | 2 | 4 | 6 | 7 | 19 | 26 | 32 |
| Katarakta oka | 3 | - | 3 | - | - | - | 3 |
| S V E G A | 49 | 12 | 61 | 12 | 22 | 34 | 95 |

Od sveukupnih oštećenja otpada na kožu 63%, a na hematopoetski sistem 33%.