JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLAVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLOVANSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO PRED SEVANJI
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITA OD ZRAČENJE

BEOGRAD

# RADOVI

## VI JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA — ZAŠTITA OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

U organizaciji Makedonske sekcije Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

25, 26, 27. i 28. april 1972
OHRID

Дозиметрија

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLAVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLOVANSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO PRED SEVANJI
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITA OD ZRAČENJE

B E O G R A D

# R A D O V I

## VI JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA - ZAŠTITA OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

25, 26, 27. i 28. april 1972

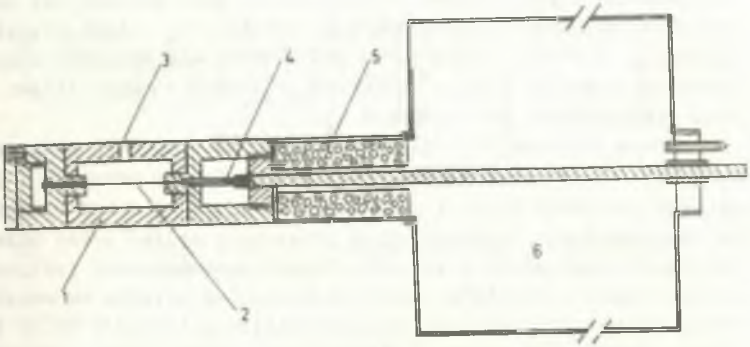
O H R I D

U organizaciji Makedonske sekcije
Jugoslovenskog društva za zaštitu
od zračenja

većih dimenzija brojaća (desetak mikrona simuliranog tkiva) nesumnjivo može koristiti koncept linearnog prenosa energije (engl. linear energy transfer - LET) dotle kod simuliranih dimenzija dijelova mikrona taj koncept važi samo za vrlo gusto ionizirajuće čestice (4). Ovu tvrdnju ćemo malo opširnije objasniti jer će imati bitnog utjecaja na tehničku realizaciju TE brojača.

2. Statistika procesa u plinu i njene praktične posljedice

Proces ionizacije u plinu je slučajne prirode i prenos energije u sudarima i broj naboja stvorenih po jedinici utrošene energije slučajne su varijable isto kao i broj čestica koje će pogoditi brojač u jedinici vremena. Kod zračenja koje ostavlja gusto ionizirane tragove i kod dovoljno velikih dimenzija brojača raspodjela duljine staza ionizirajućih čestica koje presjecaju brojač biti će od bitne važnosti za oblik amplitudnog spektra impulsa iz proporcionalnog brojača. Ako dimenzije brojača smanjimo do te mjere da u radnom volumenu brojača dolazi u prosjeku samo do jednog ili samo nekoliko sudara upadne čestice sa molekulama plina, pri čemu je energija predana u jednom sudaru slučajna varijabla, onda razdioba dužina tragova postaje manje važna od razdiobe energije predane u primarnom sudaru. Upravo to je slučaj kod mikrodozimetrijskih brojača koji služe za simulaciju djelića tkiva promjera djelova mikrona. Taj zaključak do kojeg se može doći poznavanjem relevantnih razdioba od bitne je važnosti za uvjete izbora i oblika TE proporcionalnog brojača. Naime, i bez obzira na stvarni oblik osjetljivih djelova stanice koji ne moraju imati oblik kugle poput klasičnog Rossijevog brojača, za malene brojače taj oblik nije jako važan tako da će brojač valjkastog oblika i jednake visine i promjera dati gotovo jednak spektar amplituda impulsa kao i kuglasti TE brojač. To omogućuje znatno pojednostavljenje konstrukcije prema Rossijevom kuglastom brojaču i rezultiralo je u konstrukciji prikazanoj na sl.1. TE plastična materija je klasičnog sastava (8), a TE plin se sastoji od 64.4 % $CH_4$, 32.4 % $CO_2$ i 3,2 % $N_2$. Brojač je zatvoren u aluminijskoj ampuli skupa sa sitom sa silikagelom, a plin slobodno komunicira unutar cijelog tog prostora. Ovaj tehnički detalj od neobične je važnosti jer omogućuje da se znatno uspori kvarenje plina koje je inače jedan od najtežih tehničkih problema kod ovakovih brojača.




Sl. 1 - Cilindrični brojač ekvivalentan tkivu: 1-TE plastik; 2-anoda (Neče); 3-prozor za kalibraciju; 4-opruga za napajanje anode; 5-sredstvo za pročišćavanje plina; 6-aluminijski rezervoar za zalihu TE plina.

Jedan od pravaca našeg daljenjeg rada je usavršavanje ove metode i proučavanje kemije i fizike kvarenja plina.Ovdje ujedno valja napomenuti da se u većini laboratorija u svijetu koriste protočni TE brojači upravo zbog problema kvarenja plina. Tlak plina u brojaču iznosi 40 do 100 Torra što znači da smo simulirali dijelove tkiva 0.6 do 1.8 $\mu$m.

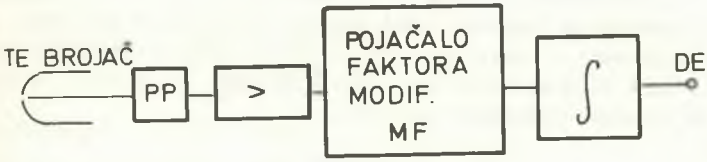
3. Kalibracija i elektronički uredjaj

Ispitivanje brojača vrši se priključkom na napon od oko 1000 V. Signali se pojačavju nabojski osjetljivim pretpojačalom i lancem pojačala sa aktivnim mrežama za oblikovanje impulsa. Spektri amplituda dobivenih impulsa očitavaju se na 200-kanalnom analizatoru i buše na papirnatu traku za daljnju obradu na elektroničkom računalu.

Cijeli sistem se kalibrira zračenjem poznate energije. Zbog niskog tlaka plina i malih dimenzija brojača kalibracija se može vršiti samo pomoću zračenja vrlo niske energije kao što su npr

energija k-linija ugljika i aluminija. Kalibracija se vrši pobudjivanjem zračenja na karakterističnoj energiji k-linije pomoću minijaturnih rendgen cijevi kojima su kao meta postavljeni odgovarajući elementi (u našem slučaju aluminij ($E_k$ = 1486 eV) ili ugljik($E_k$ = 277eV). Očito je da kod tako niskih energija treba posvetiti ozbiljnu pažnju konstrukciji takvih rendgen cijevi zbog vrlo slabe prodornosti zračenja (5).

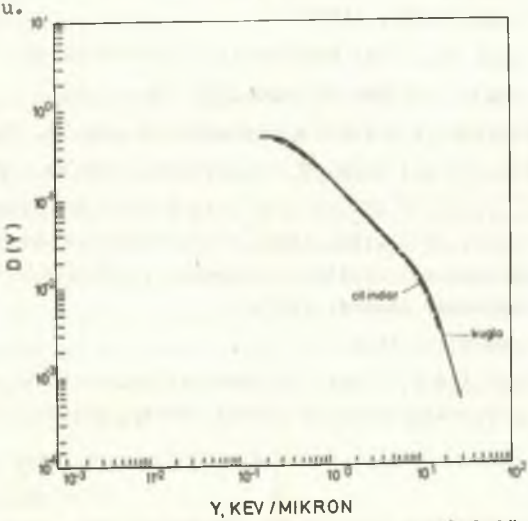
Obrada podataka od bitne je važnosti za tumačenje rezultata dobivenih mjerenjem s TE brojačem. Bez obzira na tehničke i matematičke poteškoće koje se pojavljuju i koje ćemo ukratko spomenuti ovdje postoje i principijelni problemi o kojima zasad nije postignuta suglasnost u svijetu. Najveće poteškoće se javljaju u interpretaciji rezultata dobivenih mjerenjem obzirom na neraščišćenu situaciju u vezi sa faktorom kvalitete zračenja (6,7) (QF). Mikrodozimetrijska mjerenja povezana sa radiobiološkim pokusima sigurno će dati prilog rješenju tog problema. Naime, kod mjerenja doze i ekvivalenta doze na detektorima koji ne simuliraju stvarnu situaciju javljaju se ozbiljni problemi oko pridjeljivanja težine oštećenjima izazvanim zračenjima različitè gustoće ionizacije. Veća gustoća ionizacije izaziva veća oštećenja i ta ovisnost je grubo opisana relacijom LET-QF (ICRP publ. br. 4). Na taj način dobiva se u principu ekvivalent doze, koji medjutim, u mikroskopskom svijetu gdje su osjetljivi dijelovi tkiva u stvari dijelovi jezgre stanice nema prave osnove jer nisu uzete u obzir statističke fluktuacije predane energije. Principijelno rješenje bi bio mikrodozimetrijski TE brojač ispravne dimenzije t.j. dimenzije koja je jednaka nekom ekvivalentnom osjetljivom volumenu u stanici. Elektronički dio uredjaja bi u tom slučaju pridjeljivao adekvatnu težinu svakom impulsu iz brojača što bi, integrirano, dalo ekvivalent doze. Principijelna shema takvog uredjaja vidi se na sl.2. Impulsi iz brojača pojačavaju se u pretpojačalu i zatim se nelinearno pojačavaju u skladu sa promjenom faktora modifikacije pri promjeni amplitude impulsa. Integral takvih impulsa daje ekvivalent doze. Ovdje valja primjetiti da ovisnost faktora modifikacije o veličini ionizacionog dogadajaja u brojaču zasad nije točno poznata već je predmet istraživanja. Usprkos tome treba raditi na realizaciji uredjaja sa sl.2, budući da će on imati približno isti oblik bez obzira na rezultate daljnjih istraživanja ovisnosti MF, a budući da grubi podaci o tome već postoje i mogu služiti kao orjentacija.




Sl. 2 - Principijelna blok shema uredjaja za mjerenje ekvivalenta doze.

4. Rezultati

Rezultati dosadašnjih pokusa pokazuju da postoje realni izgledi da će daljnjim usavršavanjem brojači konstrukcije prema sl. 1 postati stabilni na dulji rok. Najbolji sadašnji modeli pokazuju stabilnost plinskog pojačanja od 5.1 % u intervalu od 190 dana od desetog dana nakon zatvaranja i stabilnost razlučivanja od 2.3 %, u istom intervalu.




Sl.3 - Eksperimantalna usporedba kuglastog i cilindričnog TE brojača. Spektar dobiven ozračivanjem brojača pomoću Co-60.

Na sl.3 prikazan je rezultat mjerenja zračenja $^{60}Co$ sa kuglastim i cilindričnim brojačem istih ekvivalentnih dimenzija. Vidi se da su amplitudni spektri vrlo slični što potvrdjuje pretpostavku da je razdioba geomemetrijskih duljina tragova manje važna od statistike energije predane u sudarima.

The problem of random fluctuations of pulse height from a tissue equivalent proportional counter is considered. The theoretical considerations and experimental measurements show that these fluctuations are mainly due to primary collision spectrum. Thus, the shape of the counter is not critical. Electronic system for measurement of spectra from the TE counter and a system for dose equivalent measurement is described.

## 5. Literatura

1. Srdoč,D.: VI simpozij Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Ohrid, (1972).
2. Rossi, H.H. and Rosenzweig,W.:Radiology,64, 404, (1955).
3. Baum, J.W.: Health Phys.,13, 775, (1967).
4. Kellerer,A.M.: NYO Report-2740-5, str.94, (1968).
5. Srdoč,D and Clark,B.: Nucl.Instr. & Meth., 78, 305, (1970).
6. Neufeld,J.: Report of the IAEA (WHO Consultans Meeting on Practical Applications of Quantities, Units and Measurement Methods in Radiation Dosimetry for Radiological Protection Purposes, Geneva, (1971).
7. Höfert,M.: Ibid.
8. Shonka,F.R., Rose,J.E. and Failla,G.: Proc. 2nd Inter.Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, (1958).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

A.M.Koturović, S.D.Muždeka
Institut za nuklearne nauke "B.Kidrič" , Vinča

# FORMIRANJE MERNIH MREŽA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA NA OSNOVU KRITERIJUMA POVREDIVOSTI

Povreda mernih mesta ili linija za vezu u mernoj mreži,koja se koristi za potrebe zaštite od zračenja,može da izazove neželjene posledice.U radu se razmatra mogućnost formiranja merne mreže za zaštitu od zračenja,koja bi imala unapred odredjene karakteristike u pogledu povredivosti.Predloženi su postupci formiranja merne mreže i dati su primeri,koji pokazuju mogućnosti razmatranih metoda.

## Uvod.

Nadzorne merne mreže za zaštitu od zračenja spadaju u grupu sistema za koje se traži da rade što pouzdanije u svim uslovima.Medjutim u sistemu veza kojim se informacije iz mernih mesta prenose u merni centar može da bude oštećen-povredjen,skup mernih mesta ili veza.Prestanak funkcionisanja skupa mernih mesta ili veza trebalo bi da izazove što manje,ili unapred predvidjene posledice u mernoj mreži.Kakve će posledice takva pojava izazvati zavisi od povredivosti mreže.Pošto se definiše povredivost mreže,problem koji se postavlja je: kako formirati mernu mrežu koja će imati željene, unapred odredjene karakteristike u pogledu povredivosti? Jedan pristup tome problemu izražen je u ovome radu.

## Definisanje problema (2).

Merna mreža u opštem slučaju obuhvata skup mesta u kojima se obavlja merenje odredjene vrste - mernih mesta, centar u koji se informacije dobijene merenjem u mernim mestima šalju - merni centar,

i sistem veza kojim se obezbedjuje potreban prenos informacija. Takva merna mreža,kojoj pripada i nadzorna merna mreža za zaštitu od zračenja,koja će biti predmet razmatranja,spada u jednu vrstu komunikacionih mreža (1).

Povredivost u komunikacionim mrežama se najčešće definiše preko odgovora na pitanje koliko je komunikacionih centara ili linija veze moguće ukloniti pa da još uvek ne dodje do prekida veze izmedju dva ili više komunikacionih centara u mreži (3).U mernim mrežama je bitna veza izmedju mernih mesta i mernog centra,i obrnuto.Komuniciranje izmedju mernih mesta nije bitno.Ovo pruža potrebnu osnovu za jednu moguću definiciju povredivosti kod mernih mreža.

U razmatranju koje sledi smatraće se da merni centar ne može da prestane sa radom,i usvojiće se da prestaju,zbog povreda,da funkcionišu samo merna mesta.Uklanjanje veza u mreži,u najvišc slučajeva, daje iste rezultate,a samo u posebnim slučajevima treba praviti razliku.

Jasno je da je za povredivost merne mreže najvažnija informacija: koliki je minimalni broj mernih mesta potrebno da bude uklonjen da merni centar izgubi vezu sa svim mernim mestima u mreži.Taj broj ćemo označiti sa $n_t$. Sada je moguće definisati totalnu povredivost, $V_t$. kao odnos:

$$V_t = n/n_t \qquad (1)$$

gde je n ukupan broj mernih mesta u mernoj mreži.

Ako je broj uklonjenih mernih mesta manji od $n_t$, i jednak $n_p$,tada merni centar gubi vezu samo sa odredjenim skupom mernih mesta,čiji maksimalan moguć broj označavamo sa $n_{1p}$.To nam definiše delimičnu povredivost kao:

$$V_p = n_{1p}/n_p \quad , \quad n_p = p, \quad p = 1,2,\ldots,n_t-1 \qquad (2)$$

Jednostavno je uočiti da je za jednu mernu mrežu povoljnije sa gledišta povredivosti da ima $V_t$ što manje i $V_p$ što konstantnije,kada se $n_p$, tj.p, me a.

Formiranje mreže.

Pošto je veličina $V_t$ najvažnija u oceni povredivosti mreže,ona će

služiti i kao osnovna veličina za sintezu mreže i odmah se može konstatovati da će željenu vrednost $V_t$ imati mreža u kojoj su merna mesta podeljena u $n_t$ grupa,a iz svake grupe sa mernim centrom direktno je vezano samo jedno merno mesto.

Kao kriterijum za formiranje mreže odredjene povredivosti posle izbora $V_t$,može da bude zahtev da $V_p$ bude jednako $V_t$,ili što bliže vrednosti $V_t$ u celom mogućem opsegu promene uklonjenih mernih mesta,tj. da bude:

$$V_p = V_t \quad , \quad \text{za} \quad n_p < n_t$$

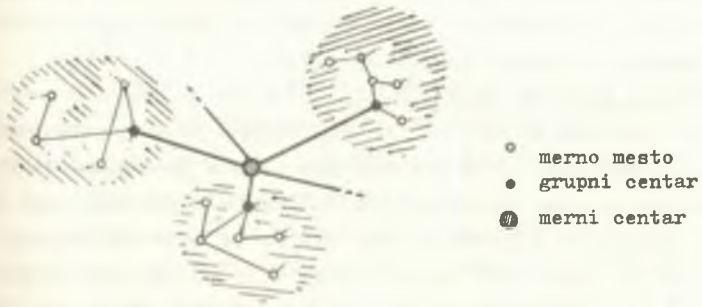
Takav kriterijum u potpunosti zadovoljava strukturu u kojoj su merna mesta podeljena u $n_t$ grupa na takav način da svaka grupa sadrži broj mernih mesta koji je jednak količniku $n/n_t$ , ukoliko je taj količnik ceo broj,ili sadrži broj mernih mesta koji je jednak prvoj većoj ili manjoj celobrojnoj vrednosti količnika.

Iz svake grupe mernih mesta samo jedno merno mesto je direktno vezano sa mernim centrom.Nazovimo to merno mesto grupnim centrom. Preostala merna mesta iz grupe vezana su na pogodan način sa grupnim centrom a preko njega sa mernim centrom,kako je to dato na sl.1.

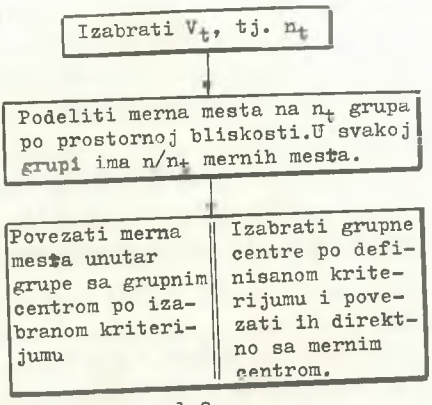
Očigledno je da takva struktura zadovoljava unapred postavljen zahtev o povredivosti,ali kao pitanja postavljaju se dva osnovna:

1° Kako izvršiti podelu mernih mesta na grupe-kako ih grupisati?

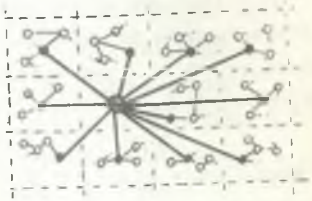
2° Na koji način povezati pojedina merna mesta medjusobno - unutar odredjene grupe?




sl.1




sl.2



sl.3

Grupisanje mernih mesta.

Regionalno formiranje grupa.

Kao kriterijum za formiranje grupe mernih mesta može da se uzme njihova poziciona bliskost,tj.pripadnost jednom regionu,jednoj oblasti u prostoru u kome se merna mesta nalaze.U tom slučaju proces formiranja merne mreže mogao bi da se prikaže organigramom na sl.2. Ovakvim postupkom,pri dovoljno velikom broju mernih mesta i pri njihovoj uniformnoj prostornoj raspodeli,dobila bi se slika kao ona šematski data na sl.3.

Treba istaći da formiranje grupa na ovaj način ima jedna nedostatak: pri povredi grupnog centra gubi se veza sa svim mernim mestima iz jedne oblasti tj gube se sve informacije dobijene merenjem u toj oblasti.Pri drukčijim načinima podele na grupe mogu se ukloniti gore navedeni nedostaci regionalne podele.

Uniformna prostorna podela grupa.

U ovom postupku bi se opet izvršila najpre podela na regionalne grupe po prostornoj bliskosti,ali sada na $n/n_t$ grupa,tako da bi svaka regionalna grupa sadržala $n_t$ mernih mesta.Povezivanje mernih mesta u grupe bi se sada vršilo tako što bi se iz svakog regiona uzimalo samo po jedno merno mesto i takav skup mernih mesta bi pretstavljao grupu mernih mesta.Ovde je samo potrebno definisati način

Izabrati $V_t$, tj. $n_t$

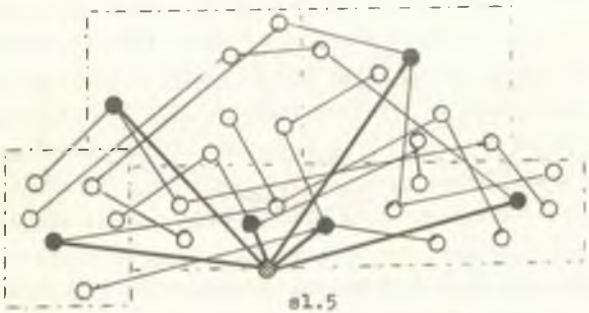
Podeliti merna mesta na $n/n_t$ grupa po prostornoj bliskosti. U svakoj grupi ima $n_t$ mernih mesta.

Formirati grupe mernih mesta uzimajući iz svake regionalne grupe po jedno merno mesto za svaku grupu i povezati merna mesta u grupi sa grupnim centrom po izabranom kriterijumu.

Izabrati grupne centre po definisanom kriterijumu i povezati ih direktno sa mernim centrom.

sl.4

na koji će se pojedina merna mesta iz regionalnih grupa stavljati u odgovarajuće grupe mernih mesta - to može da bude na pr.redosled prema udaljenosti od mernog centra. U ovom slučaju proces sinteze merne mreže mogao bi da se prikaže na sl.4, dok bi mreža mogla da bude kao na sl.5.



sl.5

Ovde se uočava da pri povredi grupnog centra dolazi do relativno ravnomernog gubitka informacija iz cele oblasti u kojoj se nalaze merna mesta, ali ostaje i dalje uvid u svaki region, sve dok ne bude $n_p = n_t$ , kada mreža prestaje da postoji.

U oba izložena postupka treba imati u vidu da odnos $n/n_t$ ne mora da bude uvek ceo broj i pri tome je potrebno vršiti odgovarajuće modifikacije. Ovaj postupak u sebi može da krije nedostatak od suviše

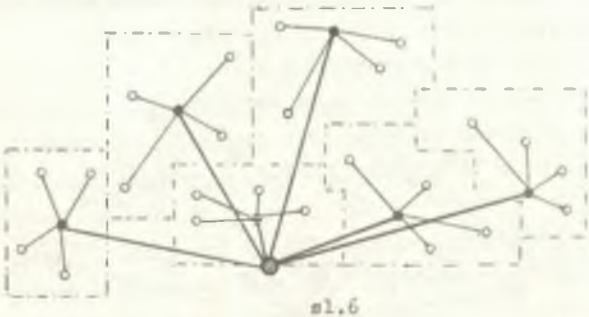
dugih veza,i o ovome pri formiranju veza treba voditi računa.

Povezivanje mernih mesta unutar grupe i izbor grupnog centra.

Kada je odredjena pripadnost mernih mesta pojedinim grupama,pojavljuje se naredni problem:kako povezati merna mesta unutar grupe i na osnovu čega odrediti koje merno mesto će biti grupni centar.Ta dva pitanja mogu da budu tesno povezana.

Vezivanje mernih mesta unutar grupe prema kriterijumu povredivosti.Ono što je bilo definisano u pogledu povredivosti za mernu mrežu u celini,može se sada primeniti i na grupu mernih mesta.Za sada ćemo se zadržati samo na strukturi koja obezbedjuje najmanju povredivost:to je zvezdasta struktura.

Ako se ne uzme nikakav dodatni kriterijum,tada je postupak jednostavan:proizvoljno merno mesto se uzme za grupni centar i vezuje za merni centar,a ostala merna mesta iz iste grupe se pojedinačno vezuju za grupni centar.Tako je ostvarena merna mreža na sl.6



sl.6

Opravdano je uzeti dodatni kriterijum,na pr.sumu dužine veza.Tada treba ispitati kolika je ukupna suma veza - uključujući i vezu sa mernim centrom,za svako rešenje koje uzima jedno od mernih mesta u grupi kao grupni centar.U tom slučaju potrebno je obaviti n izračunavanja i uzeti ono rešenje koje obezbedjuje minimalnu sumu dužine veza.

Vezivanje mernih mesta unutar grupe po Primovom algoritmu.Skup mernih mesta koja pripadaju jednoj grupi posmatra se izdvojeno,sa svojim medjusobnim rastojanjima i tada je ta merna mesta moguće po-

sl.7

vezati stablom minimalne dužine veza sledeći tzv. Primov algoritam (4).Ako se sada merno mesto najbliže mernom centru izabere za grupni centar u veže direktnom vezom za merni centar,dobiće se struktura koja će u celini ispunjavati postavljene zahteve o povredivosti, a pri tome će to biti struktura sa najmanjom sumom dužine veza za usvojenu podelu mernih mesta na grupe.Jedna mreža formirana na tom principu prikazana je na sl.7.Što se tiče osetljivosti na povrede mernih mesta unutar grupe,ona je u ovom slučaju neodredjena unapred, a njena se vrednost može konstatovati kada se struktura formira.

Ostali kriterijumi vezivanja mernih mesta unutar grupe.Dva izložena kriterijuma mogu da budu najinteresantnija za formiranje mreže za zaštitu od zračenja.Pošto način na koji su vezana merna mesta unutar grupe ne utiče na veličine $V_t$ i $V_p$,skup mernih mesta sa odgovarajućim grupnim centrom može se posmatrati kao separatna merna mreža.U tom slučaju za formiranje veza te mreže moguće je primeniti sve kriterijume koji važe za merne mreže,kao na pr.kriterijum najmanje sume kapaciteta grana , i dr.

Kao i kod primene Primovog algoritma,pitanje grupne osetljivosti na povrede ostaje neizvesno,sve dok se prema izabranom kriterijumu ne dobije struktura,kada je povredivost unutar grupe moguće izračunati ali ne i na nju uticati.Pitanje izbora grupnog centra ostaje i ovde pitanje za koje treba izabrati odredjeni kriterijum,i pri tome taj dodatni kriterijum može da definiše optimalno rešenje.

Zaključak.

Povredivost je važna karakteristika za merne mreže za zaštitu od zračenja,naročito ako ih je potrebno formirati u prostoru gde mogu biti izložene oštećenju.Definisane mere povredivosti $V_t$ i $V_p$ i dodatni kriterijumi omogućavaju da se formiraju mreže koje će imati željenu,unapred prihvaćenu osetljivost na povrede.Pri tome mogu da budu ispunjeni i drugi zahtevi,što čini da se izneti postupci formiranja mreže mogu svrstati u one postupke koji daju optimalna rešenja.Izneti postupci su primenljivi za šire teritorije a takodje i za slučaj mreža koje kontrolišu veće objekte ili delove objekata.

Deo ovog rada uradjen je tokom boravka A.Koturovića u Laboratoriji za elektroniku Nuklearnog centra u Sakleu i autor izražava zahvalnost za pruženu mogućnost da taj deo rada bude ostvaren.

Literatura

1. A.Koturović,S.Muždeka,B.Stamenković
Merne mreže radiološke zaštite za akcidentalne uslove
V Simpozijum JDZZ, Bled, 1970

2. A.Koturović
L'analyse et la synthèse optimale des reseaux de mesure centralisés , Note CEA, Saclay,1971

3. H.Frank , Vulnerability of communication networks ; IEEE Trans. on Comm.Techn. , No 6,Dec.1967,pp.778-789.

4. R.C.Prim : Shortest connection networks , The Bell Syst.Techn. Journal ,Vol.36, pp 1389-1401,Nov.1957.

FORMATION OF MEASURING NETS IN HEALTH PHYSICS APPLYING THE VULNERABILITY CRITERION

The destruction of a measuring point,or of a communication line,in measuring nets employed in health physics may cause undesirable consequences.The paper examines the possibilities of formation of measuring nets having preassigned properties as regards net vulnerability.Several procedures of measuring net formation are suggested and illustrated by examples.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU
OD ZRAČENJA

Ohrid, 25. do 28. aprila 1972.

*P.D. Marković i M.I. Vidmar*

Institut "Boris Kidrič", Vinča-Beograd

# RADIJACIONE VELIČINE I JEDINICE - OSVRT NA NAJNOVIJE PREPORUKE MKRJ

Dat je kratak osvrt na najnovije preporuke Medjunarodne komisije za radijacione jedinice imerenja (MKRJ). Diskutovane su izmene u odnosu na ranije preporuke o radijacionim veličinama i jedinicama, kao i uvodjenje nekih novih veličina.

U zadnje dve decenije učinjen je ozbiljan napor na internacionalnom planu, u prvom redu od strane Medjunarodne komisije za radijacione jedinice i merenja - MKRJ, (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU), da se uspostave jasno definisane i praktično pogodne veličine i jedinice u polju radijacione fizike i zaštite.[1-4] Pre izvesnog vremena pojavile su se najnovije preporuke MKRJ[5] na koje ćemo se osvrnuti u ovom radu, ukazujući na samo najbitnije izmene u odnosu na ranije preporuke Komisije. Prema najnovijim preporukama razlikujemo: A. fizičke radijacione veličine i B. Radijacione veličine koje se koriste samo u zaštiti od zračenja.

## A. Fizičke radijacione veličine

U ranijim preporukama makroskopske veličine, kao što su apsorbovana doza, izlaganje i druge, bile su definisane usrednjavanjem odgovarajućih mikroskopskih veličina u elementu zapremine $\Delta v$ oko vektora položaja $\vec{r}$ i u nekom vremenskom intervalu $\Delta t$ oko vremena t, pod predpostavkom da $\Delta v$ i $\Delta t$ nisu ni suviše mali niti suviše veliki. Pod pojmom "veliki" ovde se podrazumeva veliki u smislu da su u tom prostor-

nom ili vremenskom intervalu usrednjene sve mikroskopske fluktuacije, a "mali" u smislu mali tako da se u tom prostornom ili vremenskom intervalu ne izgube detalji onoga što se želi opaziti. Kao zamenu ovakvom prilazu, komisija u poslednjim preporukama uvodi pojam stohastičkih i nestohastičkih veličina. Pri tome jedna stohastička radijaciona veličina, ima sledeće karakteristike:

a. definisana je za samo konačne domene. Njene vrednosti se menjaju diskontinuirano u prostoru i vremenu i nema smisla govoriti o brzini njene promene

b. njene vrednosti se ne mogu predvideti, a verovatnoća ma koje posebne vrednosti je odredjena datom raspodelom verovatnoće

c. u principu njene vrednosti mogu da se izmere sa proizvoljno malom greškom.

Nestohastičke veličine imaju sledeće karakteristike:

a. one su, uopšte uzev, neprekidne i diferencijabilne funkcije prostora i vremena i ima smisla govoriti o njihovom gradijentu i vremenskoj promeni,

b. u principu njihove vrednosti, za date uslove se mogu dobiti računskim putem

c. one mogu da se dobiju usrednjavanjem odgovarajuće stohastičke vrednosti, a u slučaju prostorno neuniformnog polja potrebno je odrediti graničnu vrednost ovako dobijene srednje vrednosti za beskonačno malu masu. Eksperimentalne greške su obično veće nego statističke fluktuacije, ali poslednje uvek postoje.

U ovim preporukama Komisija daje samo tri stohastičke veličine i to:

1. Stohastička veličina *energija predata materiji* u elementu zapremine, $e$, je

$$e = \sum e_{in} - \sum e_{ex} + \sum Q$$

gde je

$\sum e_{in}$ = zbir energija (isključujući energije mirovanja) svih direktno i indirektno jonizujućih čestica koje udju u posmatranu zapreminu

$\sum e_{ex}$ = zbir energija (isključujući energije mirovanja) svih direktno i indirektno jonizujućih čestica koje napuste posmatranu zapreminu

$\sum Q$ = zbir svih oslobodjenih energija, minus zbir svih utrošenih energija, u ma kojoj transformaciji jezgra ili elementarnih čestica, koje se dese unutar date zapremine.

2. Stohastička veličina *specifična energija* ili *specifična predata energija*, Z, je količnik $\epsilon$ kroz m, gde je $\epsilon$ energija predata materiji jonizujućim zračenjem materiji u elementu zapremine, a m je masa tog elementa zapremine

$$z = \frac{\epsilon}{m}$$

Specijalna jedinica specifične energije je rad.

Primedbe:

a. Pošto je z stohastička veličina to ona potrebuje korišćenje raspodele verovatnoće. Vrednost funkcije raspodele, F(Z), je data verovatnoćom da je specifična energija Z´ jednaka ili manja od Z

$$F(Z) = P(Z' \leq Z)$$

Gustina verovatnoće, f(z), je izvod od F(Z) u odnosu na Z

$$f(z) = \frac{dF(Z)}{dZ}$$

u f(Z) uvek uključuje u sebe diskretnu komponentu (Dirakovu funkciju) pri Z = 0, za verovatnoću nedeponovanja energije.

b. Srednja specifična energija, $\bar{Z}$, je nestohastička veličina

$$\bar{Z} = \int_0^\infty z\, f(z)dz$$

c. Specifična energija dolazi od jednog ili više akata predavanja energije gde pod ovim poslednjim podrazumevamo deponovanje energije u posmatranoj masi od strane jonizujućih čestica koje se nalaze u medjusobnoj korelaciji. Funkcija raspodele specifične energije deponovane u jednom aktu, $F_1(Z)$, je data uslovljenom verovatnoćom, da je specifična energija, Z´, manja ili jednaka Z, deponovana ako se odigra jedan akt deponovanja

$$F_1(Z) = P(Z' \leq | \nu = 1)$$

gde $\nu$ označava broj dogadjaja deponovanja energije. Gustina verovatnoće, $f_1(Z)$ je izvod od $F_1(Z)$ u odnosu na Z

$$f_1(Z) = \frac{dF_1(Z)}{dZ}$$

3. Stohastička veličina *linealna energija*, y, je količnik $\epsilon$ kroz $\bar{d}$, gde je $\epsilon$ energija predata materiji u datoj zapremini, u toku jednog akta predavanja energije, a $\bar{d}$ srednja dužina toga u posmatranoj zapremini.

Sve druge veličine u najnovijim preporukama su nestohastičke. Što se izmena definicija iz ranijih preporuka tiče važno je istaći uvodjenje pojma srednje predate energije $\bar{\epsilon}$, koja se definiše kao očekivana vrednost predate energije. Definicija apsorbovane doze, D, je nešto izmenjena i sada se definiše kao količnik $d\bar{\epsilon}$ kroz dm, gde je $d\bar{\epsilon}$ srednja energija koju jonizujuće zračenje predaje materiji u elementu zapremine mase dm

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

I ovde, kao i u slučaju ostalih nestohastičkih veličina tamo gde se u ranijim preporukama koristio količnik diferenci, sada se upotrebljava diferencijalna forma.

Specijalna jedinica apsorbovane doze je rad, s tim što je 1 rad = $10^{-2}$J $kg^{-1}$.

Apsorbovana doza je granična vrednost srednje specifične energije kada masa posmatrane oblasti teži nuli, tj.

$$D = \lim_{m \to o} \bar{Z}$$

Definicije ostalih fizičkih radijacionih veličina su ostale manje-ili više iste kao u ranijim preporukama. Za detalje o njima čitalac se upućuje na citiranu literaturu. U tabeli 1, dat je tabelarni pregled osnovnih radijacionih veličina i jedinica.

B. Radijacione veličine koje se koriste samo u zaštiti od zračenja

U svojim poslednjim preporukama[5] Komisija daje posebno veličine koje treba da se koriste samo u zaštiti od zračenja. Ovde dolazi, u prvom redu, ekvivalenat doze, H, čija je definicija zadržala svoj predjašnji oblik.[1,6] Pored ekvivalenta doze, koji ne treba da se koristi pri visokim izlaganjima u akcidentalnim uslovima, ovde su uvedene još dve veličine, koje nisu bile date u ranijim preporukama. To su *indeks apsorbovane doze*, $D_I$, i *indeks ekvivalenta doze*

Tabela 1

Osnovne radijacione veličine i jedinice

| Broj | N a z i v | Simbol | SI jedinica | spec.jedinica |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Predata energija | $\epsilon$ | J | g rad |
| 2 | Srednja predata energija | $\bar{\epsilon}$ | J | g rad |
| 3 | Specifična energija | z | $J\ kg^{-1}$ | rad |
| 4 | Apsorbovana doza | D | $J\ kg^{-1}$ | rad |
| 5 | Jačina apsorbovane doze | $\dot{D}$ | $J\ kg^{-1}s^{-1}$ | rad $s^{-1}$,itd. |
| 6 | Protok | $\phi$ | $m^{-2}$ | |
| 7 | Gustina fluksa ili jačina protoka | | $m^{-2}s^{-1}$ | |
| 8 | Protok energije | $\Psi$ | $J\ m^{-2}$ | |
| 9 | Gustina fluksa energije ili jačina protoka energije | $\psi$ | $J\ m^{-2}s^{-1}$ | |
| 10 | Kerma | K | $J\ kg^{-1}$ | rad |
| 11 | Jačina kerme | $\dot{K}$ | $J\ kg^{-1}s^{-1}$ | rad $s^{-1}$,itd. |
| 12 | Izlaganje | X | $C\ kg^{-1}$ | R (rentgen) |
| 13 | Jačina izlaganja | $\dot{X}$ | $A\ kg^{-1}$ | R $s^{-1}$,itd. |
| 14 | Maseni koeficijenat slabljenja | $\frac{\mu}{\rho}$ | $m^2kg^{-1}$ | |
| 15 | Maseni koeficijenat prenosa energije | $\frac{\mu_{tr}}{\rho}$ | $m^2kg^{-1}$ | |
| 16 | Maseni energetski apsorpcioni koeficijenat | $\frac{\mu_{en}}{\rho}$ | $m^2kg^{-1}$ | |
| 17 | Totalna masena zaustavna moć | $\frac{S}{\rho}$ | $J\ m^2kg^{-1}$ | |
| 18 | Linearni prenos energije | $L_\Delta$ | $J\ m^{-1}$ | keV $\mu m^{-1}$ |
| 19 | Linealna energija | y | $J\ m^{-1}$ | keV $\mu m^{-1}$ |
| 20 | Srednja energija po jonskom paru | $\bar{W}$ | J | eV |
| 21 | Aktivnost | A | $s^{-1}$ | Ci(kiri) |
| 22 | Konstanta jačine izlaganja | $\Gamma_\delta$ | $C\ m^2kg^{-1}$ | $Rm^2h^{-1}C_i^{-1}$ |

$H_I$. Ove veličine su definisane na sledeći način:

1. *Indeks apsorbovane doze,* $D_I$, u datoj tački je maksimum apsorbovane doze unutar sfere prečnika 30 cm, sa centrom sfere u toj tački, ispunjenoj materijalom ekvivalentnim mekom tkivu i gustine 1 $gcm^{-3}$.

2. *Indeks ekvivalenta doze,* $H_I$, u datoj tački je maksimum ekvivalenta doze unutar sfere prečnika 30 cm, sa centrom sfere u toj tački, ispunjenoj materijalom ekvivalenim mekom tkivu i gustine 1 $gcm^{-3}$.

Uzima se da je sastav materijala ekvivalentnog mekom tkivu sledeći: 76,2%O; 11,1%C; 10,1%H; 2,6%N.

Veličine $D_I$ i $H_I$ su uvedene sa ciljem da se maksimalna apsorbovana doza i maksimalni ekvivalent doze u čovečjem telu na neki način aproksimiraju odgovarajućim maksimalnim veličinama u sferi ispunjenoj tkivu ekvivalentim materijalom a za istu lokaciju. U preporukama je data detaljna diskusija kada se i kako može koristiti takav prelaz u praksi. U tabeli 2 su dati nazivi i jedinice veličina korišćenih u zaštiti od zračenja.

Tabela 2

Termini i jedinice za zaštitu od zračenja

| N a z i v | Simbol | SI jedinice | spec.jedinica |
|---|---|---|---|
| Ekvivalenat doze | H | | rem |
| Indeks apsorbovane doze | $D_I$ | $J\ kg^{-1}$ | rad |
| Indeks ekvivalenta doze | $H_I$ | | rem |

A short discussion of radiation quantities and units, as recomended by ICRU in ICRU Report 19, is given.

LITERATURA:


1. ICRU Report 10a, Radiation Quantities and Units, 1963
2. P.D.Marković, Tehnika, vol. 2,Ri29 (1965)
3. ICRU Report 11, Radiation Quantities and Units, 1968
4. M.Vidmar,Radiation Dosimetry vol.1,p.69;Procedings of the International Summer Shool on Radiation Protection,Cavtat, 1970.
5. ICRU Report 19, Radiation,Quantities and Units, 1971.
6. P.D.Marković i M.M.Ninković, VI Jug.simp. zaštite od jonizujućih zračenja, Ohrid 1972.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

*P.D. Marković, M.M. Ninković*

Institut "Boris Kidrič",Vinča-Beograd

# *FAKTOR KAKVOĆE (QUALITY FACTOR) - RASPRAVA O NJEGOVOM ZNAČENJU I KORIŠĆENJU*

U literaturi se u poslednje vreme pojavilo nekoliko radova[1-3], koji kritički razmatraju faktor kakvoće, Q, i druge faktore koji povezuju apsorbovanu dozu, D, i ekvivalenat doze, H. U ovom radu je dat jedan formalni tretman postavljanja relacije koja povezuje D i H, a koji, prema mišljenju autora, baca nešto više svetlosti na stvarni smisao faktora kakvoće. Takodje je dat osvrt na praktično korišćenje faktora Q kao i neke probleme koji pri tome iskrsavaju.

Pri izlaganju izvesne materijalne sredine fotonima, naelektrisanim ili nenaelektrisanim česticama, ovi predaju svoju energiju sredini preko interakcije sa njenim konstituentima. Potreba da se reakcija date sredine na ozračivanje (hemijske promene, biološki efekti itd.) na neki način poveže sa jednom osnovnom fizičkom veličinom, u ovom slučaju sa energijom apsorbovanom u posmatranoj sredini, je dovela do uvodjenja pojma apsorbovane doze, D, -koja se definiše kao[1]

$$D = \frac{d\bar{e}}{dm} \qquad (1)$$

gde je $d\bar{e}$ = srednja energija koju jonizujuće zračenje predaje u elementu zapremine

$dm$ = masa tog elementa zapremine.

Nas, ovde, u prvom redu interesuje biološka sredina i biološki efekti. Nadjeno je da u mnogim slučajevima ista apsorbovana doza od različitih vrsta zračenja, pa čak i od čestica različitih energija iste vrste zračenja, na vodi ka istom biološkom efektu. Dakle, apsorbovana doza, izražena u radima, u datom slučaju ozračivanja ne

daje nam direktno meru opasnosti samog ozračivanja. Zgodno je, u najopštijem slučaju, uvesti jedan operator $\hat{O}$, koji bi dejstvom na D dao veličinu koja bi, na jednoj opštoj skali za sva zračenja, bila direktna mera opasnosti ozračivanja. Tu veličinu ćemo zvati ekvivalenat doze, H. Dakle,

$$H = \hat{O}.D \tag{2}$$

Analitički izraz operatora $\hat{O}$, kao ni njegova operatorska svojstva, za sada, nažalost, nisu poznati. Ranije je umesto operatora $\hat{O}$, bilo pokušaja da se i za potrebe zaštite od jonizujućih zračenja koristi RBE - faktor, skraćenica od izraza "relativna biološka efikasnost. Ovaj faktor se pokazao kao veoma kompleksna veličina koja zavisi od parametara kao što su: jačina apsorbovane doze; temperatura objekta pri ozračivanju,Ph - faktor, linearni prenos energije, itd. Jasno je da bi korišćenje jedne tako kompleksne veličine u zaštiti od jonizujućih zračenja izazvalo izuzetne teškoće, zbog čega je to i odbačeno.

Da bi koliko toliko operatoru $\hat{O}$ dali neku eksplicitniju formu, predpostavimo da se on može napisati u obliku

$$\hat{O} = \prod_{i=1}^{n} \hat{O}_i \tag{3}$$

gde bi operator $\hat{O}_i$, svojim dejstvom na veličinu D, uzimao u obzir doprinos i-og parametra na ukupan biološki efekat. U svetlosti toga uzmimo da je $\hat{O}_1 = Q$ operator, odnosno u ovom slučaju algebarski faktor, koji na neki način izražava zavisnost biološkog efekta od linearnog prenosa energije naelektrisanih čestica preko kojih dolazi do apsorpcije energije $d\bar{e}$.

Onda možemo da pišemo

$$\hat{O} = Q.\prod_{i=2}^{n} \hat{O}_i = Q.N \tag{4}$$

gde je

$$N \equiv \prod_{i=2}^{n} \hat{O}_i \equiv \prod_{i=2}^{n} O_i \tag{5}$$

i gde smo, radi daljeg uprošćavanja, predpostavili da je svaki od $\hat{O}_i$ operatora jedan alegebarski faktor. U izvesnim slučajevima,odnosno u većini slučajeva koji se sreću u problemima zaštite od

jonizujućih zračenja, $\prod_{i=2}^{n} \hat{O}_i = 1$. Ovo je skoro uvek istina u slučaju spoljašnjeg ozračivanja, dok se u izvesnim slučajevima unutrašnjeg ozračivanja u obzir moraju uzeti još neki od operatora $Q_i$, ali do sada se u praksi skoro uvek zaustavljalo na i=3 ili i=4.

Kombinujući relacije (4) i (2) dobijamo za ekvivalenat doze izraz

$$H = Q.N.D \tag{6}$$

Relacija (6) ovako dobijena je identična sa definicijom ekvivalenta doze, H, faktora kakvoće, Q, i proizvoda drugih potrebnih faktora N, koje je preporučila Medjunarodna Komisija za radijacione veličine i jedinice (MKRJ)[6]. Izvodjenje relacije (6) dato u ovom radu u izvesnoj meri bolje ističe stvarni smisao faktora kakvoće, Q, i faktora N.

Brojne vrednosti faktora kakvoće u zavisnosti od linearnog prenosa energije su date u tabeli 1.[4]

Tabela 1.

Q za pojedine vrednosti $L_\infty^*$

| $L_\infty$ u vodi, keV/μ | Q |
|---|---|
| 3,5 ili manje | 1 |
| 7,0 | 2 |
| 23 | 5 |
| 53 | 10 |
| 175 | 20 |

**Za značenje $L_\infty$ vidi referencu (6)*

Koristeći brojne vrednosti iz Tabele 1, lako je pokazati da se aproksimativna veza izmedju faktora kakvoće i linearnog prenosa energije može da izrazi na sledeći način[7]

$$Q(L_\infty) = \frac{aL_\infty}{1+bL_\infty} \qquad L_\infty \geq 3{,}5\ \frac{\text{keV}}{\mu} \tag{7}$$

Obično je D predato sredini česticama koje imaju izvestan

interval od L, pa je onda potrebno koristiti srednju vrednost za Q, datu izrazom

$$\langle\bar{Q}\rangle = \frac{\int_0^{\infty} Q(L_\infty)D(L_\infty)dL_\infty}{D} \qquad (8)$$

gde je funkcija raspodele D(L) definisana na takav način da D(L)dL predstavlja dozu predatu sredini pri vrednostima linearnog prenosa energije izmedju $L_\infty$ i $L_\infty + dL_\infty$.

Jedan od problema koji se često pojavljuje u praksi je koje vrednosti za Q koristiti i kako ih primenjivati. Medjunarodna Komisija za zaštitu od zračenja je preporučila vrednost Q za razne vrste zračenja i to:[8,9]

*Spoljašnje ozračivanje:* Za X zračenje, Q=1; za elektrone (izuzev onih veoma niskih energija), Q=1; za teške čestice uzmaka, fragmente fisije i teške čestice od akceleratora, Q=20; za neutrone i protone različitih energija vrednosti za Q su date u Tabeli 2 i 3. Za spoljašnje ozračivanje očnih sočiva potrebno je koristiti jedan dodatni koeficijenat i to: M=3 za Q=10 i M=1 za Q=1. Za vrednosti Q izmedju 1 i 10, M se dobija prostom interpolacijom izmedju 1 i 3.

*Unutrašnje ozračivanje:* Za slučaj $\beta^-$, $\beta^+$ i za konverzione elektrone, kao i za X i gama zračenje Q=1; kada je maksimalna energija $\beta^-$, $\beta^+$ i $e^-$, $E_m < 0{,}003$ MeV-a onda se uzima Q=1,7; za fisione fragmente i jezgra uzmaka nastala pri $\alpha$ - emisiji Q=20. Za unutrašnje ozračivanje neutronima nastalih spontanom fisijom Q=8.

Interesantno je ukazati na to da dimenzije za Q nisu date od strane MKRJ, ali izgleda razumno da se predpostavi da je Q bezdimenzionalna veličina naročito s obzirom na to da broj faktora u relaciji (6) nije definisan.

U slučaju neutrona izvesne energetske raspodele $\phi(E)$, moguće je definisati jednu srednju vrednost faktora kakvoće $\bar{Q}_E$ za zadati spektar

$$\bar{Q}_E = \frac{\int_0^{E_{max}} Q(E)\phi(E)dE}{\int_0^{E_{max}} \phi(E)dE} \qquad (9)$$

Tabela 2.

Koeficijent kakvoće Q za neutrone različitih energija (za spoljašnje ozračivanje)

| Energija neutrona (MeV-a) | Q |
|---|---|
| Termalni | 3,0 |
| 0,05 | 2,5 |
| 0,02 | 5,0 |
| 0,10 | 8,0 |
| 0,50 | 10,0 |
| 1 | 10,5 |
| 5 | 7,0 |
| 10 | 6,5 |
| 20 | 6,0 |
| 50 | 5,2 |
| 100 | 4,7 (4,5) |
| 200 | 4,0 |
| 500 | 3,5 |
| 1000 | 3,4 (3,5) |

Tabela 3.

Q za protone energija od 50 do 1000 MeV-a

| Energija protona (MeV-a) | Q |
|---|---|
| 50 | 1,2 |
| 100 | 1,3 |
| 200 | 1,7 |
| 300 | 2,0 |
| 500 | 2,5 |
| 700 | 2,8 |
| 1000 | 3,1 |

pri čemu se kontinuirane vrednosti za Q(E) mogu dobiti sa krive povučene kroz tačke date u tabeli 2. $E_{max}$ je ovde maksimalna energija neutrona posmatranog spektra.

Kada se radi sa smešanim poljem zračenja, onda se ekvivalenat doze dobija iz izraza

$$H = \sum_i Q_i N_i D_i \qquad (10)$$

koji definiše i pravilo kako se faktori Q i N koriste u takvim slučajevima. U izrazu (10) $D_i$ je apsorbovana doza od i-tog zračenja; $Q_i$ je faktor kakvoće za i-to zračenje, i $N_i$ - množestvo potrebnih faktora za i-to zračenje. Od velikog praktičnog značaja je činjenica da su u poslednje vreme razvijene metode pomoću kojih je moguće odrediti vrednosti za Q za smešano zračenje proizvoljnog sastava.[7]

U zaključku bi se moglo reći da je u vezi faktora kakvoće, potrebno: a) dalje pojasnjenje pojma faktora kakvoće, b) preporučivanje, od strane MKRJ i MKRZ potpunijiz brojnih vrednosti za $\phi$ i c) davanje upustava i izraza kako da se date vrednosti za Q koriste u kompleksnim slučajevima koji se pojavljuju u praktičnom radu.

A new approach of setting up a relation between observed dose and dose equivalent is considered. This procedure,in the authors oppinion, clarify to some extand true meaning of the quality factor as used in the radiological protection. A short review of how to use Q in some situation is given.

## Literatura

1. J.Neufeld, Health Physics, 17,625(1969)
2. H.W.Paterson, Health Physics, 26,529(1971)
3. H.J.Dunster, Health Physics, 20,529(1971)
4. ICRU report 10a; Radiation Quantities and Units (1962)
5. ICRU report 11; Radiation Quantities and Units (1968)
6. ICRU report 19; Radiation Quantities and Units (1971)
7. M.Zeljčinskij, Radiobiologija, 5, 161 (1965)
8. ICRP Publication 9, Pergamon Press, 1966
9. IAEA, 1967; Basic safety standards for Radiation Protection; Safety No. 9 Series.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972. godine

K. Buraei, A. Milojević, Dj. Bek-Uzarov
Boris Kidrič Institute - Belgrade

# SPACE CHARGE EFFECTS IN PROPORTIONAL COUNTER

The influence of space charge on the output pulse height of methane-filled proportional counter has been investigated. Experimental results show a source intensity dependence effect. This effect has been related to counter´s working conditions. Qualitative and, relatively, quantitative analysis of the influence of the selfinduced and total space charge on electron multiplication process has been approached. Analysis are given in terms of, what is called here, "pressure equivalent of space charge effect".

## Introduction

Thanks to its relatively high resolutionand ability of low activity and low energy detection, proportional counter is one of the powerfull tools applied in fundametal nuclear research, thence extended to different feilds wherever nuclear radiations are applied. Although, applicability of proportional counter are restricted to some limits which are introduced by the nature of phenomena that take place in the sensitive volume of the counter, due to interaction between the detected particles and surrounding media.

Space charge is one of these phenomena that needs thorough study to enable correct interpretation of counter response.

## Description of space charge and principles of experiment

It is well known that positive ions mobility is about 100 times less than that of electrons. As a consequence of this fact a positive space charge will be introduced due to the accumulation of positive ions in the vicinity of counter anode. The effect of this space charge is such that the density of field lines between any new formed avalanche, outside this cylinder of positive ions, and anode is so weak to accelerate the electrons. Thence, result of space charge is to decrease avalanche size and hence pulse height in the output of the counter.

Theoretically it has been shown that if the initial field in the counter is $X = 2\rho/r$ at a point r far from the anode, then after distortion due to space charge it will be:

$$X = \frac{2\rho}{r}\left\{1 - \frac{e\bar{A}}{x\rho}\exp\left[\mu\left(r_o^{1-t} - r^{1-t}\right)\right]\right\} \qquad (1)$$

where t is a constant involved in the expression for first Townsend coefficient $\alpha = KX^t$, $\mu = K(2\rho)^t/1-t$ ; K is a constant depends on gas nature; $\rho$ is the charge density per unit length of the anode; e electron charge, x, projection of the incident particle track on the anode; $r_o$ distance between anode and point where ionizing collision initiates; and $\bar{A}$ is the mean value of gas amplification. Complete analysis of equation (1) is given in reference /2/. According to this equation field strength is decreased by an amount which is a function of $\bar{A}$; this, at high amplification factor, space charge effect will come to its maximum influence, which is the case in G.M region.

The concepts of eq.1 account for the space charge effect concerning ionization due to one incident particle only. Another effect must be taken in concideration are those due to the number of ionizing particles, in unit time, released in the sensitive volume of the counter. The former effect is called self-induced space charge, the latter is total space charge /3/.

However, the general feature of the high voltage-pulse height curve, for proportional counter under different conditions, reflects the behaviour of the phenomena that take place within its sensitive volume. Hence the experimental examination of space charge effects is based upon such curves.

Block sheme for the used apparatus and electronics and experimental steps are given in reference /4/. Alpha sources, Pu-239, have been used as monoenergetic sources. Source has been located in the middle of 4pi proportional counter of which the upper half only was funtionating.

## Experimental results and discussion

To examine space charge effect due to source intensity (total space charge), two alpha sources, having about 50 and 5000 counts per second in $2\pi$ geometry, have been used. Pulse height in the counter's output, due to the dissipation of alpha energy or part of it (depends on the density and pressure of gas), is plotted against the applied high voltage, Fig.1. Gas pressure has been kept constant at 1140 /Torr/.

Because of certain phenomena /2,4/ accompaning ionization in counter s gas, curves of Fig.1 do not follow the expected linear dependence; therefore reclassified as shown on the figure.

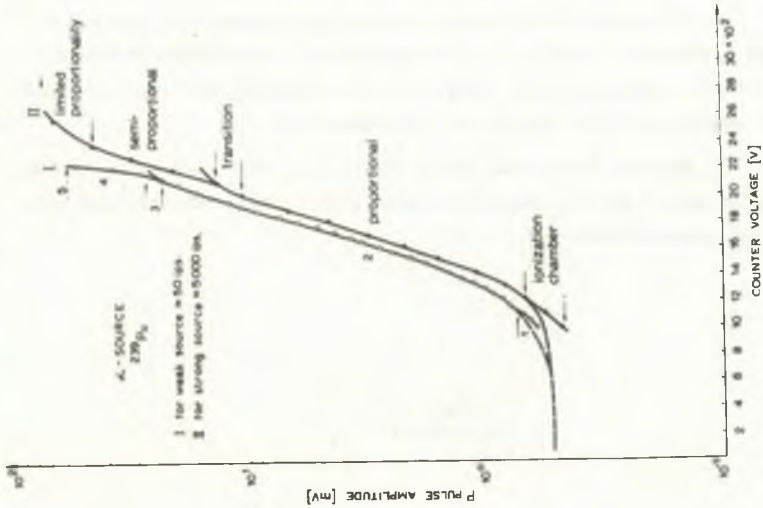



Fig.1. Pulse height in the output of the counter as a function of the applied voltage. (Gas, methane 99.95% at pressure 1140 /Torr/)

The divergence between curves I and II of Fig.1 shows that, for weak source the pulse height is higher than that for strong one, indicating total space charge effect due to source intesity. At the upper parts of curves I and II self-induced space charge approaches maximum and pulse height tends to saturate. This effect is more pronouced in curve II while delayed in curve I, which is another proof of the influence of total space charge effect, and where in curve II this influence is magnified by self--induced space charge.

To approache a relatively quantitative conception of the total space charge influence, the difference $\Delta P$ between pulse heights for weak and strong sources has been plotted against counter voltage, Fig. 2.

The feature of Fig. 2 shows that space charge effect follows the same trend of gas amplification, hence, having the same function of the dependence of electron multiplication process on counter voltage. So, when considering theoretical assumptions of gas amplification, space charge has to be accounted for.

Relating space charge phenomenon to gas pressure enables more analysis of its influence on electron multiplication process and its role in affecting mean free path for ionizing collision.

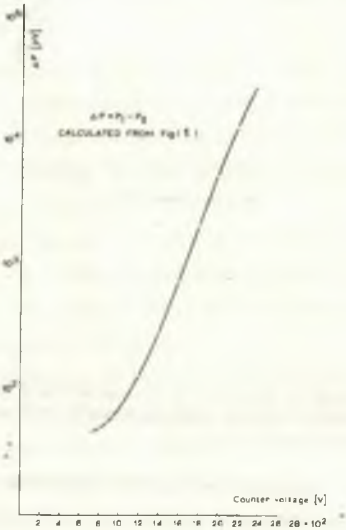



Fig. 2. P as a function of counter voltage ( $\Delta P$ is the difference between pulse heights $P_I$ and $P_{II}$ caused by weak and strong sources respectively, calculated from Fig. 1.

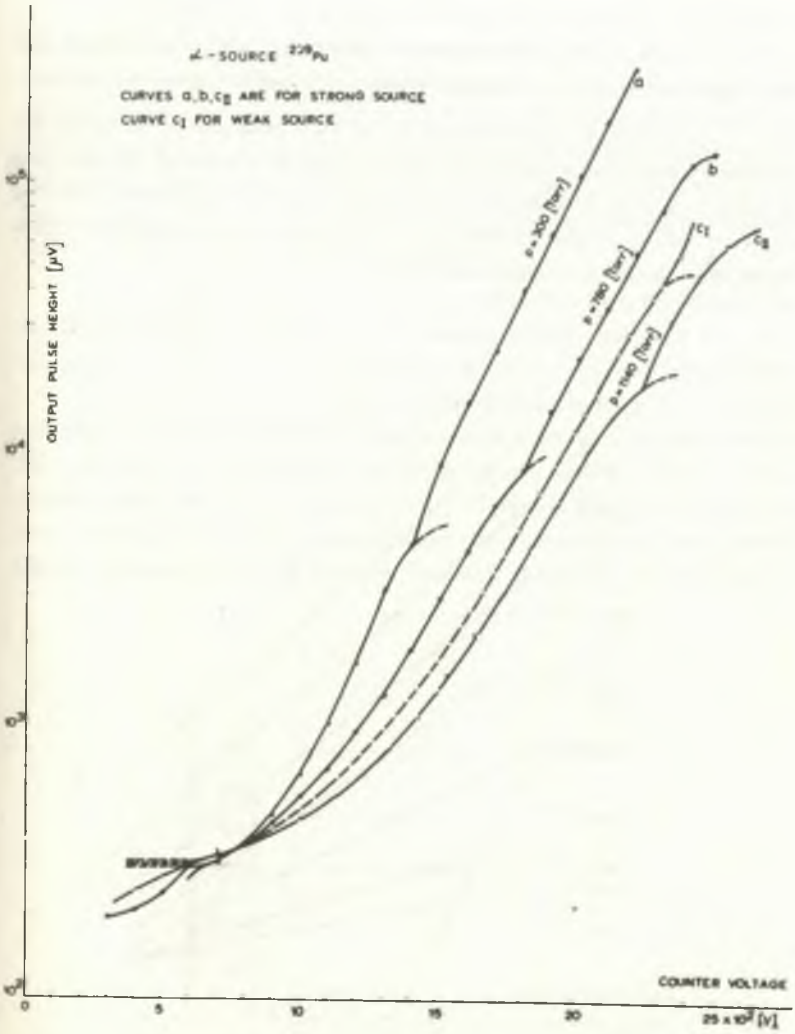



Fig. 3. Pulse height as a function of counter voltage for different gas pressures, (methane, 99.95%).

Curves of Fig. 1 are reproduced in Fig. 3, ($c_I$ and $c_{II}$). Curves a and b of Fig. 3 are for the strong source and gas pressure at 300 and 780 /Torr/ respectively.

The relative position of curve $c_I$ of Fig. 3 (weak source), shows that the total space charge effect is such that as if gas pressure were increased. The decrement of pressure $\Delta p$ is an amount of gas that should be added to the counter gas to bring curves $c_I$ and $c_{II}$ in superposition. $\Delta p$ will be called pressure equivalent of space charge effect, for short, pressure equivalent.

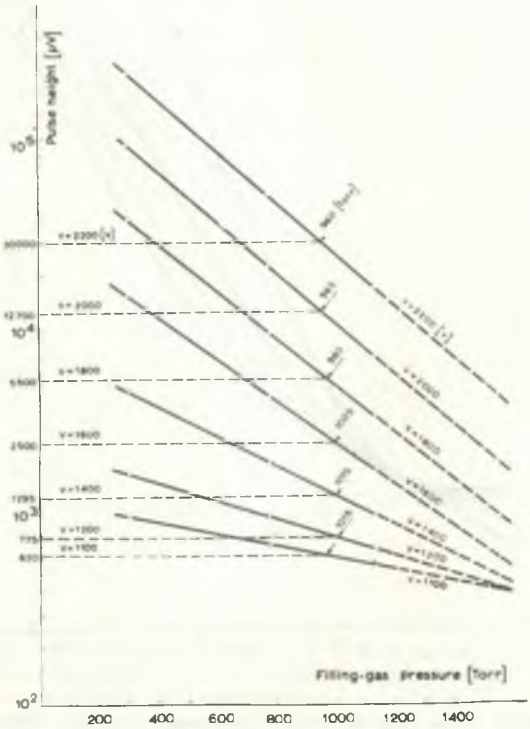



Fig. 4. Pulse height versus filling-gas pressure at different working voltages (methane 99.95%).

To find $\Delta p$, Fig.4 has been constructed from informations of Fig.3. In Fig.4 pulse heights, for strong source at constant counter voltage, are plotted as function of filling gas pressure. The set of lines shown on this figure cuvers an interval of the counter voltage from 1100 up to 2200 [V]. The values of pulse height for weak source-curve ($c_I$ of Fig.3) have been projected on the corresponding pressure--pulse height lines of Fig.4. Locations of such points read the corresponding pressure $p_w$, thus $\Delta p = p_s - p_w$, where subscripts s and w denotes strong and weak source respectively. Values of $p_w$ are indicated by arrows.

It is expected that $\Delta p$ would be constant (with the normal experimental fluctuations) and does not depend on counter voltage; but in fact this is not the case, and $\Delta p$ shows a certain functional dependence on counter voltage illustrated in Fig.5.

Fig.5 shows that the general effect of total space charge is to decrease the mean free path for ionizing collision, hence decreases $\alpha$ the first Townsend coefficient. The linear part of the curve indicates that this decrease is directely proportional to the applied voltage, only, in the proportional region (region 2 of Fig.1). Saturation of the curve in the upper part is due to the appearance of self-induced space chagre, and the general influence comes to its maximum. The lower part shows a minimum value. At

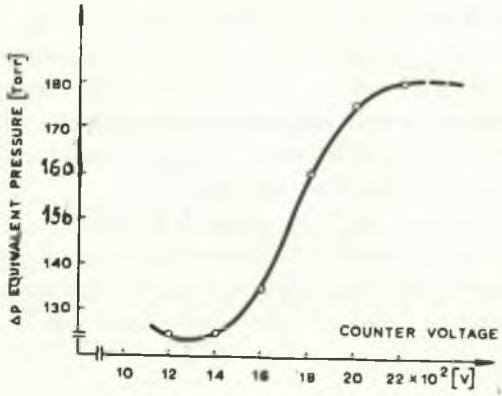



Fig. 5. The dependence of "equivalent.gas pressure" on the applied voltage for methane (99.95%), calculated from Fig.4.

this point recombination process tends to neutralize space charge effect as long as recombination rate is higher for higher ion density, which is the case for the strong source. Further decrease of counter voltage results, even, in negative slope of the curve of Fig. 5.

From the analogical point of view it seems that recombination, which a function of ion density, at low counter voltage, has a similar influence to that of total space charge at higher voltages; thence, general description of space charge can be saied to be ionic density effect.

Rezime

Rezultati opisanih eksperimenata pokazuju da efekat prostornog naelektrisanja pored poznatog uticaja na režim rada "ograničene proporcionalnosti" takodje utiče i na proporcionalnu oblast.

Ovaj uticaj se ogleda u tome što efekat prostornog naelektrisanja vodi ka smanjenju srednje slobodne putanje za jonizaciju i Townsend-ovog koeficijenta

U okviru ovih ispitivanja, veličina efekta prostornog naelektrisanja je kvantitativno analizirana preko parametra "ekvivalentnog pritiska za efekat prostornog naelektrisanja".

Pokazano je da je ovaj parametar linearna funkcija radnog napona u proporcionalnoj oblasti i da prolazi kroz minimum na nižim naponima. Poredjenjem sa procesom rekombinacije, pokazano je da se efekat postornog naelektrisanja može opisati preko gustine jona u brojaču.

R E F E R E N C E

1. Viktrov V.S., Kočarov E.G., Izvestij Akad. Nauk, SSSR, T XXX, No 3, 469 (1966).
2. Buraei K., Milojević A., Bek-Uzarov Dj., Annual Report "Metrology of radioactive isotopes", Dep. M.R.I., IBK-Vinca, 1970, Belgrade.
3. Campion J.P., Intern. J. Appl. Rad. Isotopes, 19, 219 (1968).
4. Buraei K., Milojević A., Marković V., "Multiplication Process and Space Charge Effect in Gas-Filled Proportional Conter", V Congress of Mathematicians, Physicists and Astronomers of Yugoslavia, (1970) Ohrid - (unpublished).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25 do 28 aprila 1972. godine

Lj. Dobrilović, Dj. Bek-Uzarov

Institut "Boris Kidrič" - Vinca

Odeljenje metrologije radioaktivnih izotopa

# APSOLUTNO MERENJE BRZINE RASPADA $^{51}Cr$ KOINCIDENTNOM METODOM

Opisano je apsolutno merenje brzine raspada izvora $^{51}Cr$ $4\pi$ XA-$\gamma$ koincidentnom metodom. Analizirana je korekcija karakteristična za šemu raspada $^{51}Cr$. Postignuta je 100% energetska efikasnost za detekciju KX zračenja u $4\pi$ proporcionalnom brojaču. Odredjene su efikasnost $4\pi$ proporcionalnog brojača za detekciju gama zračenja $^{51}Cr$ i efikasnost za lažne koincidencije i nadjeno je da iznose $(\epsilon_{XA})_\gamma = (0,096 \pm 0,019)\%$ i $\epsilon_c = (0,007 \pm 0,0014)\%$. Brzina raspada izvora $^{51}Cr$ izmerena je sa ukupnom greškom od 0,92%.

$^{51}Cr$ je izotop sa složenom šemom raspada /1/ tako da u osnovno stanje $^{51}V$ direktno prelazi sa 91%, a 9% praćeno je prelazom gama zračenja od 319,8 KeV (sl.1). Kao posledica elektronskog zahvata $^{51}Cr$ emituje se karakteristično X zračenje V, čije su energije KX zračenja $K_{\alpha_1} = 4,95$ KeV, $K_{\alpha_2} = 4,94$ KeV i $K_{\beta_1'} = 5,4$ KeV /1/. U ovom procesu se takodje emituju i Auger elektroni nastali konverzijom karakterističnog X zračenja u omotaču atoma V.

Za apsolutno merenje brzine raspada izvora $^{51}Cr$ mogu se primeniti niz metoda od kojih $4\pi$ XA-$\gamma$ koincidentna metoda daje najbolje rezultate.

## Korekcije za odredjivanje brzine raspada $R_0$ $4\pi$XA-$\gamma$ koincidentnom metodom

Za izračunavanje brzine raspada $R_0$ $4\pi$XA-$\gamma$ koincidentnom metodom /2/ koristi se izraz:

$$R_0 = \lambda \cdot M \cdot Kr/(1 + Ke) \cdot D \qquad (1)$$

u kome su korekcioni faktori:

Kr - za vreme razlaganja koincidentne aparature,

$\lambda$ - za radioaktivni raspad,

D - za mrtvo vreme XA, gama i koincidentne grane,

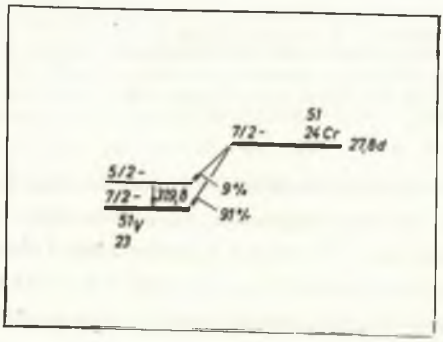
(1 + Ke) - karakterističan za šemu raspada

dok je sa M označen koincidentni izraz za tinu raspada:

$$M = R_{XA} \cdot R_{\gamma} / R_c ,$$

sa $R_{XA}$, $R_{\gamma}$ i $R_c$ pretstavljene su brzine brojanje u XA, gama i koincidentnoj grani respektivno.

Izrazi za Kr i D koji ne zavise od tipa raspada detaljno su razmotreni u radu /2/. Izraz karakterističan za šemu raspada (1+Ke) treba posebno odrediti za svaki tip raspada.




Sl. 1. Šema raspada $^{51}Cr$

Pri izvodjenju izraza za korekcioni faktor karakterističan za šemu raspada $^{51}Cr$ smatraće se da su Kr, D i $\lambda$, u izrazu (1) jednaki jedinici. U tom slučaju izraz za $R_o$ može se pisati

$$R_o = \frac{R_{XA} \cdot R_{\gamma} / R_c}{(1 + Ke)} \qquad (2)$$

Brzina brojanja $R_{XA}$ u XA grani, imajući u vidu šemu raspada $^{51}Cr$ (sl.1), može se napisati kao:

$$R_{XA} = R_o \cdot a \cdot [\epsilon_{XA} + (1-\epsilon_{XA}) \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma] + R_o \cdot b \cdot \epsilon_{XA} \qquad (3)$$

u koju uvodjenjem smene b = 1-a dobija se

$$R_{XA} = R_o [\epsilon_{XA} + a \cdot (1-\epsilon_{XA}) \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma] . \qquad (3a)$$

Izrazi za brzine brojanja u ostalim dvema granama neposredno se dobijaju i imaju oblik:

$$R_\gamma = R_o \cdot a \cdot \epsilon_\gamma \quad \text{i} \qquad (4)$$

$$R_c = R_o \cdot a \cdot [\epsilon_{XA} \cdot \epsilon_\gamma + (1-\epsilon_{XA}) \cdot \epsilon'_\gamma \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma] \qquad (5)$$

gde su:

$\epsilon_{XA}$ i $(\epsilon_{XA})_\gamma$ - efikasnosti $4\pi$ XA detektora za detekciju XA i gama zračenja,

$\epsilon_\gamma$ - efikasnost gama detektora za detekciju gama zračenja i

$\epsilon'_\gamma$ - efikasnost gama detektora za detekciju onog dela gama zračenja koji je detektovan i u $4\pi$ XA detektoru.

Gornji izrazi su dobijeni pod predpostavkom da je svo X-zračenje i Auger elektroni apsorbovano u $4\pi$ XA detektoru, a konverzija gama zračenja (sa iznosom od $1,5 \cdot 10^{-4}$) je zanemarena.

Rešenjem sistema jednačina (3a), (4) i (5) brzina raspada može se pretstaviti sledećom jednačinom:

$$R_o = \frac{R_{XA} \cdot R_\gamma / R_c}{[1 + \frac{1-\epsilon_{XA}}{\epsilon_{XA}} \cdot \frac{\epsilon'_\gamma \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma}{\epsilon_\gamma}] / [1 + a \cdot \frac{1-\epsilon_{XA}}{\epsilon_{XA}} (\epsilon_{XA})_\gamma]^{-1}} \qquad (6)$$

Ukoliko se izraz $1 + [(1-\epsilon_{XA})/\epsilon_{XA}] \cdot [\epsilon'_\gamma \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma / \epsilon_\gamma]$ razvije u binomni red, a $\epsilon'_\gamma \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma$ označi sa $\epsilon_0$ - efikasnost na lažne koincidencije, izraz (6) postaje:

$$R_o = \frac{R_{XA} \cdot R_\gamma / R_c}{1 + \frac{1-\epsilon_{XA}}{\epsilon_{XA}} \left[ a \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_\gamma} \right]} \qquad (7)$$

Uporedjujući izraz (2) i (7) dobija se da je faktor karakterističan za šemu raspada $^{51}Cr$

$$(1 + Ke) = 1 + \frac{1-\epsilon_{XA}}{\epsilon_{XA}} \left[ a \cdot (\epsilon_{XA})_\gamma - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_\gamma} \right].$$

Aparatura

Za merenje brzine raspada $^{51}Cr$ korišćena je koincidentna aparatura BGK-4 /2/. Detektor za X zračenje i Auger elektrone bio je $4\pi$ proporcionalan brojač sa radnim gasom $Ar + CH_4$ (9:1) na pritisku 2,5 atm. Za detekciju gama zračenja korišćen je detektor sa dva kristala NaJ (Tl) (100 x 80) mm.

Mrtva vremena XA, gama i koincidentne grane iznosila su $\tau_{XA} = (4,65 \pm 0,23)$ μs, $\tau_\gamma = (4,85 \pm 0,24)$ μs, i $\tau_c = (2 \pm 0,2)$ μs, dok vreme razlaganja koincidentnog uredjaja $2\tau_r = (1 \pm 0,2)$ μs.

Eksperimentalni rezultati i greške merenja

Ispitani su optimalni uslovi detekcije KX zračenja i K Auger elektrona u $4\pi$ proporcionalnom brojaču i nadjeno je da pri pritisku od 2,5 atm. gasa $Ar + CH_4$ (9:1) energetska efikasnost detekcije KX zračenja iznosi 100%. Pri tom pritisku izmeren je spektar KX zračenja $^{51}Cr(E.C)^{51}V$ (sl.2), odakle je utvrdjen interval za detekciju KX zračenja od 1 do 7,26 KeV-a.

Prema spektru gama zračenja $^{51}Cr$ (sl.3) energetski interval za detekciju gama zračenja uzet je od 222 do 392 KeV-a.

Efikasnost detekcije gama zračenja u $4\pi$ proporcionalnom brojaču $(\epsilon_{XA})_\gamma$ i efikasnost za lažne koincidencije $\epsilon_c$, za date uslove merenja, KX zračenja, odredjene su metodom opisanom u radu /3/ i nadjeno je da iznose $(\epsilon_{XA})_\gamma = (0,096 \pm 0,019)\%$ i $\epsilon_c = (0,007 \pm 0,0014)\%$.

Izvori $^{51}Cr$ dobijeni su iz rastvora $^{51}CrCl_3$, specifične aktivnosti 56 Ci/g ozračenog materijala, pH = 5,5. Čistoća radioaktivnog rastvora proverena je Ge(Li)

detektorom. Nadjeno je da su radijohemiske nečistoće energija manjih od 320 KeV reda $10^{-6}$, a energija većih od 320 KeV reda $10^{-3}$

Vrednost $\epsilon_{XA}$ izvora $^{51}Cr$, dobijenog uparavanjem rastvora $^{51}CrCl_3$ na nosaču od pozlaćene VYNCE folije površinske gustine 40 g/cm$^2$ Au iznosila je 49,8%. Za date eksperimentalne uslove $\epsilon_r$ je 1,43%.

Sistematska greška u merenju brzine raspada koincidentnom metodom /2,4/ data je izrazom:

$$r_S^2 = r_{Kr}^2 + r_D^2 + r_{Ke}^2 + r_\lambda^2 + r_t^2$$

gde su:

$r_{Kr}$, $r_D$, $r_{Ke}$, $r_\lambda$ sistematske greške korekcionih faktora izraženih jednačinom (1), a $r_t$ je sistematska greška u odredjivanju intervala vremena merenja t.

Relativna sistematska greška merenja brzine raspada izvora $^{51}Cr$ iznosila je $\delta r_S = 0,08\%$; dok su sistematske greške pojedinačnih korekcionih faktora bile $\delta r_{Kr} = 0,062\%$, $\delta r_D = 0,002\%$, $\delta r_{Ke} = 0,051\%$, a $r_\lambda$ i $r_t$ bile su zanemarljive za uzeti vremenski interval merenja.

Greška $r_M$ koja u sebi uključuje slučajne greške i statistiku brojanja /2,4/ može se pretstaviti izrazom:

$$r_M = [\Sigma (M - \bar{M})^2 / \bar{M}^2 \cdot n(n-1)]^{1/2}$$

gde je:

n - broj merenja pojedinačnog izvora, a $\bar{M}$ srednja vrednost pojedinačnih merenja.

Za dati izvor $^{51}Cr$, $r_M$ je iznosilo $\delta r_M = 0,28\%$.

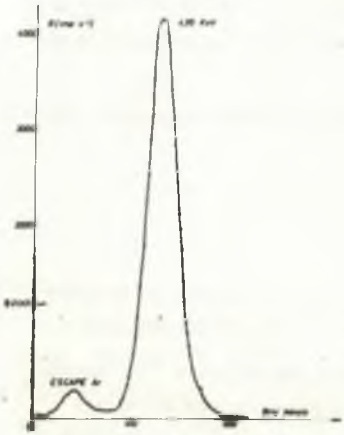
Ako se celokupna greška merenja pretstavi izrazom:

$$\Delta R_0 = 3r_M + r_S ,$$

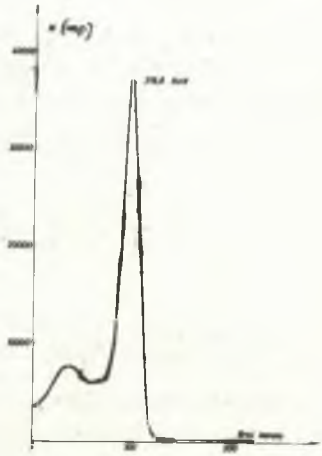
onda celokupna relativna greška ne prelazi veličinu $\pm$ 0,92%.

Napomena

Autori žele da se zahvale kelegama J. Legrand-u iz LMRI, CEN-Saclay, na analizi čistoće rastvora $^{51}Cr$, a E. De Roost-u iz CENM-Geel na korisnim diskusijama.



Sl. 2. Spektar KX zračenja $^{51}Cr(E.C)^{51}V$



Sl. 3. Spektar gama zračenja $^{51}Cr$


Summary

Procedure and results for absolute measurement of the disintegration rate of $^{51}Cr(E.C)^{51}V$ has been given. Correction of disintegration rate value, due to decay scheme has been analised. 100% energy efficiency could be obtained for the detction of KX rays in the used $4\pi$ proportional counter. Efficiencies of the counter for $^{51}Cr$ $\gamma$ -rays and accidental coincidences are determined to be $(\epsilon_{XA})_\gamma$ = (0,096 ± 0,019)% and $\epsilon_c$ = (0,007 ± 0,0014)% respectively. Absolute measurement of the disintegration rate of $^{51}Cr$ has been given with a total error of ± 0.92%.


REFERENCE


1. Lederer C.M., and (at) al., Table of Isotopes, (1968), John Wiley and Sons, INC. New York - London - Sydney.

2. Bek-Uzarov Dj., Doktorska disertacija, Prirodnomatematički fakultet Univerziteta u Beogradu, (1968).

3. Bek-Uzarov Dj., Dobrilović Lj. i Buraei K., Zbornik materijala III Jug. simpozijuma o Radiološkoj zaštiti, 346 (1967).

4. Weiss M., Compte rendu de la Comparaison internationale d une solution de $^{54}Mn$ 1965-BIPM, (1968).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

D.Danilović, D.Veselinović
Institut za nuklearne nauke "B.Kidrič" - Vinča

# MINIJATURNI UREDJAJ ZA SAKUPLJANJE PODATAKA

Dato je rešenje jednostavnog i kompaktnog uredjaja za sakupljanje podataka, namenjenog za automatizaciju stacionarnih i pokretnih mernih stanica. Uredjaj ima 16 ulaza i tačnost uzimanja analognih mernih signala od 0,1%. Izlazne veličine, vrednost merenog signala i broj kanala, date su u obliku pogodnom za zapisivanje komercijalnim uredjajima. Korišćenjem MOS/LSI integrisanih kola postignuto je izvodjenje čitavog uredjaja sa svega 16 integrisanih elemenata.

Za izvodjenje automatizacije kod višestrukih merenja potreban je uredjaj za sakupljanje podataka. Ovakav uredjaj sukcesivno uzima podatke iz davača, koji merene veličine pretvaraju u električne analogne signale, prebacuje ih u odgovarajuće digitalne vrednosti i predaje ih uredjajima za zapisivanje: štampaču, bušaču trake i sl. Sakupljeni i zapisani podaci se kasnije obradjuju digitalnim računarom ili ručno. U slučaju direktne ("on-line") obrade podataka i upravljanja merenjima digitalnim računarom, ovakav uredjaj je neophodan kao veza izmedju davača i računara.

Kod automatizacije malih mernih stanica potrebni su relativno kompaktni i jednostavni uredjaji za sakupljanje podataka sa malim brojem ulaza. Takav je slučaj kod stanica za kontrolu radioaktivnosti okoline (merenje kratkoživećih i dugoživećih radioaktivnih elemenata u aerosolima, merenje osnovnog fona gama-zračenja u vazduhu i dr.), metereoloških stanica (merenje temperature, vlažnosti, pritiska vazduha i dr.), pokretnih stanica za ispitivanje zagadjenosti vazduha (merenje % ugljen-dioksida, sumpor-dioksida, vodonik-sulfida, azot-dioksida i dr.) i sl. U radu je predloženo rešenje ovakvog uredjaja za sakupljanje podataka, izvedeno savremenim komponentama u tehnici LSI ("large scale integration") integrisanih kola. Ovakvo rešenje daje uredjaju veliku pouzdanost, malu potrošnju i veoma male dimenzije.

Opis uredjaja

Blok-šema uredjaja za sakupljanje podataka prikazana je na sl. 1. Uredjaj se sastoji od sledećih sklopova skanera, pojačavača, A/D konvertora i komandnog bloka. Skaner ima 16 ulaza za merne veličine, a prema potrebi se može vrlo jednostavno proširiti za bilo koji multipl od 8 ili smanjiti na 8. Električni signali koji se dovode na ove ulaze treba da budu normalizovani u naponskom području od 0 do +5V. Ulazi za sat i ciklus skaniranja predvidjeni su da budu u pozitivnoj logici i odgovaraju ulazima TTuL integrisanih kola, dok svi izlazi imaju negativnu logiku MOS/LSI integrisanih kola. Kao terminali mogu se direktno koristiti odgovarajući komercijalni uredjaji za zapisivanje BCD četvorocifrenih brojeva, kao što su štampači, bušači trake optički indikatori i sl. Korišćenje prenosa informacija žičnim ili bežičnim putem u udaljene centre zahteva dodatne prenosne uredjaje.

Impuls dobijen na izlazu"komanda za upisivanje izlaza" odredjuje vreme uzimanja podataka iz uredjaja za sakupljanje u uredjaj za zapisivanje. Pored broja kanala i trocifrene vrednosti merenog podatka, može se zapisati odredjenim znakom i eventualno prekoračenje ulaznog napona iznad dozvoljene granice od +5V. Pored uobičajenog paralelnog oblika, trocifrena vrednost ulaznog podatka u kanalu data je i u serijskom obliku, koji se može koristiti kod nekih uredjaja za zapisivanje podataka.

Impulsi sata uključuju sukcesivno ispitivanje napona u A/D konvertoru, a impulsi za ciklus skaniranja početak novog merenja na ulaznim kanalima uredjaja. Perioda impulsa sata odredjena je vremenom koje je potrebno da upotrebljeni uredjaj preuzme izlazne podatke ili minimalnim trajanjem jednog koraka A/D konvertora. Vreme ponavljanja ciklusa skaniranja odredjuje se prema potrebi. Ono je ograničeno time što treba da bude veće od 13 perioda impulsa sata. Obično se uzima da je perioda ciklusa skaniranja multipl periode impulsa sata.

Uredjaj može da radi i bez impulsa za ciklus skaniranja. U tom slučaju sledeći ciklus merenja ulaznih podataka počinje čim završi prethodni. Vreme trajanja jednog ciklusa je najmanje moguće i iznosi 13 perioda impulsa sata.

Kao generator impulsa za sat i za ciklus skaniranja može se koristiti elektronski sat, koji u automatskim stanicama ujedno služi za indikaciju i štampanje vremena uzimanja merenih podataka. U nedostatku takvog sata, ovi impulsi mogu se dobiti iz jednostavnog

oscilatora i delitelja.

Skaner sa binarnim brojačem i dodatnim kolima prikazan je na sl.2. Kao skaner upotrebljeno je MOS/LSI integrisano kolo tipa 3705, koje, za prekidanje analognih signala koristi unipolarne tranzistore sa izolovanim gejtom. Integrisano kolo tipa 3705 zahteva na svojim ulazima logičke nivoe CCSL integrisanih kola. Prekidač $P_1$ služi za anuliranje uredjaja pre početka rada, a prekidač $P_2$ za izbor načina rada. Kad je prekidač $P_2$ u položaju 1, ciklus skaniranja je odredjen ulaznim impulsima na posebnom ulazu, a kad je u položaju 2 ciklus skaniranja traje 13 perioda impulsa sata i pomenuti ulazni impulsi nisu potrebni.

Analogni signal iz skanera vodi se na pojačavač tipa μA727, prikazan na sl.2 zajedno sa A/D konvertorom i njemu dodatnim kolima. Velika ulazna impedanca pojačavača μA727 osigurava potrebnu tačnost prenosa analognih signala, koja je bolja od 0,1%. 12-bitni A/D konvertor je, kao i skaner, MOS/LSI integrisano kolo tipa 3751. Pomoću stepeničaste mreže tipa HN3751 i komparatora, ovo kolo radi kao trocifreni A/D konvertor u BCD kodu. Maksimalna frekvencija rada samog A/D konvertora iznosi 250 kHz, medjutim, zbog nedovoljno brzog komparatora, izvedenog pojačavačem tipa μA709, ona je svedena na 100 kHz, što daje kao minimalni ciklus skaniranja uredjaja za sakupljanje podataka 130 μs. Maksimalna brzina rada A/D konvertora, ukoliko je potrebna, može se postići primenom bržih pojačavača, kao što je npr. tip μA715.

Komandna kola za A/D konvertor prikazana su na sl.4. Na početku rada uredjaja potrebno je prebaciti prekidač $P_4$ u položaj 2.

Opisani uredjaj za sakupljanje podataka izveden je sa 16 integrisanih kola. Integrisana kola sa MOS tranzistorima korišćena su svuda gde je njihova primena bila moguća. U ostalim slučajevima korišćena su linearna i TTuL (CCSL) integrisana kola. Sva upotrebljena integrisana kola su proizvodnje Fairchild, osim kola tipa HN3751, koje je proizvodnje Angstrom Precision Inc.

Veoma mala potrošnja MOS integrisanih kola, a naročito MOS/LSI, kao što su kola tipa 3751 i 3705 koja čine osnovne sklopove uredjaja, rezultira u maloj potrošnji čitavog uredjaja. Naponi napajanja su: +15V, +5V i -27V. Ostali potrebni naponi mogu se jednostavno izvesti iz ovih pomoću delitelja. Čitav uredjaj, koji se sastoji od 16integrisanih elemenata i potrebnih delitelja napona, može se izvesti sa vrlo malim dimenzijama. Elementi LSI i CCSL daju uredjaju još i veliku pouzdanost u radu i jednostavno održavanje.

Rad sa štampačem

Kao primer priključenja uredjaja za zapisivanje na uredjaj za sakupljanje podataka, uzeta je veza sa štampačem CMMP-3, proizvodnje Practical Automation. Pošto postojeći štampač radi samo sa pozitivnom logikom, potrebno je prebaciti sve izlaze uredjaja za sakupljanje podataka na pozitivnu logiku. Zato su korišćena integralna kola tipa 9625. Impuls komande za zapisivanje davao je komandu za štampanje. Štampač CMMP-3 štampa 4 linije u sekundi, pa je odredjena perioda impulsa sata od 20 ms, što daje prebacivanje skenera nakon svakih 260 ms. Ovo je minimalna perioda sata sa kojom može da radi štampač. Ako se merenje ponavlja posle nekoliko minuta ili, čak, nekoliko desetina minuta, perioda sata može da bude znatno veća, a odredjuje se prema zahtevanom vremenu u kome treba da se izvrši jedan ciklus merenja.

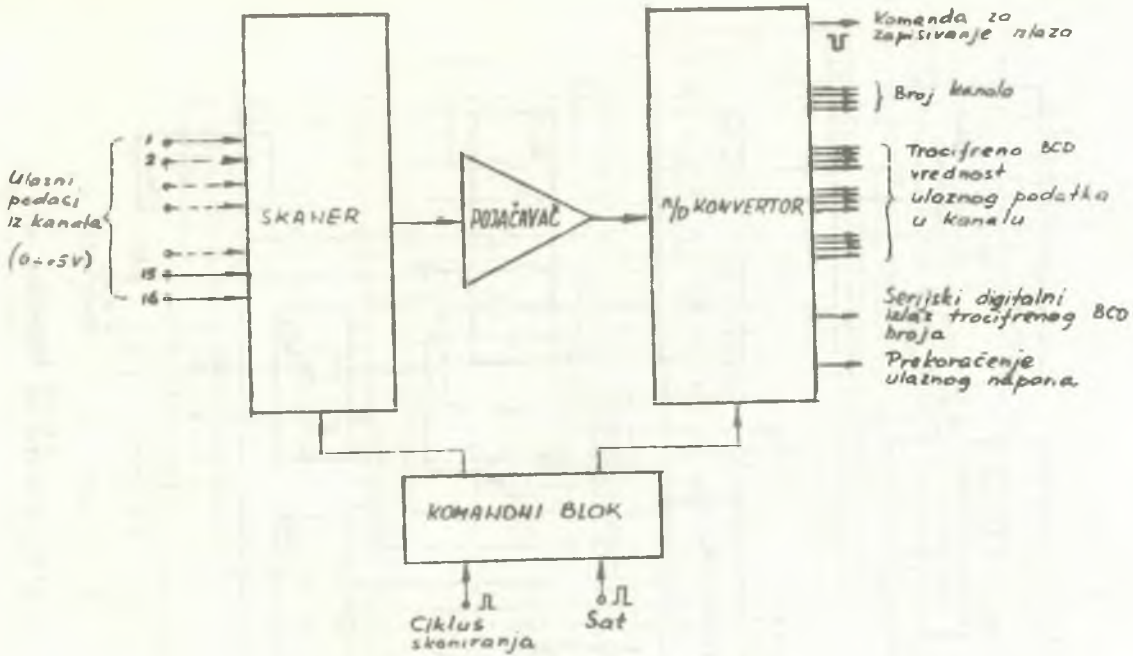
Zaključak

Predloženo je rešenje uredjaja za sakupljanje podataka sa 16 ulaza i sa tačnošću uzimanja analognih signala boljom od 0,1%. Broj ulaza može se lako po potrebi proširiti. Za zapisivanje ulaznih veličina - trocifrene vrednosti merenih signala i broja kanala - potrebno je koristiti komercijalne uredjaje, kao što su štampači, bušači trake i sl. Priključivanje uredjaja za zapisivanje na uredjaj za sakupljanje je jednostavno. Korišćenje MOS/LSI integrisanih kola omogućilo je izvodjenje ovakvog uredjaja sa svega 16 integrisanih elemenata. Postignute su veoma male dimenzije, mala potrošnja i velika pouzdanost u radu. Sve ove osobine ističu izvedeno rešenje uredjaja za sakupljanje podataka u odnosu na postojeća rešenja i čine ga veoma prikladnim za korišćenje u automatskim stacionarnim i pokretnim mernim stanicama.

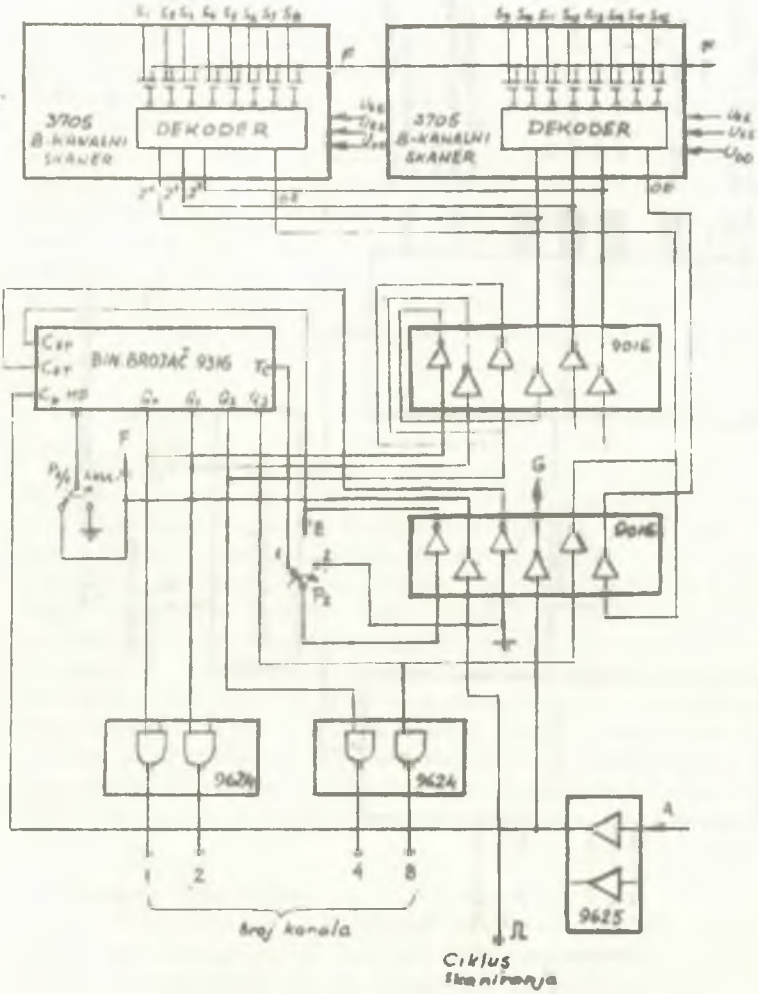
Abstract

Miniaturized data logger

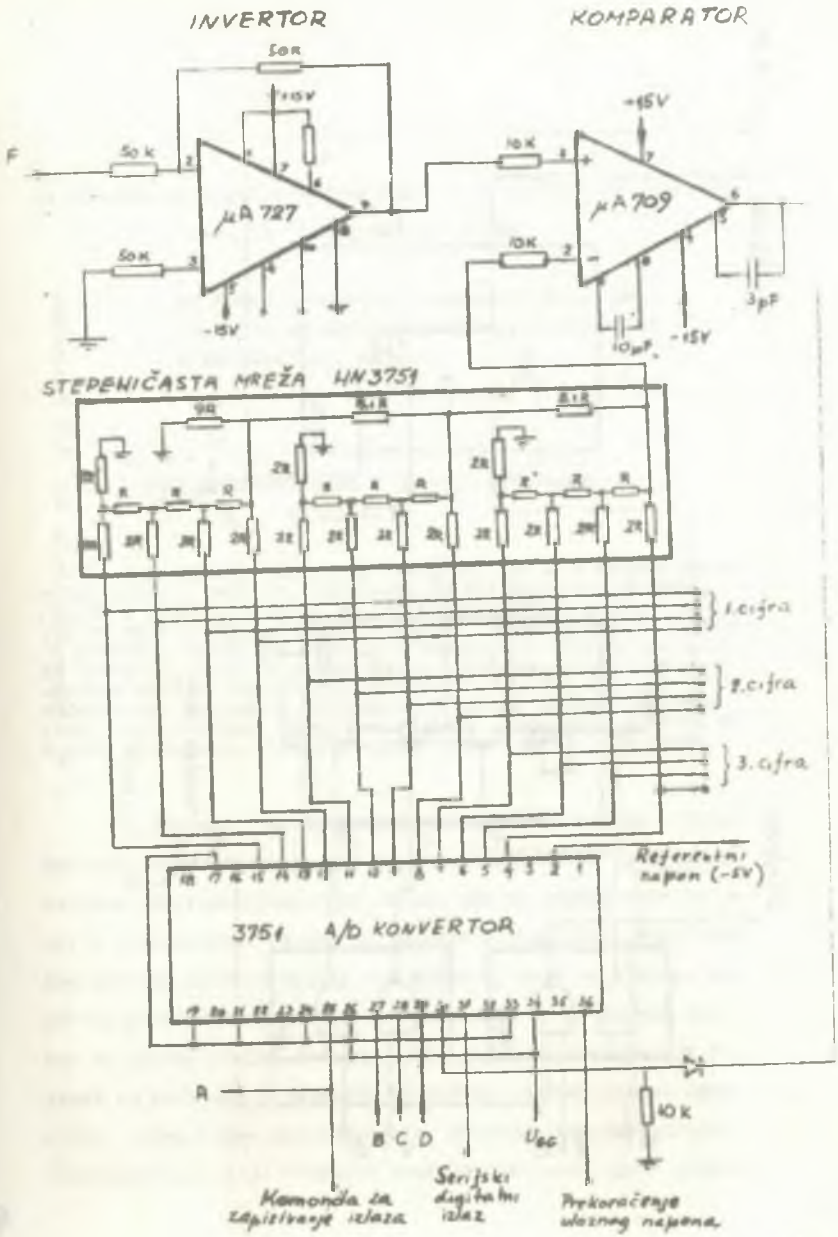
A solution for a simple and compact data logger, intended for the automatization of fixed and mobile measurement equipments is given. The data logger has 16 inputs and the 0,1% precision for accepting analog signals. The output variables, the value of measuring signal and the channel number, are given in a form suitable for recording with commercial equipments. By using MOS/LSI integrated circuits, the realization of the complete data logger with only 16 integrated devices is achieved.



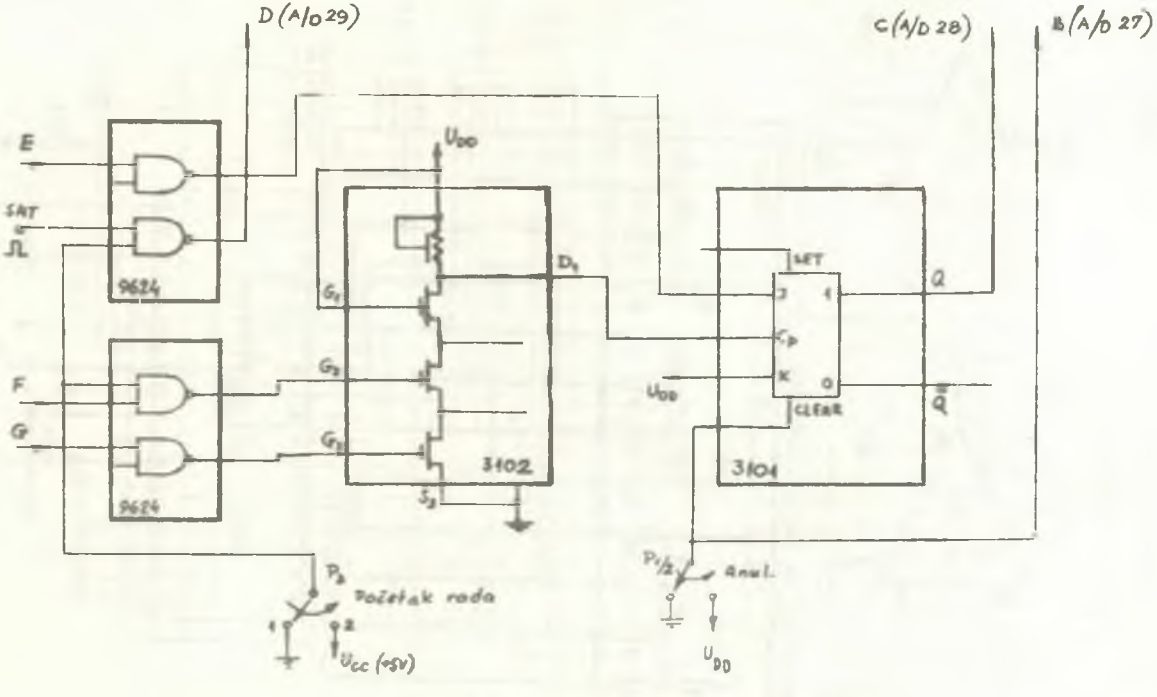

Sl. 1 Blok šema uređaja




Sl. 2 Skaner sa brojačem




Sl. 3 A/D konvertor




sl. 4 Komandno kolo za A/D konvertor

VI Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mr Vesna Jevremović-Vladiković,dipl.ing.
Institut za naučno-tehničku dokumentaciju
i informacije, Beograd

# SISTEM INFORMACIJA U OBLASTI NUKLEARNE ENERGIJE

U oblasti nuklearne energije, kao i u mnogim oblastima nauke i tehnike, razvijaju se informacioni sistemi, centri i službe. Svakako je najinteresantniji Medjunarodni sistem nuklearnih informacija /INIS/. U našoj zemlji takođe je potrebno izgraditi sistem informacija u oblasti nuklearne energije, koji bi predstavljao podsistem jugoslovenskog sistema naučnih informacija. Elementi budućeg sistema informacija su: korisnici informacija, izvori naučnih informacija, organizaciona struktura sistema, veze ovog sistema sa drugim sistemima, finansiranje i etape izgradnje sistema.

U svetu postoje brojni informacioni centri u oblasti nuklearne energije, pri naučnoistraživačkim centrima i velikim laboratorijama. Kao primer takvog centra može da posluži Informacioni centar za nuklearnu sigurnost /NSIS/ pri Nacionalnoj laboratoriji u Oak Ridge-u, koji je 1963.g. osnovala Komisija za atomsku energiju SAD. To je glavni centar za prikupljanje, analizu i diseminaciju informacija,vezanih za problems sigurnosti i zaštite. Centar izdaje izveštaje, indeksirane bibliografije, priprema retrospektivne bibliografije, daje tehnička obaveštenja, sudeluje u pripre-

mi časopisa "Nuclear Safety", priprema priručnike. Od 1968. god. vodi se kartoteka istraživačkih programa i projekata. Kadar Centra čini 3o naučnika i inženjera /1/.

Takodje je u Francuskoj razvijen sistem ATRAIT /Système d'acquisition et de traitements d'informations nucléaires/ - sistem za prikupljanje i obradu nuklearnih informacija. Za obradu podataka u ovom sistemu koristi se računar IBM 18oo. Sam sistem je razradjen u Laboratoriji za niske energije u Strasburu /2/.

U ovoj oblasti radi se i na primeni mašinskog prevodjenja. Tako je Evropski centar za obradu naučnih informacija /CETIS/ pri EURATOM-u u Ispri jedina institucija u Evropi i jedna od tri u svetu koja se bavi rusko-engleskim automatskim prevodjenjem. U 1967.g. izradjeno je, na primer, 12o mašinskih prevoda sa 7oo.ooo reči. Cena koštanja prevoda iznosi 7 dolara za 1ooo ruskih reči. Ruski članci i referati prevode se na računaru IBM 36o/65. Uz prevodjenje vrši se i indeksiranje. Brzina prevodjenja iznosi 3oo.ooo reči na čas /3/.

U oblasti naučno-tehničkih informacija na ovom području veoma je interesantan Medjunarodni informacioni sistem u oblasti nuklearne energije. Osnovni zadatak Medjunarodne agencije za atomsku energiju u oblasti naučno-tehničkih informacija sastoji se u organizaciji prikupljanja i širenja informacija o mirnodopskom korišćenju nuklearne energije medju zemljama-članicama Agencije. Zbog velikog broja informacija i povećanja broja korisnika pristupilo se 1966.g. stvaranju medjunarodnog informacionog sistema u okrilju Agencije

/International Nuclear Information System - INIS/. U sistem će biti uključene informacije koje su publikovane u zemljama-članicama Agencije i sve članice Agencije dužne su da 15-to dnevno dostavljaju podatke o radovima iz svoje zemlje i tako stiču pravo da dobijaju informacije o drugima. Svi radovi se referišu u ATOMINDEX-u. Za obradu podataka koristi se računar IBM 360/30. INIS je prvi medjunarodni informacioni sistem u čijoj osnovi leži princip decentralizovane pripreme podataka, što predpostavlja tesnu saradnju sa svim zemljama-članicama Agencije /4,5,6/.

U februaru 1970.g. u Beču je održan Prvi simpozijum o prikupljanju, obradi i širenju informacija u oblasti nuklearne energije. Program simpozijuma obuhvatio je sledeće teme: nacionalni informacioni centri, specijalizovani informacioni centri, informacione službe sa korišćenjem elektronskih računara, primarne i sekundarne publikacije, informaciono usluživanje korisnika, metode i sistemi indeksiranja, svetska saradnja u oblasti naučnih informacija. Na simpozijumu je bilo 168 učesnika iz 31 zemlje i 12 medjunarodnih organizacija /7/.

Svakako, danas, kada postoje veliki napori u savladjivanju problema informacija, kada se radi i na stvaranju Svetskog sistema naučnih informacija /UNISIST/ veoma je značajno stvaranje Medjunarodnog sistema nuklearnih informacija.

Što se tiče stvaranja sistema informacija u ovoj oblasti kod nas - to je problem koji tek treba da se rešava. Tačno je da postoje dokumentacijsko-informacione jedinice

ili službe pri nuklearnim institutima u zemlji, ali sistema informacija nema. Tačno je i to da ne postoji sistem informacija u celini u zemlji, čiji bi podsistem bio "informacije u oblasti nuklearne energije". Prvi korak ka stvaranju sistema naučnih informacija u našoj zemlji bio je izrada makroprojekta "Izgradnja i usavršavanje sistema naučnih informacija u SFRJ", čiji je projektni i planski /programski/ deo izradio Institut za naučno-tehničku dokumentaciju i informacije /INTDI/ u Beogradu. Svakako da je potrebno dalje raditi na razradi posebnih projekata, predvidjenih makroprojektom /8/.

Elementi budućeg sistema informacija u oblasti nuklearne energije, kao podsistema jugoslovenskog sistema naučnih informacija bili bi sledeći:

- utvrdjivanje strukture korisnika informacija u oblasti nuklearne energije u zemlji /utvrdjivanje optimalnih grupa korisnika, tj. grupa kojima su potrebne približno iste informacije/;
- utvrdjivanje strukture izvora naučnih informacija, koje kroz sistem treba da budu pristupačne korisnicima;
- uloga biblioteka, informacionih službi i centara u izgradjivanju sistema;
- uloga korisnika informacija u izgradnji, usavršavanju i korišćenju sistema i njihovo obrazovanje za sistem naučnih informacija;
- veza sistema informacija u oblasti nuklearne energije sa jugoslovenskim sistemom naučnih informa-

cija i sa medjunarodnim sistemom nuklearnih informacija /INIS/ - medjunarodna podela rada, uslovi za naše učešće u INIS-u, korišćenje naučnih informacija iz INIS-a, saradnja sa specijalizovanim informacionim centrima iz ove oblasti u svetu;

- eksploatacioni i finansijsko-ekonomski aspekti sistema nuklearnih informacija;
- finansiranje i etape izgradnje sistema nuklearnih informacija.

Nosioci izgradnje ovog sistema treba da budu nuklearni instituti, zatim privreda, univerziteti, uz principe podele posla, koordiniranja rada, brzog informisanja. Potrebno je kroz ovaj sistem omogućiti da se u zemlju unose i u njoj koriste naučne informacije iz celog sveta i da se naša nova saznanja formulišu u vidu potpunih i sažetih informacija i prenose u zemlji i u ostalom svetu.

Summary

In nuclear energy field, as well as many other fields of science and technology, information systems, centers and services are in a state of constant development. Without doubt the most interesting of them is International Nuclear Information System /INIS/. In our country it is nesessary too to create a information system in nuclear energy field. As such it may figure as a sub-system of yugoslav scientific information system. Elements of future information system are: information users, sources of scientific information, organisation structure of the system, liaisons of this system with other systems, financing and phases of system development.

BIBLIOGRAFIJA

1. Buchanan, J.R., NUCLEAR SAFETY INFORMATION CENTER. ITS PRODUCTS AND SERVICES, Spacial Libraries, 197o,N° 9,492-495

2. Wery,M...., ATRAIT: SYSTÈME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENTS D'INFORMATIONS NUCLÉAIRES, Nuclear Instruments and Methods, 96, 1971, N° 2, Oktober 1, 3o9-316

3. Perschke,S., DIE ANWENDUNG DER MASCHINELLEN SPRACHÜBERSETZUNG IN DER DOKUMENTATION BEI EURATOM,Nachrichten für Dokumentation, 1969, N° 5, 194-198

4. Ivanov, M.V., MEŽDUNARODNAJA INFORMACIONNAJA SISTEMA PO JADERNOJ ENERGII, Naučno-tehničeskaja informacija, serija 1, 197o, N° 4, 22-23

5. Morohov, I.D., MEŽDUNARODNAJA SISTEMA JADERNOJ INFORMACII, Atomnaja energija, 28,197o, N° 3, 231-233

6. Vernimb,K., VYČISLITEL'NYE MAŠINY V SISTEME INFORMACII, Atomnaja tehnika za rubežom, 1971, N° 6, 39-45

7. - SIMPOZIUM PO SBORU, OBRABOTKE I RASPROSTRANENIJU INFORMACII PO JADERNOJ ENERGII, Naučno-tehničeskaja informacija, serija 1, 197o, N° 9, 19-2o

8. - PROJEKTNI I PLANSKI /PROGRAMSKI/ DEO MAKROPROJEKTA "IZGRADNJA I USAVRŠAVANJE SISTEMA NAUČNIH INFORMACIJA U SFRJ", Beograd, INTDI, 1971.

VI Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

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

# APARATURA ZA DOBIJANJE I APSOLUTNO MERENJE AKTIVNOSTI GASNIH UZORAKA TRITIJUMA

U radu su opisane karakteristike aparature pomoću koje se dobijaju gasni uzorci trit.juma redukcijom tritinirane vode na metalnom uranijumu i cinku pri temperaturama 400-600°C sa kvantitativnim prinosom vodonika.
Apsolutni broj beta raspada tritijuma odredjuje se metodom unutrašnjeg gasnog brojanja.

Niskoenergetsko zračenje tritijuma (Emax = 18,6 KeV) znatno se apsorbuje u materijalu uzorka koji se meri. Iznos apsorpcije je teško odrediti sa boljom tačnošću od nekoliko procenata pa je tačnost merenja specifične radioaktivnosti uzorka toga reda veličine. Pomoću metode unutrašnjeg gasnog brojanja meri se radioaktivnost gasnog uzorka tritijuma čije se beta zračenje apsorbuje u radnom gasu brojača i detektuje ceo spektar iznad energije potrebne za stvaranje minimalnog detektabilnog impulsa u brojaču /1, 2/.

Uzorak se direktno uvodi u brojače kao komponenta radnog gasa ili kao radni gas u zavisnosti od brojačkih karakteristika prepariranog gasnog jedinjenja u kome se tritijum nalazi.

Na osnovu izmerenog odbroja poznate količine gasnog uzorka u brojaču i ukupne količine gasa dobijene iz m grama polaznog materijala odredjuje se specifična odnosno ukupna radioaktivnost polaznog materijala bez obzira u kom se agregatnom stanju on nalazi.

U ovom radu je opisana aparatura pomoću koje se jednim apsolutnim merenjem odredjuje broj raspada gasnog uzorka tritijuma u slucaju kad se kao polazna supstanca koristi tritinirana voda. Osim vode moguće je kao polazne supstance uzeti i neke organske supstance direktno ili ih dovesti do vode i $CO_2$ sagorevanjem.

Voda se redukuje do vodonika pomoću metalnog uranijuma ili cinka na temperaturi od 400-600°C. Razvijeni vodonik se uvodi u poznatu zapreminu aparature, gde se na osnovu poznatog pritiska i tem-

perature gasa proverava kvantitativnost hemijskih reakcija redukcije vode.

Odredjena količina vodonika kao radioaktivni gasni izvor tritijuma uvodi se zatim u sistem brojača i meša sa radnim gasom. Na osnovu izmerenog broja impulsa u pojedinim brojačima dobija se apsolutni broj raspada tritijuma u jedinici efektivne zapremine brojača a preko stehiometrijskog odnosa vodonika i vode i specifična radioaktivnost vode.

Šematski prikaz aparature dat je na sl. 1. To je standardna vakuumska aparatura izradjena od pyrex-a i metala zapremine oko 2,5 lit. Minimalna količina vode za analizu je reda $10^{-3}$ g a maksimalna do 5 g.

Najmanja specifična radioaktivnost vode koja se može detektovati gasnim brojačima čiji je fon oko o,2 imp/s $cm^3$ zapremine, sa 2% aktivnog vodonika u radnom gasu na 1 At je $10^{-1}$ uCi/g $H_2O$.

Upotrebom antikoincidentne tehnike brojanja sa istim detektorima i sintezom etana kao radioaktivnog radnog gasa na pritisku od 3 At osetljivost bi se povećala na $10^{-6}$ uCi/g $H_2O$ a elektrolitičkim obogaćivanjem početnog uzorka vode za još dva reda veličine /3/.

Aparatura se sastoji od četiri nezavisna dela medjusobno povezana slavinama (sl. 1) i to: deo za redukciju vode pomoću uranijuma (I), deo za odredjivanje prinosa dobijenog gasa (II), deo za detekciju radioaktivnosti gasnih uzoraka (III) i deo za pripremu uzoraka za redukcije i oksidacije u zatopljenim ampulama (IV).

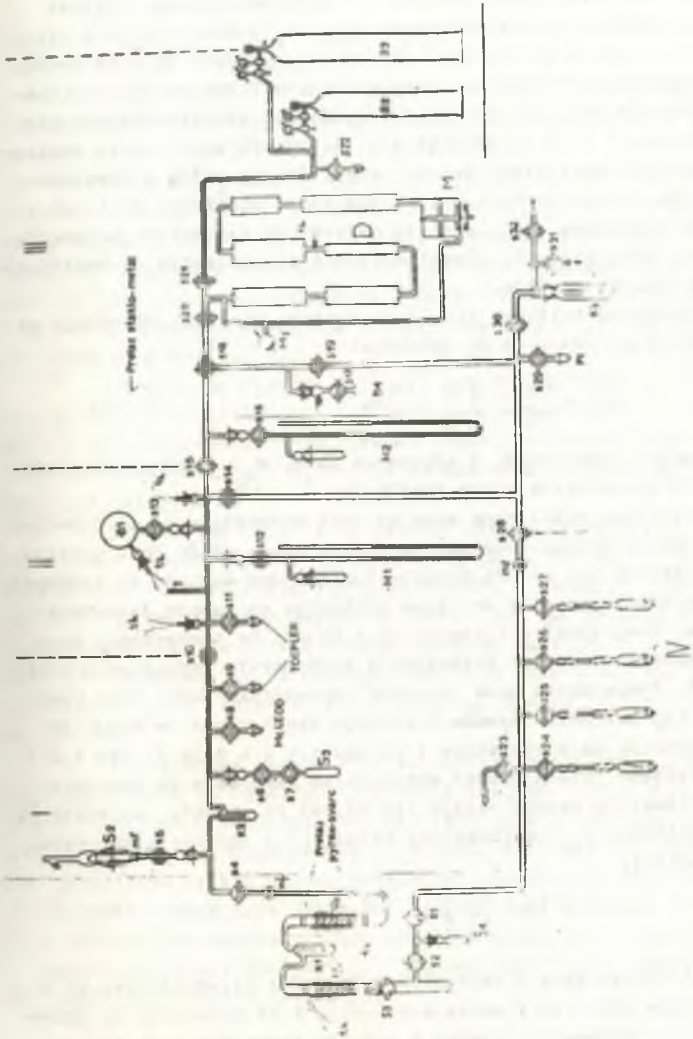
Redukcije vode se izvode na dva načina: redukcije u zatopljenim ampulama koje sadrže odredjenu količinu vode i redukcionog sredstva i redukcije difuzijom pare uzorka u vakuumu,uz odvodjenje razvijenog gasa u poznatu zapreminu. Ova dva postupka nisu identična pa zato daju i veće mogućnosti u odnosu na izbor početnog materijala i masu uzorka koja ulazi u redukciju.

Uranijum i voda medjusobno reaguju po reakciji datoj jednačinom:

$$7U + 6H_2O \xrightarrow{t^\circ C} 3UO_2 + 4UH_3 \qquad (1)$$

Uranijumhidrid koji nastaje u reakciji na temperaturama iznad 25o°C raspada se na uranijum i vodonik, koji se iz reakcionog sistema odvodi u poznatu zapreminu aparature. U temperaturnom intervalu od 4oo-6oo°C prinos vodonika je kvantitativan.

Redukcija vode se izvodi tako što se uzorak vode mase m zamrzava u sudiću $S_1$ i evakuacijom (preko slavine s1) oslobadja vazduha a potom pušta (pri otvorenim slavinama s2 i s3 i zatvorenoj



Sl. 1

Aparatura za dobijanje i apsolutno merenje aktivnosti gasnih uzoraka tritijuma

slavini s1) da difunduje u vakuumu na zagrejane metalne opiljke uranijuma smeštene u kvarcnim cevima $U_1$ i $U_2$ dužine 15o mm i prečnika 15 mm strogo u grejnu zonu električnog grejača čija se temperatura reguliše promenljivim transformatorom i kontroliše termoparovima. Vodonik koji se oslobadja raspadanjem uranijumhidrida širi se u zapremini I i II do slavine s15. Završetak reakcije se kontroliše na zatvorenom živinom manometru $M_1$. Gas se zatim automatskom Toepler-ovom pumpom prebacuje (pri otvorenim slavinama s9 i s11 i zatvorenim slavinama s1o i s15) iz nedovoljno definisane zapremine I u poznatu zapreminu II. Kvantitativnost prebacivanja se kontroliše McLeod-ovim manometrom.

Merenjem pritiska (p) i temperature gasa (T) odredjuje se prinos dobijenog vodonika po jednačini:

$$K\ (\%) = \frac{M_{H_2O}}{m}\ \frac{V\ p}{R\ T}\ .\ 1oo \qquad (2)$$

gde je m masa uzorka vode, V zapremina gasa, $M_{H_2O}$ molekulska težina vode i R univerzalna gasna konstanta.

Pritisak razvijenog gasa se meri manometrom $M_1$ očitavanjem visine Hg-stuba pomoću katetometra dužine skale od 8o cm i preciznosti očitavanja o,1 mm. Za merenje temperature koriste se termoparovi. Elektromotorne sile na njima očitavaju se pomoću šestokanalnog pisača. Preciznost očitavanja je o,o2 mV. Za temperaturu gasa uzima se srednja vrednost pokazivanja termoparova razmeštenih u zapremini II. Temperatura gasa je sobna temperatura pošto vrlo brzo dolazi do izjednačenja. Greška u merenju temperature je manja od o,2°C. Zapremina dela aparature I je oko o,4 l a dela II oko o,2 l. Ona je odredjena "izotermskom" ekspanzijom gasa koja se pokorava jednačini idealnog gasnog stanja (Ar 99,5%) iz poznate zapremine Vk na datom pritisku $p_1$ (kalibracioni balon $B_1$) u nepoznatu zapreminu V, po jednačini:

$$V = Vk\ \left( \frac{p_1}{p_2}\ \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) + \Delta V \qquad (3)$$

gde je $p_2$ pritisak gasa u zapremini V+Vk posle izjednačenja, $T_1$ i $T_2$ temperature gasa pre i posle ekspanzije a $\Delta V$ korekcija za promenu zapremine u manometru. Greška u merenju zapremine gasa je o,2%. Prinos K = (1oo $\pm$ 1)%.

Redukcija vode pomoću cinka odvija se po reakciji koja je ireverzibilna i kvantitativna na temperaturama većim od 4oo°C:

$$Zn + H_2O \xrightarrow[600^\circ C]{} ZnO + H_2 \qquad (4)$$

Odmereni uzorci vode u zatopljenim kapilarama sa malim viškom iznad stehiometrijske količine degaziranog cinka u prahu stavljaju se u ampule. Dimenzije i oblik ampula su prilagodjeni dimenzijama suda $S_2$ i očekivanom pritisku razvijenog gasa na 600°C. Ampule se zatapaju na delu aparature IV, uz stalnu kontrolu vakuuma na Pirani-evom merilu (Pi). Posle izvršene redukcije u električnoj peći ampula se stavlja u sud $S_2$ u kome se posle degazacije razbija metalnom kuglicom pomoću magneta. Oslobodjeni vodonik se Toepler-ovom pumpom prebacuje u zapreminu II gde se odredjuje prinos gasa po jednačini (2).

Otvaranjem slavine s15 (pri zatvorenoj slavini s21) upušta se vodonik do potrebnog pritiska u deo aparature III, koji sadrži sistem detektora. Radni gas se preko slavine s21 dovodi u sistem iz rezervoara $B_2$ i $B_3$ i meša sa aktivnom komponentom pomoću magnetne mešalice M.

Deo sistema III je od metala. Sistem detektora D sastoji se od šest cilindričnih brojača grupisanih po tri sa istim dijametrom cevi, a različitim dužinama katode, i obratno. Dijametri su od 26 do 52 mm a dužine katode od 18o do 36o mm. Brojači su jednostavne konstrukcije i lako se mogu potpuno rasklopiti i ponovo sastaviti. Izradjeni su od mesinga, debljine zida 2 mm, anoda je od volframa 5o μ, a izolatori su od teflona. Predvidjeni su za pritiske do 3 At.

Elektronska oprema koja se koristi pretstavlja standardnu instrumentaciju za detektore u proporcionalnom režimu rada. Krive platoa brojača, i integralnih i diferencijalnih spektara impulsa, mogu se automatski snimati pomoću pisača, što olakšava odredjivanje optimalnih radnih uslova detektora i dovodjenje brojača istih dijametara u režim iste minimalne detektabilne energije /4/. Razlika u odbroju dva ovakva brojača daje (uz korekcije na mrtvo vreme i osnovnu aktivnost brojača) oko 99% vrednosti merene aktivnosti po $cm^3$ efektivne brojačke zapremine.

## S u m m a r y

AN APPARATUS FOR OBTAINING AND ABSOLUTE MEASUREMENT OF GASEOUS SOURCES OF TRITIUM. - An apparatus has been constructed

for obtaining gaseous sources of tritium by the reduction of tritiated water in metalic uranium and zinc in the temperature range 4oo-6oo° C with a quantitative hydrogen yield. Detailed description and characteristics of the apparatus are given.

The beta-dezintegration rate of tritium has been absolutely measured applying the Internal gas counting method.

REFERENCE:

1. Spernol A., Denecke B., Intern. J. appl. Rad. Isotopes, 15, 139, 195, 241 (1964)

2. Modes D., Koch H., Kernenergie 6, 538 (1964)

3. Cameron F.J., Payne R.B., Apparatus for concentration and measurement of low tritium activities, IAEA, Vienna, 1965

4. Mann W.B., Metrology of Radionuclides, Proc. Symp. Vienna, IAEA, Vienna, 196o, p. 3o7

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25.do 28.aprila 1972.

Vojvodić Vlaho

Institut za tehničku i medicinsku zaštitu

Beograd

# STATISTIČKA ZAKONITOST PROFESIONALNE EKSPOZICIJE JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU

Rezime: Raspodela ozračenosti ljudstva u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju je logaritamsko-normalna. Na osnovu ove zakonitosti zvedena je analiza obrade eksperimentalnih podataka. Analizirani su podaci iz Instituta "Boris Kidrič" Vinča i sa područja SR Bosne i Hercegovine. Rezultati ove analize pokazuju da su uslovi rada u Institutu "Boris Kidrič" zadovoljavajući i da na području Bosne i Hercegovine treba preduzeti efikasnije mere zaštite u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju.

## U v o d

Statistička raspodela doza u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju (za odredjeni vremenski period) je logaritamsko-normalna. Gale [1] je to ilustrovao na nekoliko primera. Edvarson i Schelin [2] su to pokazali za ekspoziciju ljudstva u doznom polju radioaktivnih padavina nuklearnih eksplozija. Logaritamsko-normalna raspodela javlja se u svim slučajevima, u koje spadaju i gore navedeni, gde su zadovoljeni uslovi centralne granične teoreme i gde je svaki slučajni priraštaj fizičkog fenomena direktno proporcionalan njegovom intenzitetu [3,4].

U ovom radu su na osnovu lagaritamsko-normalne raspodele u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju razradjene metode obrade dozimetrijskih podataka, izvedeni su neki praktični obrasci za službu dozimetrijske kontrole i prodiskutovani su podaci Instituta "Boris Kidrič" - Vinča [5,6] , kao i sa područja SR Bosne i Hercegovine [7]. Detaljan opis logaritamsko-normalne raspodele dali smo ranije [8].

## Obrada dozimetrijskih podataka o ekspoziciji ljudstva

Diferencijalna raspodela akumuliranih doza, za odredjeni vremenski period,u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju, je log-

sko-normalna:

$$f(D)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,S}\cdot\frac{1}{D}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln D-M}{S}\right)^2} \qquad (1)$$

a kumulativna

$$F(D)=\Phi\left(\frac{\ln D-M}{S}\right) \qquad (2)$$

gde su: D - akumulirana ekspcziciona doza koja se očitava sa kontrolnih dozimetara, M - matematičko očekivanje logaritma doze, S - standardna devijacija logaritma doze i $\emptyset(x)$ - integral verovatnoće.

Parametri M i S jednoznačno odredjuju funkcije (1) ili (2). Oni se odredjuju iz dozimetrijskih podataka na više načina. Pokazaćemo samo neke:

1. Odredi se srednja doza

$$\bar{D}=\frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}D_i \qquad (3)$$

i standardna devijacija

$$\sigma=\left[\frac{1}{n-1}\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(D_i-\bar{D}\right)^2\right]^{1/2} \qquad (4)$$

gde je $D_i$ vrednost akumulirane doze i-tog čoveka.

Zatim se pomoću D i $\sigma$ odredjuju parametri M i S

$$M=\ln\frac{\bar{D}^2}{\sqrt{\bar{D}^2+\sigma^2}} \qquad (5)$$

$$S=\left[\ln\left(1+\frac{\sigma^2}{\bar{D}^2}\right)\right]^{1/2} \qquad (6)$$

2. Parametri M i S mogu se odrediti metodom najmanjih kvadrata. U tom cilju formira se niz tačaka $(x_k, \varphi_k)$, gde su: $x_k = \ln D_k$, $D_k$ - kumulativna doza, $(D_1 \leq D_k)$, a $\varphi_k = F^{-1}(D_k)$ je inverzna funkcija funkcije (2). Zatim se u koordinatnom sistemu $(x, \varphi)$, metodom najmanjih kvadrata odredjuju koeficijenti prave a i b prave

$$\varphi=ax+b \qquad (7)$$

Lako je pokazati da koeficijenti a i b jednoznačno odredjuju parametre M i S

$$M=-\frac{b}{a} \qquad (8)$$

$$S=\frac{1}{a} \qquad (9)$$

3. Parametri M i S mogu se odrediti grafički tako da se na logaritamskom papiru verovatnoće nanose kumulativne frekvencije doza $F(D_k)\cdot 100$ i kroz ove tačke povuče jedna "logična prava" koja bi se najviše poklapala sa pravom koja bi se odredila po metodi najmanjih kvadrata. Presek ove prave sa horizontalom $F(D)\cdot 100 = 50\%$ odredjuje parametar M, a rastojanje na horizontali $F(D)\cdot 100 = 50\%$ od tačke M do preseka okomice spuštene iz tačke preseka horizontale $F(D)\cdot 100 = 84{,}134\%$ i povučene prave odredjuje parametar S.

Obrasci za praktičnu analizu

Službu dozimetrijske kontrole interesuju i sledeća pitanja: Kolike su verovatnoće prekoračen a godišnje akumuliranih doza većih od 5 i 25 rem i kolika je verovatnoća da je kumulativna doza manja od 0,5 rem. Osim toga, pomoću faktora dobrote raspodele akumuliranih doza treba oceniti da li su uslovi rada u konkretnoj profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju prihvatljivi sa stanovišta usvojenih normi. Na ova pitanja mogu se dobiti odgovori pomoću konkretne raspodele godišnje akumuliranih doza, koja ima oblik jednačine (2).

1. Verovatnoća prekoračenja doza veće od 5 rem je

$$P(D>5) = 1-\Phi\left(\frac{1{,}6094-M}{S}\right) \tag{10}$$

2. Verovatnoća prekoračenja 25 rem je

$$P(D>25) = 1-\Phi\left(\frac{3{,}1781-M}{S}\right) \tag{11}$$

3. Verovatnoća da doza od 0,5 rem nije prekoračena je

$$P(D<0{,}5) = \Phi\left(\frac{-0{,}6931-M}{S}\right) \tag{12}$$

4. Prodor raspodele doza u području $D>5$ definiše izraz

$$R = \int_5^{\infty} D\cdot f(D)\cdot dD \tag{13}$$

zamenom (1) u (13) dobija se

$$R = e^{M+\frac{S^2}{2}}\left[1-\Phi\left(\frac{1{,}6094-M-S^2}{S}\right)\right] \tag{14}$$

ili

$$R = \bar{D}\left[1 - \Phi\left(\frac{1{,}6094 - M - S^2}{S}\right)\right] \qquad (15)$$

iz čega se vidi da R predstavlja deo srednje doze $\bar{D}$ koja se nalazi u području D > 5. Dobrota raspodele je tim bolja što je R manje; na taj način definišemo faktor dobrote.

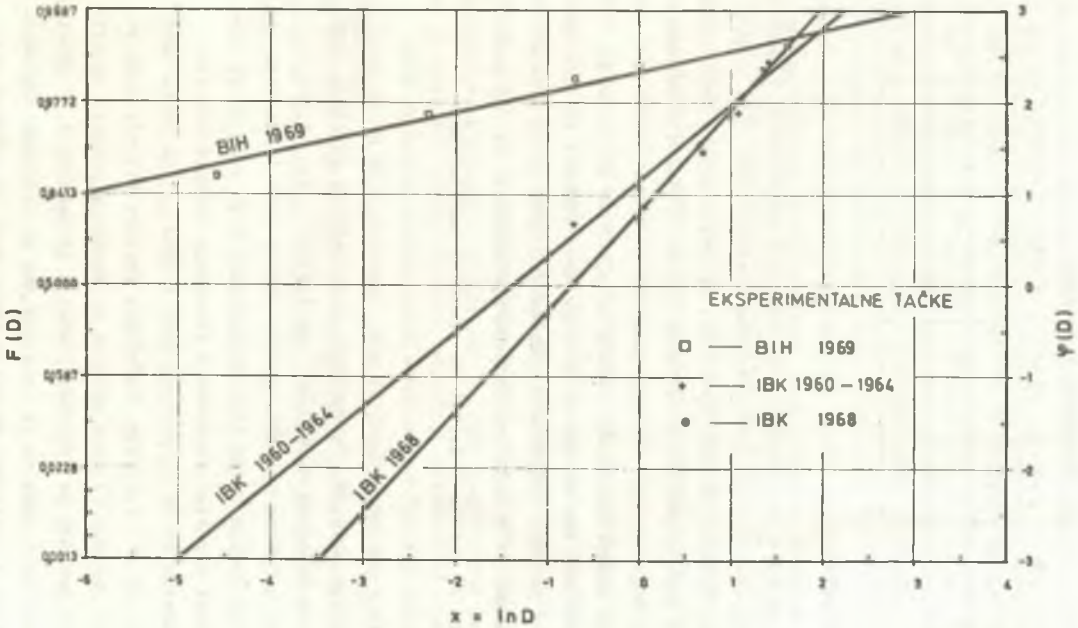
$$Q = \frac{1}{R} \qquad (16)$$

Obrada konkretnih dozimetrijskih podataka

Podaci o profesionalnoj ekspoziciji ljudstva dati su u literaturi [5, 6, 7]. Oni su svedeni na pogodan oblik i sumirani su u tabeli 1. Zatim su podvrgnuti napred iznetoj analizi, a rezultati su pokazani u tabeli 2. Parametri M i S odredjeni su metodom najmanjih kvadrata, a pomoću njih verovatnoće P(D > 5), P(D > 25) i P(D < 0,5), kao i faktor dobrote Q. Odgovarajuće prave, na logaritamskom papiru verovatnoće, tj. F(D)·100%, pokazane su na slici 1.

Tabela 1. Godišnja (kumulativna) akumulirana doza u Institutu "Boris Kidrič" - Vinča za period 1960 - 1964. god. (IBK 1960 - 1964), [5] i za period 1968. god. (IBK - 1968), [6] ; i na području SR Bosne i Hercegovine za period 1969. god. (BIH - 1969) [7].

| Kumulativna doza, $D_k$, (rem) manja od | | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x_k = \ln D_k$ | | -4,6 | -2,3 | -0,69 | 0 | 0,69 | 1,1 | 1,4 | 1,6 |
| IBK 1960-1964 | $F_k$ | - | - | 0,754 | 0,862 | 0,940 | 0,969 | 0,992 | 0,996 |
| | $\varphi_k$ | - | - | 0,69 | 1,09 | 1,56 | 1,88 | 2,4 | 2,6 |
| IBK 1968 | $F_k$ | - | - | 0,503 | 0,796 | 0,935 | 0,979 | 0,993 | - |
| | $\varphi_k$ | - | - | 0,01 | 0,83 | 1,49 | 2,0 | 2,4 | - |
| BIH 1969 | $F_k$ | 0,884 | 0,971 | 0,988 | 0,991 | - | - | - | 0,995 |
| | $\varphi_k$ | 1,20 | 1,89 | 2,25 | 2,40 | - | - | - | 2,60 |




SI.1. KUMULATIVNE RASPODELE DOZE ZA PODATKE IZ LITERATURE [5,6,7]

Tabela 2. Rezultati analize podataka iz tabele 1.

| Eksponirani | Parametar raspodele | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | S | P(D>5) | P(D>25) | P(D<0,5) | Q |
| IBK 1960-1964 | -1,36 | 1,21 | $7\cdot10^{-3}$ | $8,8\cdot10^{-5}$ | 0,71 | 18 |
| IBK 1968 | -0,74 | 0,915 | $5\cdot10^{-3}$ | $8,5\cdot10^{-6}$ | 0,52 | 28 |
| BIH 1969 | -10,51 | 4,51 | $3,5\cdot10^{-3}$ | $1,1\cdot10^{-3}$ | 0,985 | 1,45 |

Diskusija i zaključci

Teorija [3, 4] upućuje na činjenicu da raspodela ozračenosti ljudstva u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju mora biti logaritamsko normalna. Primeri iz literature [1, 2] ovu hipotezu potvrdjuju. Podaci, koji su pozajmljeni iz literature [5, 6, 7] takodje pokazuju vrlo dobro slag anje teorije i eksperimenata.
Manja odstupanja eksperimentalnih tačaka od pravi na sl. 1 imaju statistički karakter. Ako su uslovi merenja doze stalni, tj. ako je relativna greška merenja dozimetara konstantna, tada se sa povećanjem broja podataka za N puta ove fluktuacije smanjuju za $\sqrt{N}$ puta.

Analiza podataka iz tabele 2 dovodi do sledećih zaključaka:

U Institutu "Boris Kidrič" verovatnoća prekoračenja godišnje doze veće od 5 rem je u periodu 1960-1964 god. iznosila 0,7% da bi se u 1968. god. smanjila na 0,5%. Verovatnoća prekoračenja godišnje doze veće od 25 rem je smanjena od $8,8\cdot10^{-5}$ na $8,5\cdot10^{-6}$, tj. za oko 10 puta. Ako bi pri uslovima iz 1968. godine radilo 1000 ljudi tada bi u toku od oko 120 godina jedno lice akumuliralo dozu veću od 25 rem. Ovo se poboljšanje direktno odražava u povećanju faktora dobrote ozračenosti ljudstva od 18 (u periodu 1960 - 1964 g.) na 28 (u toku 1968. god.), tj. za oko 1,6 puta. Povećanje faktora dobrote može se objasniti na tri načina: 1) mere zaštite od zračenja postale su efikasnije, 2) obim poslova sa izvorima zračenja je smanjen i 3) poboljšane su mere zaštite i smanjen je obim poslova sa izvorima zračenja. Poznavaoci prilika u Institutu najbolje znaju koji je odgovor najverovatniji.

Raspodela ozračenosti ljudstva u profesionalnoj ekspoziciji jonizirajućem zračenju na području SR Bosne i Hercegovine u 1969. god. je nepovoljna, jer je verovatnoća prekoračenja godišnje doze veća od 25 rem oko $1,1 \cdot 10^{-3}$. Ako bi pri ovim uslovima radilo 900 ljudi tada je realno očekivati da će u proseku svake godine po jedno lice akumulirati ďozu veću od 25 rem. U poredjenju sa istim podacima za Institut "Boris Kidrič" u 1968 god. ovo je za oko 130 puta lošije. Zbog toga je i faktor dobrote ove raspodele tako mali, i iznosi 1,45, što je za oko 25 puta manji nego u Institutu "Boris Kidrič" za 1968. godinu. Iz ovog neposredno sledi da služba zaštite od zračenja, na području SR Bosne i Hercegovine, mora poduzeti efikasnije mere zaštite u cilju povećanja faktora dobrote raspodele ozračenosti ljudstva.

Može se postaviti pitanje sa kojim se faktorom dobrote neka raspodela ozračenosti ljudstva može smatrati prihvatljivom. Ovo pitanje ima niz aspekata (zdravstveni, socijalni, idr.) i zbog toga je teško dati kategoričan odgovor. U svakom slučaju poželjno je da faktor dobrote bude što veći. Iz praktičnih razloga on ne može biti beskonačan, jer svaka manipulacija sa izvorom zračenja nosi i odredjeni rizik, koji se ne može potpuno izbeći, ali se na njega može uticati preventivnim merama i propisima. Pa ipak kompromisno se može usvojiti da je kritični faktor dobrote raspodele ozračenosti ljudstva jednak 25.

Zahvalnost: Prijatna mi je dužnost da se zahvalim Dr M. Živadinoviću na korisnim sugestijama u koncepcijskom prilazu ovom radu i Mr R. Iliću na konkretnim diskusijama i komentarima pri razradi ove materije.

STATISTICAL DISTRIBUTION OF THE PROFESSIONAL EXPOSITION TO IONISATION RADIATION

Summary: The distrubution of the professional exposition to ionisation radiation is log-normal. An analysis of the experimental data was done on the base of the established statistical distrubution. The data from the Institute "Boris Kidrič" - Vinča, as wel as from the theritory of S.R. Bosna and Hercegovina were analysed. The obtained results prove a good work conditions at the Institute "Boris Kidrič" - Vinča, unless the theritory of S.R. Bosna and Hercegovina more precautions are to be undertaken, in order to improve work conditionals in the professional exposition to ionisation radiation.

Literatura

[1] Gale H.J.; Ann. Occup. Hyg.; Vol. 10; N° 1.1967

[2] Edvarsen K. and Schelin O.: A study on the usefulness of Initial Radiation Dosimetry; Radiation Protection on the Public in a Nuclear Mass Dissaster. Interlaken 1968.

[3] Smirnov N.V i Dunin-Barkovskij I.V: Kurs teorii verojatnostej i matematičeskoj statistiki dlja tehničeskih priloženij. "Nauka", Moskva 1969.

[4] Cramer H.: Mathematical Methods of Statistics. Princenton University Press. 1961.

[5] Mirić I. et al.: Personnel dosimetry for Radiation Accidents; IAEC, Vienna, 1965.

[6] Mirić P.: Privatno saopštenje (1969).

[7] Čerkez F. i Ibrulj A.: V simposijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja; N°/6/10. Bled 1970.

[8] Vojvodić V.: Naučno-tehnički pregled, Br. 1. 1970.

VI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

B.Glavič, D.Cotman
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# PRENOSNI MONITOR SGM 29

**Povzetek**

Delo z materijali, ki sevajo zahtevajo hitro, enostavno, zanesljivo, občutljivo in priročno meritev, ki naj pove s kako veliko dozo imamo opraviti. Razvili smo monitor s fotopomnoževalko, scintilacijskim kristalom (plastični zraku ekvivalentni scintilator) in logaritmičnim potekom skale. Si-diode so temperaturno skompenzirane z avtomatskim premikom delovnega praga. Aparat ima dva merilna območja mR za majhne dose in R za visoke dose. V prvem območju štejemo impulze v drugem pa merimo tok. Aparat je brez vseh neposrednih regulacij. Vsa univerzalnost uvršča monitor med boljše instrumente.

## U V O D

Človek ima iz leta v leto več in v vedno več poklicih opraviti z raznimi izvori jonizirajočega sevanja. Ker človekov organizem nima čutil, ki bi zaznamovala prisotnost jonizirajočih žarkov, si pomaga z napravami za ugotavljanje njihove prisotnosti in z napravami za merjenjenje jakosti njihovega sevanja. Monitor je namenjen za merjenje žarkov gama.

Z gama monitorjem lahko merimo žarke gama, ki imajo energijo večjo kot 50 KeV pri merilnem področju R/h oziroma 150 KeV pri merilnem območju mR/h.

Če merilni sondi monitorja odvijemo zaščitni pokrov lahko ugotavljamo tudi prisotnost žarkov beta, vendar samo tistih, ki imajo zadostno energijo, da prelete 0,4 mm debelo zaščitno steno iz aluminija. Posredno lahko ugotavljamo prisotnost žarkov beta s pomočjo žarkov gama, ki nastanejo kot zavorno sevanje pri absorpciji žarkov beta.

Skali obeh merilnih območij sta umerjeni s sevanjem radioaktivnega Co - 60 kar je na skali tudi označeno. Iz tehnič-

nih podatkov in iz prej navedenega lahko ugotovimo vsestransko uporabnost gama monitorja SGM 29 na različnih področjih:

Z njim lahko merimo jakost sevanja gama na ogroženih delovnih mestih.

Lahko poiščemo izvir žarkov.

S pomočjo odčitane jakosti sevanja in razdalje lahko izračunamo količino izotopa sevalca žarkov gama.

Z njimi lahko najdemo nevarne z izotopi onesnažene predmete.

Izračunamo lahko starost izotopa, če vemo njegovo začetno količino in njegov razpolovni čas.

Z njim lahko merimo jakost sevanja gama v okolici rentgenskih naprav itd.

Zaradi priročnosti je gama monitor nepogrešljiv pripomoček:

V zaščitnih oddelkih nuklearnih raziskovalnih organizacij.
V izotopskih in rentgenoloških laboratorijih znanstvenih ustanov.

Pri nuklearnih rekatorjih.

V ustanovah, ki se ukvarjajo z izotopsko in rentgensko defektoskopijo.

V civilni zaščiti.

V specializiranih vojaških enotah.

V kmetijskih raziskovalnih ustanovah ob uporabi iztopov.

Za pouk v specializiranih šolah itd.

## MERILNO OBMOČJE mR/h

To je merilno območje, pri katerem zaradi majhne jakosti sevanja gama nastane sorazmerno malo impulzov na anodi in je zato poprečni anodni tok tako majhen, da je težko merljiv. Zato pri tem merilnem območju merimo pogostost impulzov v časovni enoti, ki je tudi merilo za jakost sevanja.

Pogostost impulzov, ki so jih na delovnem uporu R 401 fotopomnoževalkine anode povzročili vpadli plazovi elektronov merimo s posebnim elektronskim vezjem imenovanim pogostostni

merilnik (Ratemeter). S tem merimo posredno koliko žarkov gama se je v scintilatorju absorbiralo v časovni enoti. Torej je število impulzov v časovni enoti že direktno merilo za intenziteto sevanja gama v mR/h (milirentgen na uro). V gama monitorju odgovarja: 10 mR/h = 3000 imp/sek.

Med plazovi elektronov, ki padajo na anodo fotopomnoževalke so tudi taki, ki povzročijo tako majhen električni impulz, da ta ne more aktivirati merilnega vezja. Ti majhni impulzi so posledica žarkov gama z energijo, manjšo kot 150 KeV. Gama monitor torej na območju mR/h ne meri žarkov gama, ki imajo manjšo energijo kot 150 KeV.

Merilno območje R/h

Pri tem merilnem območju je poprečen elektronski tok na anodi fotopomnoževalke že znaten in ga brez težav lahko merimo.

Elektronsko vezje pri tem merilnem območju je tako konstruirano, da s pomočjo regulatorja - pretvornika in visokonapetostnega usmernika pripeljemo na fotopomnoževalko tako veliko napetost, da je anodni tok konstanten in sicer znaša okrog $5.10^{-6}$A. Zato se pa močno spreminja visoka napetost in znaša, če je scintilator obsevan z 0,01 R/h, okrog 1000 V. Če pa je obsevan z 10 R/h je visoka napetost okrog 400 V.

Visoka napetost je torej merilo za jakost sevanja, ki mu je izpostavljen scintilator.

Tudi pri tem merilnem območju lahko merimo sevanje gama le do neke najmanjše energije, ki znaša okrog 50 KeV. Sevanje z manjšo energijo se pretežno absorbira v okencu detektorja.

## OPIS ELEKTRONSKIH VEZIJ

Celoten elektronski sistem se da razdeliti na posamezne več ali manj funkcionalno samostojne enote:

Merilna sonda
Pogostnostni merilnik
Usmerniki
Regulator - pretvornik
Merilni krog in
Kontrola baterij.

Medsebojna povezava posameznih enot je podana v bločni shemi.

Merilna sonda

Anodni delovni upor je sestavljen iz dveh delov. Upor R 401 predstavlja delovni upor za merilno območje mR/h. Na njem nastajajo impulzi, ki jih vodimo preko kondenzatorja C 402 k logaritmičnemu pogostnostnemu merilniku. Upor R 402 pa je delovni upor za območje R/h. Oba delovna upora sta narisana v načrtu "Regulator pretvornik".

Logaritmični pogostnostni merilnik

Impulzi iz fotopomnoževalke prihajajo na bazo transistorja T 201, ki je vezan kot emiterski ojačevalnik in služi za dosego visoke vhodne upornosti. Delovna točka transistorja je določeno z uporoma R 201 in R 202.

Nato impulze vodimo preko kondenzatorja C 201 na proženi blocking oscilator T 202, ki impulze oblikuje. Prožilni nivo blocking oscilatorja je določen z uporoma R 218 in R 204 ter diodo D 205. Ta dioda tudi kompenzira temperaturno odvisnost prožilnega nivoja. Na izhodu te stopnje dobimo enotno oblikovane impulze, ki trajajo 2,5 us in imajo amplitudo 12 V. Ti impulzi polnijo kondenzator C 202. Naboj, ki ga predstavljata kapacitivnost C 202 in razlika med impulzno amplitudo in napetostjo na integracijskem kondenzatorju, steže v integracijski kondenzator C 203. S tem se napetost na integracijskem kondenzatorju veča.

Dioda D 203 skrbi, da se kondenzator po vsakem impulzu sprazni. Dioda D 202 pa skrbi, da naboj iz integracijskega kondenzatorja ne odteka po nezaželeni poti.

Napetost na kondenzatorju C 203 zavzame tako vrednost, da sta dotok in odtok naboja enaka. Ta kondenzator se prazni preko diode D 204, ki s svojo logaritmično začetno karakteristiko povzroči, da napetost na kondenzatorju C 203 logaritmično narašča, če število vhodnih impulzov v sekundi narašča linearno. Glej skalo na sliki.

Z upori R 206 do R 210 je dosežena temperaturna kompenzacija logaritemske diode, ki je za te vplive precej občutljiva.

Kot elektronski voltmeter za merjenje napetosti na integracijskem krogu služi dvojni MOSFE transistor T 203 v diferencialni vezavi. Diferencialna vezava je znana po svoji neobčutljivosti za razne zunanje vplive. Z uporom R212 lahko interno nastavimo električno ničlo, z uporom R 214 pa končni odklon instrumenta. Merilni instrument I 501 je posredno vezan med oba kolektorja transistorja I 203 kadar je vključen na merilno območje mR/h.

Električni načrt logaritmičnega pogostnostnega merilnika je podan na sliki.

Za napajanje tega merilnika sta potrebni napetosti + 12 V in - 12 V, ki jih stabilizirane dobimo iz enote "usmerniki".

Regulator - pretvornik

Regulator-pretvornik služi dvema ciljema.

Na merilnem območju mR/h skrbi za čim bolj stabilno visoko napetost, na merilnem območju R/h pa skrbi, da je na fotopomnoževalko pritisnjena tako visoka napetost, da je anodni tok fotopomnoževalke konstanten.

Delovanje na območju mR/h.

Visoka napetost se s pomočjo uporovnega delilnika R 413, R 414 in R 403 zmanjša tako, da nastane na uporu R 403 tak padec napetosti kakršna je obratovalna napetost tlivke E 401. Razlika teh dveh napetosti je preko pretikala S 401 A, ki je v položaju mR/h, peljana na gate transistorja T 401. Če je visoka napetost prevelika, se transistor T 401 zapira, s tem pa se preko emiterskega ojačevalnika T 403 zapira tudi regulacijski transistor T 402. Na ta način se zmanjša napetost na gonilnem delu pretvornika in s tem tudi visoka napetost, kar zanko zaključuje.

Gonilni del pretvornika je sestavljen iz transistorjev T 404 in T 405, dvojni navitij 5 in 8 na transistorju Tr 401 ter uporov od R 409 do R 412.

Delovanje na območju R/h.

Padec napetosti, ki nastane na uporu R 402 in je posledica anodnega toka fotopomnoževalke je preko pretikala S 401 A, to je sedaj v položaju R/h, napeljan na gate transistorja T 401. Tu se primerja z zaporno napetostjo tega transistorja. Če je padec napetosti na uporu prevelik, se transistor T 401 zapira in s tem posredno vpliva na velikost visoke napetosti, kakor je opisano v prejšnjem odstavku, tako da se vzpostavi taka visoka napetost, ki povzroči tak anodni tok fotopomnoževalke, da na uporu R 402 nastane zopet primeren padec napetosti. Ta zanka skrbi, da je anodni tok pomnoževalke konstanten.

Električni načrt za regulator-pretvornik je podan, razpored elementov pa na sliki.

Merilni krog

To je pravzaprav le merilni krog za območje R/h, v njem pa je narisano tudi pretikanje merilnega instrumenta I 101. S pomočjo pretikal S 401B in S 401C ga pretikamo enkrat na ta merilni krog, drugič pa na elektronski voltmeter T 203 logaritmičnega pogostnostnega merilnika.

Že prej je bilo omenjeno, da se na fotopomnoževalki vzpostavi taka napetost, da je anodni tok konstanten. Zato je visoka napetost merilo za svetlobo, ki je nastala v scintilatorju pod vplivom sevanja. Ker je visoka napetost sorazmerna inducirani napetosti v navitju 1000 transformatorja Tr 401 je tudi vsaka napetost v katerem koli navitju tega transformatorja sorazmerna jakosti sevanja; tako tudi napetost inducirana v navitju 40 transformatorja Tr 401. Ker pa se visoka napetost zmanjšuje, če se jakost sevanja povečuje, je treba del predstavnika visoke napetosti odšteti od neke konstante napetosti, da dobimo naraščajoč odklon pri naraščajoči jakosti sevanja. Vse to je urejeno s pomočjo vezja, ki je prikazano v načrtu, njegovi sestavni deli pa na slikah.

Konstantno primerjalno napetost dobimo na Zenerjevi diodi D 503, ki je napajana iz tokovega generatorja T 501 in priključena na zaporedno vezani napetosti baterije in usmernika v podvojitvenem stiku. Podvojitveni usmernik je sestavljen iz navitja 40 na transformatorju Tr 401, diod D 501 in D 502 ter kondenzatorjev C 501 in C 502. Padec napetosti na uporu R 502, ki je sorazmeren visoki napetosti primerjamo z napetostjo na Zenerjevi diodi D 503. Razlika teh dveh napetosti je napeljana na merilni instrument kadar je pretikalo s 401 v položaju R/h. Upor R 502 služi za interno nastavitev točke 0,01 R/h, upor R 502 pa za nastavitev točke 10 R/h. Glej spodnjo skalo na sliki.

## Kontrola baterij

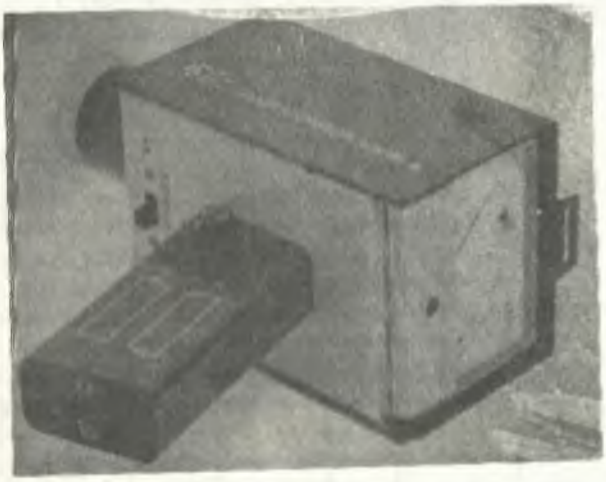
Da bi omogočili čim enostavnejšo in čim efektnejšo kontrolo nad stanjem baterij; smo v merilni instrument vgradili žarnico, ki ugasne, ko napetost baterij ali akumulatorjev doseže najnižjo dovoljeno napetost. Obenem pa ta žarnica tudi razsvetljuje skalo instrumenta, da lahko z njim merimo tudi v popolni temi.

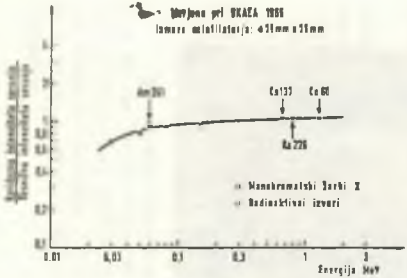
Kontrola baterij ali akumulatorjev je dosežena s posebnim vezjem, ki žarnico izklopi, koje napetost dosegla kritično vrednost. Električni načrt tega vezja je podan, njegovi elementi pa so vidni na sliki.

Ko doseže napetost na bazi transistorja T 601 vrednost 0,5 V, se ta transistor odpre. Istočasno se odpre tudi transistor T 602, tok steče čez žarnico E 601 in ta zagori. Ravno tako ta žarnica ugasne, ko pade napetost na bazi transistorja pod 0,5 V. Z uporom R 602 nastavimo točko vžiga oziroma ugasnitve žarnice.

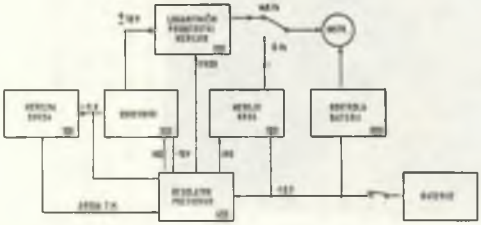
Summary

The work with radiactive materials demands a quick, simple, reliable and sensitive measurement of dose-rate. The described monitor uses a plastic air equivalent scintilacicn crystal and has a logarithmic scale. The logaritmic scale untiliares Si-diodes are temperature compensated by automatic adjustment of working range and the working level. The instrument has two measuring ganges, mR for small doses and for large doses. In the mR range we connt pulses and in the R range we measure the current. Handling of the aparates is quite uncomplicited. Because of the wide range of application this is a very usefull instrument.

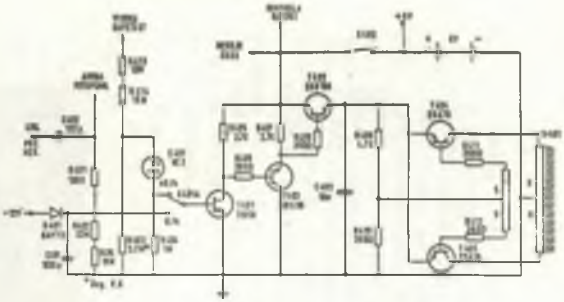




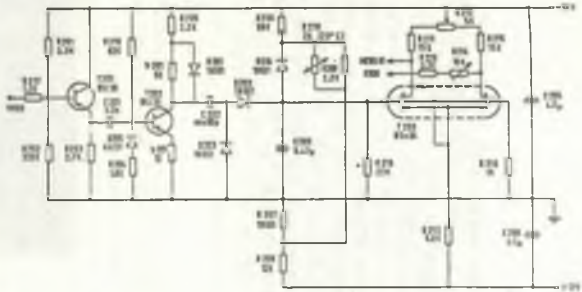

ENERGIJSKI POTEK ZA NE-105 PLASTIČNI, ZRAKU EKVIVALENTNI SCINTILATOR



INSTITUT „J. STEFAN" LJUBLJANA 9.70. GAMA MONITOR SGM 29 Blok shema



INSTITUT „J.STEFAN" LJUBLJANA 8.70 GAMA MONITOR SGM 29 Regulator pretvornik



INSTITUT „J.STEFAN" LJUBLJANA 8.70. GAMA MONITOR SGM 29 Logaritmični pogostostni meritnik

VI Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid, 25 do 28 aprila 1972

Damljanović D., Župunski M., Djantar K.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# MONITOR ZRAČENJA KOMO-TM

Rezime:
Opisan je monitor zračenja KOMO-TM koji koristi GM brojače. Predvidjen je za merenje kontaminacije površina, radiacionih polja i uzoraka. KOMO-TM je potpuno tranzistorizovan i napaja se iz dve baterije od 1,5 V koje mu omogućuju neprekidan rad 100-200 h zavisno od jačine zračenja.

## Opšti opis monitora

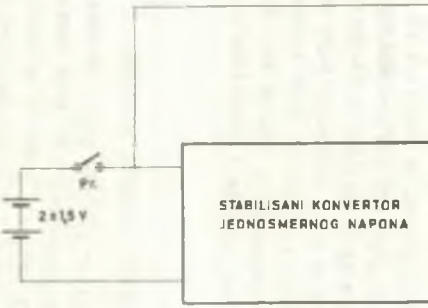
Monitor zračenja KOMO-TM je prenosni tranzistorski uredjaj za kontrolu i merenje raznih vrsta radioaktivnih zračenja. Sonda za detekciju zračenja sadrži GM brojač i spojena je kablom za uredjaj koji ima tri linearna opsega i jedan strujni merni opseg. U samom uredjaju je ugradjen još jedan detektor koji je uvek uključen i služi za slučaj vrlo jakih radijacionih polja. S obzirom na njegovu malu osetljivost, pri korišćenju sonde on nema znatnog uticaja na pokazivanje. Kada se koristi taj unutrašnji brojač sondu treba otkačiti.

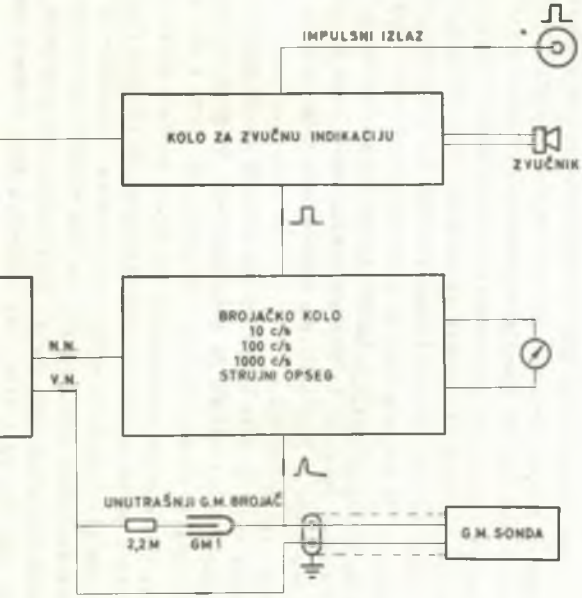
Korišćenjem odgovarajućeg GM brojača u sondi mogu se detektovati i meriti gama, beta i X zračenja. Ako se koristi GM brojač sa dovoljno tankim prozorom mogu se detektovati i alfa čestice.

Uredjaj i akustički indicira detektovane čestice.

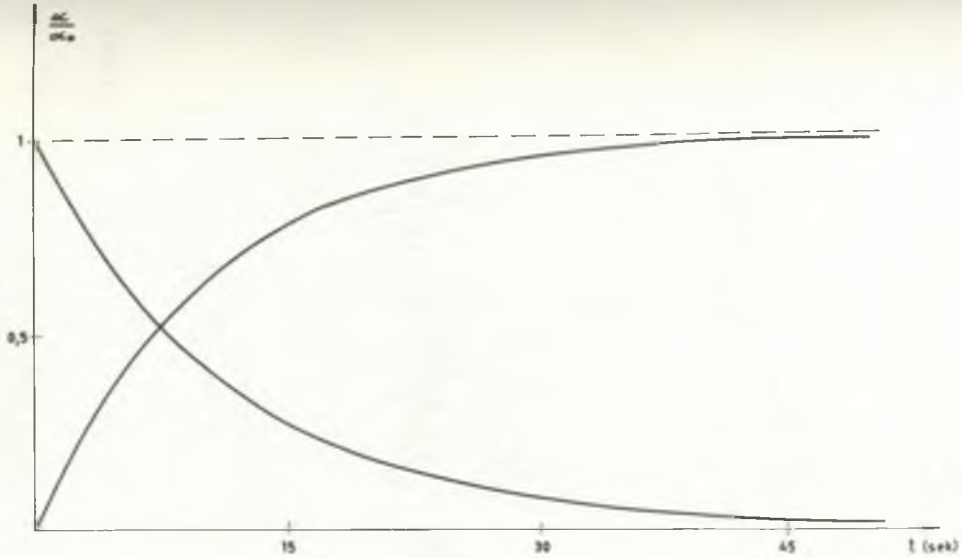
Pogodnim izborom sondi monitor KOMO-TM može da se koristi za:

- akustičku indikaciju iznenadne pojave zračenja u radnim prostorijama gde za tako nešto postoji mogućnost,

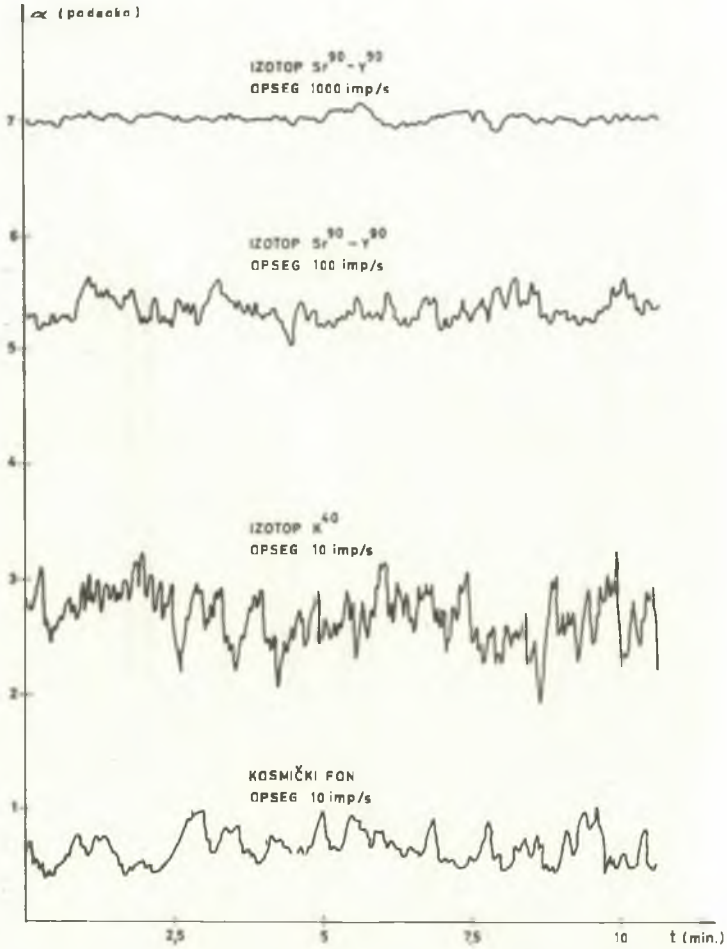

PK
2x1,5 V
STABILISANI KONVERTOR
JEDNOSMERNOG NAPONA



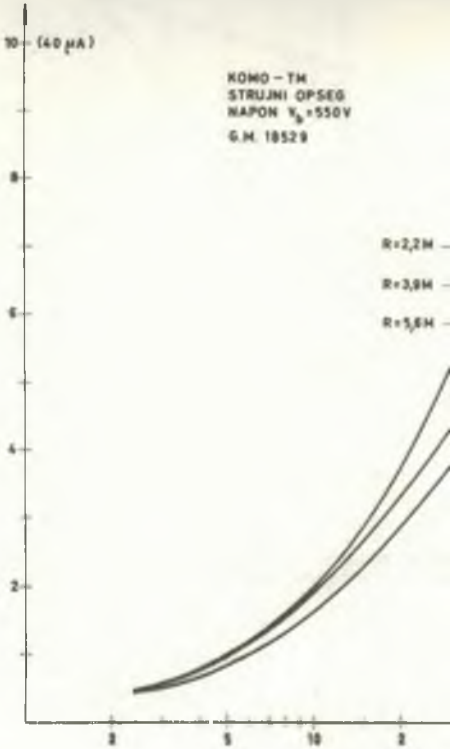

SL.1 BLOK ŠEMA KOMO – TM

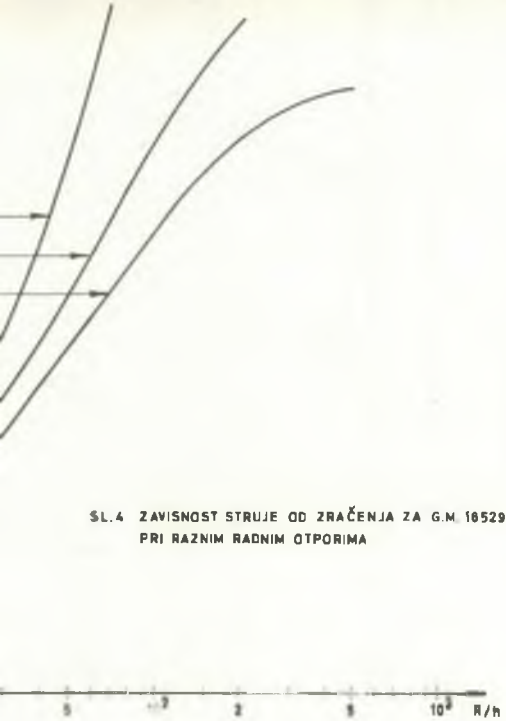



SL. 2 KRIVE USPOSTAVLJANJA I OPADANJA POKAZIVANJA INSTRUMENTA PRI NAGLOJ PROMENI ZRAČENJA

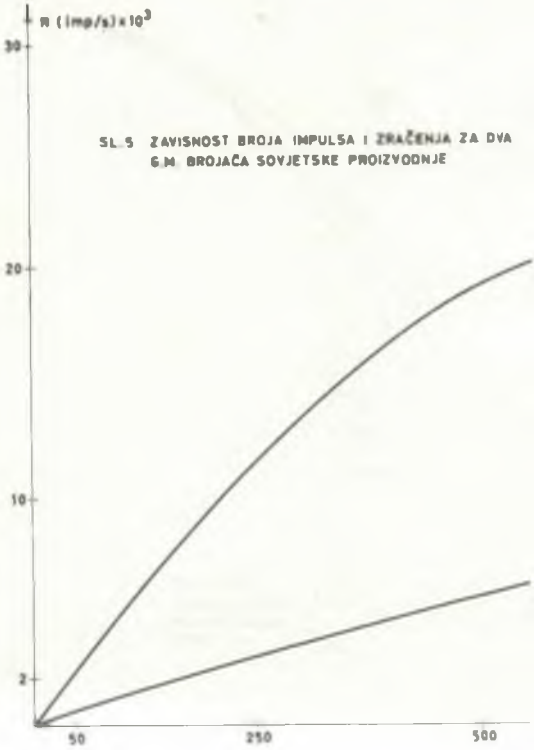



SL. 3 NEKOLIKO PRIMERA POKAZIVANJA INSTRUMENTA U FUNKCIJI VREMENA

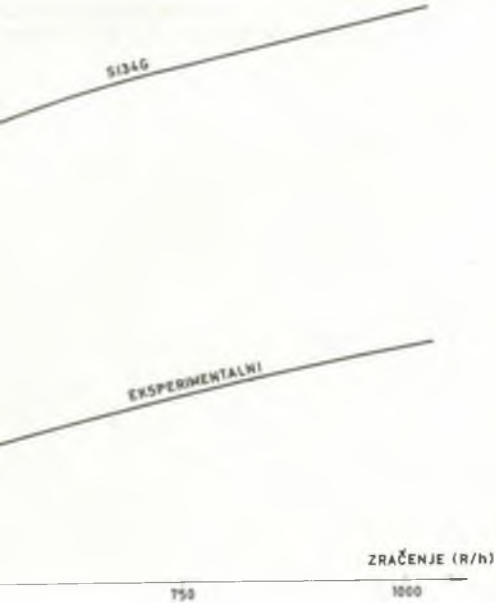

10 (40 μA)
8
6
4
2
KOMO – TM
STRUJNI OPSEG
NAPON $V_b$ = 550V
G.M. 18529
R=2,2M
R=3,9M
R=5,6M
2
5
10
2




SL.4 ZAVISNOST STRUJE OD ZRAČENJA ZA G.M. 18529
PRI RAZNIM RADNIM OTPORIMA




SL. 5 ZAVISNOST BROJA IMPULSA I ZRAČENJA ZA DVA G.M. BROJAČA SOVJETSKE PROIZVODNJE


SI34G
EKSPERIMENTALNI
ZRAČENJE (R/h)
750
1000

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mirić I., Mirić P.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# INTERKOMPARACIJA AKCIDENTALNIH DOZIMETARA ZA NEUTRONSKO I GAMA ZRAČENJE NA HPRR (SAD)

## REZIME

U maju 1971 god održana je druga internacionalna medjulaboratorijska interkomparacija akcidentalnih dozimetara na kojoj su učestvovale ekipe stručnjaka iz 12 zemalja, medju kojima i ekipa iz IBK. Interkomparaciju je organizovala MAAE u američkom nuklearnom centru ORNL, gde je kao izvor fisija poslužio "Health Physics Research Reactor" Simuliranje akcidenta vršeno je za tri različita spektra.

U ovom radu je dat kratak prikaz dozimetara i metoda koje je koristila ekipa iz IBK za odredjivanje doza zračenja. Pri kazani su dobijeni rezultati koji su uporedjeni sa do sada objavljenim vrednostima.

## UVOD

Precizno odredjivanje doza koje mogu da prime osobe u toku nuklearnih akcidenata veoma je teško, posebno što merni sistem namenjen za akcidentalne slučajeve mora da zadovoljava sledeće uslove:

- da ima široki spektar reagovanja, kako u pogledu energije zračenja tako i u pogledu doze i brzine doze,
- da bude "pasivni" sistem koji iziskuje minimalno održavanje u toku dužeg vremenskog perioda,
- da bude dovoljno jeftin.

Izradjen je veći broj dozimetrijskih sistema za koje se smatralo da su "najbolji kompromis" izmedju zahteva o preciznosti merenja i potrebe da sistem bude jednostavan i jeftin. Nije redak slučaj da se ovim sistemima meri doza sa greškom koja znatno prelazi

granicu od 25%.

Polazeći od ove činjenice američki stručnjaci su stali na stanovište da je neophodno izvršiti standardizaciju i interkomparaciju na medjunarodnom planu da bi se podaci o akcidentalnoj ekspoziciji mogli korelirati sa biološkim reagovanjem i ozračivanjem okoline.(1)

Navedene činjenice uslovile su da MAAE organizuje 1970 godine I interkomparaciju akcidentalnih dozimetara u francuskom centru Valduc(2), a maja 1971 god. II interkomparaciju akcidentalnih dozimetara u američkom nuklearnom centru ORNL.

Druga interkomparacija vršena je za zračenje koje može da se dobije oko reaktorskog postrojenja "Health Physics Research Reactor" (HPRR).

## OPIS EKSPERIMENATA

HPRR je nazaštićen, nemoderiran reaktorski uredjaj koji koristi kao gorivo obogaćeni uran legiran sa 10% Mo. Reaktor može da radi na stalnoj snazi od 0,1W do 10 kW, ili impulsno sa prinosom $10^{16}$-$10^{17}$ fisija po impulsu. U toku rada reaktor "visi" ispod držača u hali koja je konstruisana tako da je u njoj rasejanje zračenja malo(3).

Za interkomparativna merenja HPRR je radio impulsno sa prinosom $(0,63 - 1,00)\cdot 10^{17}$ fisija. Izvršeno je 4 ozračivanja: dva sa "primarnim" fisionim spektrom, a dva sa spektrom koji je deformisan zaštitnim zidom od 23 cm metil metakrilata ("Lucite"), odnosno 13 cm Fe (Lucite malo, a Fe jako omekšava "primarni" spektar neutrona).

U toku svih ozračivanja dozimetri su se nalazili u vazduhu (merenje polja zračenja) i na fantomima tipa Bomab (merenje ličnih doza), na rastojanju 3 m od centra reaktora.

## ODREDJIVANJE DOZA GAMA ZRAČENJA

U svim eksperimentima ekipa IBK je za merenje doza gama zračenja koristila film dozimetre i metodu koji se u IBK koriste za rutinsko odredjivanje individualno primljenih doza zračenja(4). Da bi se dobila prava vrednost gama doze izmerene vrednosti su korigovane zbog fotografskog efekta neutrona na film(5).

Ovaj efekt izražen procentno u odnosu na gama efekt osetno zavisi od polja u kojem se vrši merenje. On iznosi oko 30% za primarni spektar, oko 40% za spektar iza Fe zaštite i oko 10% iza plastične zaštite HPRR. Ove korekcije su nešto niže pri merenju ličnih doza.

## ODREDJIVANJE DOZA NEUTRONA

Procena spektra i odredjivanje doza neutrona vršeno je akcidentalnim neutronskim dozimetrom IBK koji se sastoji od niza aktivacionih detektora(6). Kao i kod svih aktivacionih metoda, glavni faktori koji utiču na individualni grešku u odredjivanju doza su: merenje aktivnosti detektora, aproksimacija spektra i interpretacija rezultata.

### Merenje aktivnosti detektora

Aktivnost Cu, Au, Mg i S detektora merena je kalibrisanim Philips 18506 GM brojačem. Aktivnost $In^{115m}$ je odredjena merenjem intenziteta fotopika $E_\gamma$ = 335 keV i kompariranjem sa standardom $^{51}Cr$. Izmerene aktivnosti detektora namenjenih za merenje polja zračenja za "primarni" neutronski spektar dati su u tablici 1. paralelno sa vrednostima koje su izmerila ekipa CEA(7).

Tablica 1

Broj aktiviranih atoma na $10^{10}$ atoma

| Detektor | Izotop | Naši podaci | Podaci CEA | Δ (%) |
|---|---|---|---|---|
| Cu nepokriven | $^{64}Cu$ | $5,47 \cdot 10^{-4}$ | $5,94 \cdot 10^{-4}$ | 7,9 |
| Cu pod Cd | $^{64}Cu$ | $1,48 \cdot 10^{-4}$ | $1,70 \cdot 10^{-4}$ | 13,0 |
| Au pod Cd | $^{198}Au$ | $3,57 \cdot 10^{-2}$ | $3,83 \cdot 10^{-2}$ | 2,6 |
| In | $^{115m}In$ | $2,15 \cdot 10^{-4}$ | $2,15 \cdot 10^{-4}$ | 0,0 |
| S | $^{32}P$ | $6,69 \cdot 10^{-5}$ | $7,81 \cdot 10^{-5}$ | 14,3 |

Kao što se iz tablice vidi odstupanja su u granicama 15%, što se može smatrati zadovoljavajućim ako se uzme u obzir da su rutinski vršena merenja niskih aktivnosti.

### Aproksimacija neutronskih spektara

Prilikom analize rezultata dobijenih ozračivanjem neutronskih dozimetara usvojeno je da se spektar brzih i intermedijarnih neutrona može predstaviti izrazom:

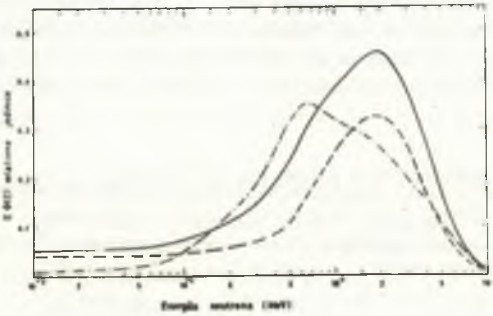
$$\int_{10^{-7}}^{10^{7}} \varphi(E)\cdot dE = m \int_{10^{-7}}^{1} dE/E + k \int_{0}^{10^{7}} e^{-\beta E}.E^{1/2}.dE \qquad (1)$$

gde su m i k faktori koji u spektru definišu udeo intermedijarnih i brzih neutrona; $\beta$ je faktor koji definiše oblik spektra brzih neutrona.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata dobijenih merenjem polja zračenja dobijeno je:

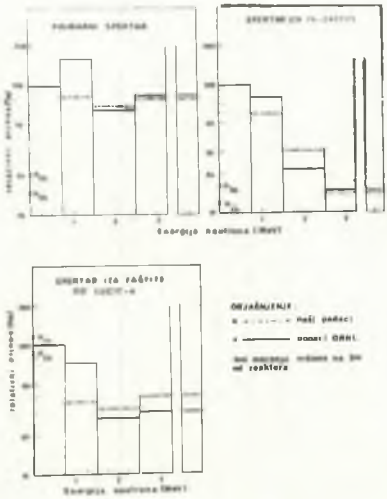
- za primarni spektar neutrona: m=0,050; k=0,77; $\beta$ =0,78
- za spektar iza zaštite od Lucita: m=0,128; k=0,73; $\beta$=0,76
- za spektar iza Fe zaštite: m=0,026; k=1,54; $\beta$=0,72 za $E_n < 2,5$ MeV, $\beta$ =1,28 za $E_n > 2,5$ MeV.

Primarni spektar grafički je prikazan na slici 1.,uporedo sa rezultatima francuskih i engleskih autora(7,8). Kao što se vidi naši podaci se dobro slažu sa francuskim, dok Dennis et al. spektar aproksimiraju krivom čiji je maksimum pomeren ka nižim energijama.



Slika 1. Primerni spektar neutrona na HPRR
———naši podaci; ----- podaci CEA;
-.-.-. podaci J.A.Dennis et al.

Na slici 2 histogramski su prikazani svi napred navedeni spektri, uporedo sa vrednostima koje se dobijaju merenjem američkim ORNL prag detektorskim sistemom(1). Može se zaključiti da se našom aproksimacijum dobija maksimum primarnog spektra pomeren ka nižim energijama. Za ostale spektre dobija se isti hod udela pojedinih energetskih oblasti neutrona; razlike u doprinosu mogu da se objasne greškama koje unose obe metode aproksimacije.



Slika 2. Histogramski prikaz spektra neutrona na HPRR

REZULTATI MERENJA

Prema dogovoru na koordinacionom savetovanju, ekperimentalno dobijene vrednosti spektara i doza neutrona i gama zračenja, učesnici su morali da prikažu po unapred dogovorenoj šemi. U tablici 2 prikazani su rezultati naših merenja paralelno sa vrednostima koje je izmerila ekipa iz CEA[7]. U tablici 3 naši rezultati su uporedjeni sa srednjim vrednostima flukseva i doza izmerenih 1970 god. na interkomparaciji organizovaboj od strane ORNL Dosar Facility (ovi podaci su normirani zbog različitih fisionih prinosa u toku ozračivanja)[9].

Kao što se iz tablica vidi, u svim slučajevima razlike izmerenih vrednosti doza su manje od 25%, što zadovoljava uslove postavljene za akcidentalnu dozimetriju[10].

Detaljnija analiza izmerenih neutronskih flukseva ukazuje da se na potpuno nepoznatim spektrima i pri nepoznatim uslovima ozračivanja može očekivati mnogo manja usaglašenost rezultata.

Tablica 2

IZMERENE VREDNOSTI FLUKSA I DOZA NA HPRR

| | Spektar | Polje zračenja | | | | | | | Lični dozimetar | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Doza neutrona (rad) | Gama doza (rad) | Fluks neutrona $(n \cdot cm^{-2}) \cdot 10^{10}$ | | | | | Doza neutrona (rad) | Gama doza (rad) |
| | | | | $n_{th}$ | >1 keV | >.75MeV | >1,5MeV | >2,5MeV | | |
| C.E.A. | Primarni | 375 | 45 | 0,94 | 16,2 | 9,72 | 6,17 | 3,41 | 400 | 77 |
| I.B.K. | " | 399 | 55 | 0,63 | 14,2 | 10,57 | 6,58 | 3,49 | 438 | 93 |
| Δ (%) | " | 6,4 | 22,2 | 33,0 | 10,0 | 8,0 | 6,2 | 2,3 | 9,5 | 20,8 |
| C.E.A. | Iza Fe | 124 | 15,2 | 0,63 | 7,51 | 2,62 | 1,19 | 0,53 | 142 | 31 |
| I.B.K. | " | 129 | 14,1 | 0,54 | 6,00 | 2,96 | 1,36 | 0,42 | 174 | 38 |
| Δ (%) | " | 4,0 | 7,2 | 14,2 | 20,1 | 13,0 | 14,3 | 20,8 | 18,4 | 23,8 |
| C.E.A. | Iza Lucita | 42 | 39 | 1,87 | 1,77 | 1,16 | 0,85 | 0,51 | 56 | 57 |
| I.B.K. | " | 56 | 46 | 1,43 | 2,46 | 1,27 | 0,85 | 0,47 | 58 | 65 |
| Δ (%) | " | 25,0 | 18,0 | 23,5 | 28,0 | 9,5 | 0,0 | 7,8 | 3,6 | 14,0 |

Tablica 3

KOMPARACIJA IZMERENIH VREDNOSTI FLUKSA I DOZE SA SREDNJIM VREDNOSTIMA OD 1970 GOD.

| | Spektar | Polje zračenja | | | | | | | Lična doza | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Doza neutrona (berg.g$^{-1}$) | Gama doza (rad) | Fluks neutrona (n.cm$^{-2}$).10$^{10}$ | | | | | doza neutrona berg.g$^{-1}$ | Gama doza rad. |
| | | | | $n_{th}$ | > 1 keV | > .75MeV | > 1,5MeV | >2,5MeV | | |
| 1970 god. | Primarni | 336 | 53 | 0,68 | 15,02 | 9,58 | 5,18 | 2,80 | 387 | 105 |
| IBK | " | 399 | 55 | 0,63 | 14,60 | 10,57 | 6,58 | 3,49 | 438 | 93 |
| Δ (%) | " | 9,0 | 3,8 | 7,3 | 2,8 | 10,3 | 26,0 | 24,6 | 13,2 | 11,4 |
| 1970 god. | Iza Fe | 135 | 14,6 | 0,44 | 6,91 | 3,35 | 1,26 | 0,33 | 148 | 43 |
| IBK | " | 129 | 14,0 | 0,54 | 6,00 | 2,96 | 1,36 | 0,42 | 174 | 38 |
| Δ (%) | " | 4,5 | 4,1 | 22,7 | 13,2 | 11,6 | 7,9 | 27,4 | 15,0 | 11,6 |
| 1970 god. | Iza Lucita | 52 | 41 | 1,74 | 1,88 | 1,23 | 0,76 | 0,41 | 55 | 62 |
| IBK | " | 56 | 46 | 1,43 | 2,45 | 1,27 | 0,85 | 0,47 | 58 | 65 |
| Δ (%) | " | 7,7 | 12,2 | 17,8 | 30,9 | 3,3 | 11,8 | 14,6 | 5,5 | 4,8 |

Odgovor na pitanje koja od izmerenih vrednosti se u tom slučaju može uzeti kao merodavna, daće verovatno sredjeni rezultati posle izvršene predvidjene serije interkomparacija.

## RESUME

The second IAEA intercomparison of nuclear accident monitoring systems was held in May 1971 in ORNL, Oak Ridge (USA). The ORNL Health Physics Research Reactor was used as the fission source. Three different spectra were used to simulate nuclear accidents.

In this paper is given a short description of dosimeters and methods used by the participants from the Boris Kidrič Institute. The obtained dosimetric results are represented and compared with other published results.

## BIBLIOGRAFIJA

1. Auxier J., "Nuclear Accident Dosimetry Systems", IAEA, Vienna, (1970).
2. Mirić P. et al., V simp. Jugosl. društva za radiološku zaštitu", Bled, Nr.23 (1970)
3. Auxier J., Health Physics, 11, 89 (1965)
4. Mirić I. et al., "Personnel Dosimetry for Radiation Accidents", p.597, IAEA, Vienna (1965)
5. Prokić M., V simp. Jugosl. društva za radiološku zaštitu, Nr 3/15, Bled (1970)
6. Mirić I. et al., V simp Jugosl. društva za radiološku zaštitu, Nr 3/14, Bled (1970)
7. Bricka M. et al. Izveštaj sa II interkomparacije u SAD, interna publikacija
8. Boot S.J. et al ., AERE, UK, private communication
9. Haywood F.F."1970 intercomparison of Nuclear Accident Dosimetry Systems at the ORNL", interna publikacija
10. "Nuclear Accident Dosimetry Systems", Proc.of Panel,p.181, IAEA (1970)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

M.Mihailović
Medicinski fakultet
Univerza u Ljubljani

V.Kosi
Hemiski institut "Boris Kidrič"
Ljubljana

Lidija Sedej
Medicinski fakultet
Univerza u Ljubljani

# TERMOLUMINESCENTNI EMAJLI

Abstrakt

Razvijeno je oko trideset vrsta termoluminescentnih emajla te ispitane njihove dozimetrske osobine. U sledećem će biti prikazane osobine šest različitih vrsta TL emajla. Neki od njih imaju dobre osobine. Imaju jednostavnu krivu sjaja. Linearni su do $5.10^{4}$ Rad $Co^{60}$ $\gamma$ doze.

Radjeni su eksperimenti sa zagrevanjem dozimetra pre ozračivanja na temperature 200°C, 260°C, 320°C te 400°C. Osetljivost boroalumino silikotnog stakla sa litijumom zavisi od temperature zagrevanja pre ozračivanja. Medjutim, emajli boroalumino silikatnog tipa bez litija, ali sa zatopljenimi zrncima litijevog silikata su neosetljivi na temperaturu. Ispitivan je uticaj zagrevanja pre ozračivanja na temperaturi 260°C i 400°C na fading.

Uvod

U našim ranijim radovima (1,2) upotrebljavali smo TL boroalumino silikatno staklo kao sredstvo pomoću kojega smo termoluminescentni prah $CaF_2$:Mn vezali za srebrnu pločitu. Ovi dozimetri od $CaF_2$:Mn prevučeni emajlom imaju dosta prednosti. Sa njima se lako manipuliše, mogu reproducibilno da se zagrevaju bilo direktno ili indirektno, sa njima nema problema oko pregrejavanja. Oni su bili linearni od $5.10^{-2}$ Rad do $10^5$ Rad $Co^{60}$ $\gamma$ doze, bili su energisko zavisni u intervalu od 20 KeV do 140 KeV, pokazivali su fading od oko trideset procenata u prva tri dana posle ozračivanja. U sadašnjim ispitivanjima koncentrisali smo se na razvoj TL emajla sa boljim dozimetrskim osobinama. Ispitivali smo boroalumino silikatna stakla sa litijumom i bez litijuma. Neki od novih TL emajla zadržavali su sve dobre osobine starog emajla. Pored toga imaju jednostavnu krivu sjaja samo sa jednim vrhom.

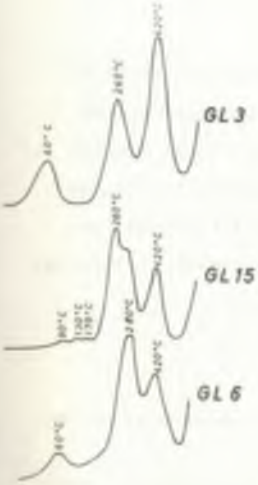
U sledećem prikazačemo nešto rezultata o uticaju zagrevanja pre ozračivanja (u daljem: prethodnog zagrevanja) na fading.

U svim eksperimentima meren je bio vrh krive sjaja. Dozimetri su zagrevani strujom koja je prolazila kroz srebrnu pločicu. Ciklus zagrevanja je trajao 30 sekundi. Brzina zagrevanja je bila $18,0^{o}C/s$.

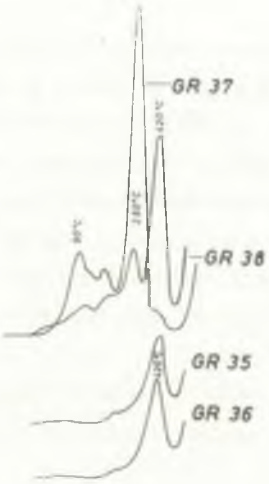
2. Termoluminescentni emajli

U sledećem će biti prikazana dva tipa TL emajla koji se razlikuju po hemiskom sastavu. TL emajl tipa GL je napravljen od boroalumino silikatnog stakla sa litijumom kao staklotvornom komponentom. Ovaj tip će biti pretstavljen sa primercima GL 15, GL 3, GL 6. Primerci GL 6 i GL 3 nemaju aluminijumovog oksida, imaju takodje različiti sadržinu alkalnih i zemnoalkalnih komponenata. Drugi tip, nazvačemo ga tip GR, je napravljen od boroalumino sili-

katnog stakla bez litijuma ali sa utopljenim zrncima litijumovog silikata (GR 37) ili litijumovog silikata sa $B_2O_3$ (G 35, GR 36, GR 38).




Sl. 1 a
Krive isijavanja
TL emajla tipa GL




Sl. 1 b
Krive isijavanja
TL emajla tipa GR

Svi emajli su bili napravljeni od p.a kemikalije u reakciji gde su sve komponente bile zagrejane na vazduhu na 1100° - 1300°C u platinskom sudu. Kada se otopio emajl je bio istresen na platinsku ploču i ohladjen. Posle toga bio je samleven, prosejan i masa od 80 mg stavljena u udubljenje na srebrnoj pločici. Emajli tipa GL su bili zagrejani do 700 - 850°C dok se nisu otopili. Emajli tipa GR imaju jednu teško topljuvu komponentu. Oni su bili samleveni do veličine zrna od 0,2 - 0,5 mm, pomešani sa neaktivnim, lako topljivim emajlom koji se topi na oko 750°C. Većina dozimetara je bila otoplena u argonskoj atmosferi. Efektivni atomski brojevi

emajla GL 15, GR 35, GR 36, GR 37 su 12,9, 1o,3, 11,4, 9.96.

Do sad nije bilo pokušaja da se identifikuje aktivator u TL emajlima.

3. Osobine dozimetara od TL emajla

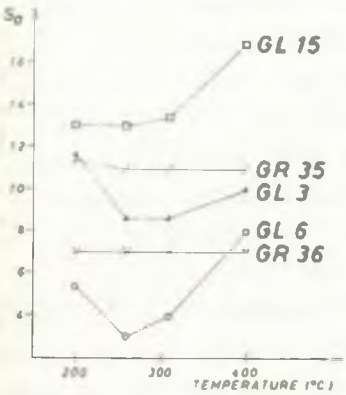
TL emajli daju mogućnost da se konstruišu različite vrste TL dozimetara. Dozimetri mogu da se zagrevaju sa ugradjenom grelnom žicom. Za indirektno sagrevanje, svi dozimetri mogu da se naprave u obliku tablete makoje veličine, sa srebrnim nosačem ili bez njega. Dozimetri sa srebrnim nosačem imaju veoma dobre toplotne osobine. Emajli su dobro prilepljeni za srebro koji je dobar provodnik, tako da se toplota uniformno siri po celoj površini.

3.1. Osetljivost, linearnost i supralinearnost

Ispitivani su osetljivost, linearnost i supralinearnost na doze.

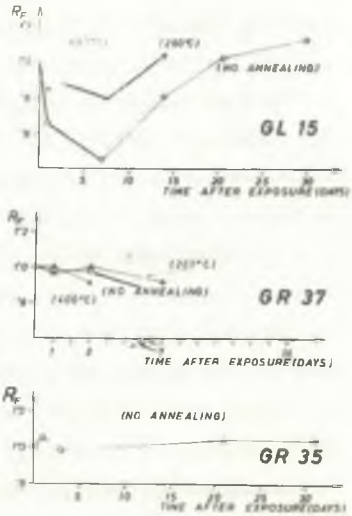
Osetljivost TL emajla za jednaku $\gamma$- dozu sa jednostavnom krivom sjaja su manje od onih sa komplikovanom krivom sjaja. Linearnost je bila merena od o.5 Rad do 25.o Rad na filtriranom izvoru x - zraka i od 15 Rad do $5.1o^4$Rad na izvoru $Co^{6o}$ $\gamma$ - zraka. U ovom intervalu supralinearnost je opažena samo na jednom TL emajlu.

Da bi se odredio uticaj temperature zagrevanja na osetljivost dozimetara napravljeni su eksperimenti sa prethodnim zagrevanjem na temperaturi od 2oo$^o$C, 26o$^o$C, 32o$^o$C te 4oo$^o$C. Dozimetri su bili zagrejani na odredjenoj temperaturi u toku jednog sata, zatim ozračeni sa 6 R x - doze, te izmereni. TL odgovor za svaki dozimetar je bio uporedjen sa odgovorom posle standardnog pražnenja zagrevanjem na 36o$^o$C u toku 5 minuta.




Sl. 2

Uticaj temperature prethodnog zagrevanja na osetljivost emajla $S_a$ = odgovor posle zagrevanja na datoj temperaturi/ odgovor posle standardnog pražnenja.




Sl. 3

Efekat prethodnog sagrevanja na 260°C i na 400°C na fading. Odnos $R_f$ = odgovori u različim vremenima posle ozračivanja/ odgovor neposredno posle ozračivanja.

Rezultati su pokazani na sl. 2. Dve grupe dozimetara se različito ponašaju. Osetljivost emajla tipa GL (GL 6, GL 15, GL 3) se priličnc menja sa temperaturom, pri čemu je bila najmanja na temperaturi oko 260°C. Sa druge strane, emajli tipa GR, i to GR 35 su nezavisni od temperature sagrevanja.

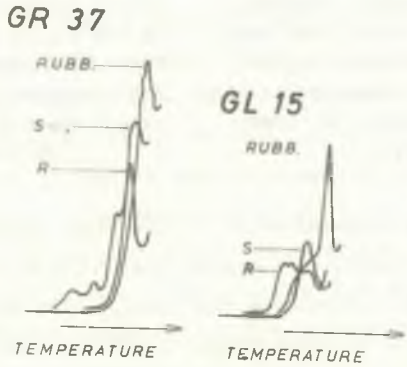
### 3.3. Feding

Srazmerno veliki feding kod naših starih dozimetara od $CaF_2$:Mn prekrivenim emajlom bio je razlog, da smo nastavili dalja ispitivanja

TL emajla. Ispitivanja fedinga TL emajla su pokazala, da 1) Kod nekih TL emajla kriva fadinga ima oblik koji je drugačiji od očekivanog, te 2) prethodno zagrevanja dozimetara utiče na feding.

U ispitivanju smo usvojili sledeći eksperimentalni postupak. Dozimetri su bili zagrejani u peči u toku 5 minuta na 36o°C, te ozračivani na 6 R ad x-doze, ostavljeni u temi za vreme od 1, 3, 7, te 14 dana, i izmereni posle svakog vremenskog intervala.

Da bi se dobio uticaj prethodnog zagrevanja dozimetara na feding, dozimetri su bili zagrejani u toku 1 sata na 26o°C, ozračeni x dozom i zatim tretirani na način koji je opisan ranije. Isto je bilo ponavljeno prethodnim zagrevanjem na 4oo°C. Rezultati su dati na sl. 3 (krive 26o, 4oo). Na emajle tipa GR, izgleda, da zagrevanje pre ozračivanja nema uticaja. Medjutim, prethodno zagrevanje znatno smanjuje "nenormalni" fading kod dozimetara tipa GL.




Sl. 4

Krive isijavanja koje nisu izazvane zračenjem (S - izazvane trešenjem, Rubb - izazvane trljanjem pamučnom tkaninom), te krive isijavanja posle ozračivanja sa 3oo mRad γ doze.

3.4. Termoluminescencija koja nije prouzrokovana zračenjem

Termoluminescencija koja nije prouzrokovana zračenjem pojavljuje se u oba tipa TL emajla, u GR te u GL tipu. Ona može da se prouzrokuje tresenjem, te trljanjem. Oba vrha su na visoko temperaturnom delu krive. Nalaze se na različitim mestima što zavisi od toga kako su prouzrokovani. Njihov relativni položaj kao i kriva sjaja za 3oo mRad $Co^{60}\gamma$ doze za dozimetar GL 15 i GR 37 može da se vidi na sl. 4. Oblik njihove krive isijavanja se razlikuje od oblika koji se dobije posle ozračivanja.

Postojanje termoluminescentnog odgovora koji nisu izazvani zračenjem, ograničuje merenja niskih doza. Donja granica za $\gamma$-doze ide od o.15 Rad do 3o Rad za različite vrste TL emajla.

3.5. Energiska zavisnost

Energiska zavisnost dozimetara od emajla je bila merena pod uslovima srednje i jake filtracije. Svi dozimetri pokazuju energisku zavisnost u intervalu od 22 $KeV_{ef}$ do 12o $KeV_{ef}$.

4. Diskusija

TL emajle smo sistematsko ispitivali.

4.1. Posmatrajući rezultate naših ispitivanja možemo reči, da je moguće napraviti TL emajl sa dobrim dozimetrskim osobinama. Svi dozimetri tipa GR 35 i GR 36 imaju jednostavnu krivu isijavanja, linearni su sa dozom. Postoje još dve osobine dozimetara tipa GR 35 i GR 36. (1) Dozimetri proizvedeni u jednoj seriji ne razlikuju se mnogo po osetljivosti. (Ostali tipovi dozimetara koje smo proizveli razlikuju se po osetljivosti do 3o %) ii) Oblik krive isijavanja je stabilan pod svim uslovima ozračivanja. To nije osobina svih TL emajla. Kod nekih se menja relativna visina vrhova kada su ozračeni različitim energijama.

Za sada je osetljivost za male doze srazmerno mala.

4.2. Uticaj prethodnog zagrevanja na fading je primečen kod svih TL emajla. Pokazalo se da feding može da se smanji ako se izabere pravi način prethodnog zagrevanja. Potrebna su dalja istraživanja.

Summary

About thirty variaties of TL enamels have been developed and their dosimetric properties investigated. Some of them have favourable dosimetric properties. They have a simple glow curve and an linear up to $5.10^4$ Rad $Co^{60}$ $\gamma$ - ray exposure.

The effect of pre-irradiation annealing at 200°C, 260°C and 400°C on sensitivity and fading has been studied. The results showed that fading can be reduced by choosing proper pre-irradiation annealing procedure. Further investigations are needed.

Bibliografija

1. M.Mihailović,et all
Phys.Med.Biol., Vol.12. No3, 395, 1967.
2. M.Mihailović
Proceedings of Symposium on Solid State and Radiation Detectors, 1966.

Teh.kapetan I klase, dipl.elektroinženjer
MIHAILOVIC SRBISLAV
Školski centar ABHO, Kruševac

# RADIOLOŠKE VELIČINE I JEDINICE KOJE SE KORISTE U RATNOJ RADIOLOŠKOJ DETEKCIJI I DOZIMETRIJI

U radu su proradjene sledeće radiološke veličine i jedinice, koje se koriste u ratnoj radiološkoj detekciji i dozimetriji: aktivnost, gustina protoka čestica ili kvanata nuklearnog zračenja, apsorbovana doza, intenzitet zračenja, brzina apsorbovane doze, ekspoziciona doza i brzina ekspozicione doze. Svaka radiološka veličina je definisana, obradjene su jedinice po medjunarodnom sistemu jedinica i specijalne jedinice. Naglašene su razlike u korišćenim nazivima pojedinih radioloških veličina i dati su predlozi najpogodnijih naziva.

Aktivnost je jedna od osnovnih karakteristika radioaktivnih izvora. Gustina protoka čestica ili kvanata nuklearnog zračenja i intenzitet zračenja karakterišu protok čestica i protok energije zračenja. Preko dozimetrijskih veličina /apsorbovana doza, ekspoziciona doza, brzina apsorbovane doze i brzina ekspozicione doze/ se izražavaju osnovne karakteristike nuklearnih zračenja sa stanovišta njihovog uzajamnog dejstva sa materijom.

## AKTIVNOST

Aktivnost /A/ je jednaka broju radioaktivnih raspada koji se dese u radioaktivnom izvoru u jedinici vremena.

$$A = \frac{dN}{dt} \qquad /1/$$

gde je: - dN broj atoma raspadnutih za vreme dt.

Jedinica aktivnosti, po medjunarodnom sistemu jedinica je raspad u sekundi /1/s/. Medjutim, u praksi se uglavnom koristi specijalna jedinica, kiri /Ci/. Jedan kiri je aktivnost radioaktivnog

izvora u kome se svake sekunde desi $3,7 \cdot 10^{10}$ raspada /1Ci=$3,7 \cdot 10^{10}$ raspada /s/. Pošto je aktivnost od jednog kirija vrlo velika, u praksi se često koriste i jedinice, milikiri /mCi/ i mikrokiri /$\mu$Ci/.

Aktivnost kao radiološka veličina karakteriše brzinu raspada odredjene količine radioaktivnog izotopa, tj. nekog radioaktivnog izvora. Medjutim, u opštem slučaju broj raspadnutih jezgara nije jednak broju, pri tome emitovanih, naelektrisanih čestica ili gama kvanata. Za gama emitere broj gama kvanata je jednak broju raspada samo u tom slučaju kada se pri svakom raspadu emituje jedan gama kvant. Da bi se povezala aktivnost izotopa sa brojem emitovanih čestica ili gama kvanata, treba znati šemu raspada izotopa.

Aktivnost je proporcionalna broju radioaktivnih atoma koje sadrži izvor u datom trenutku. Zbog toga aktivnost karakteriše radioaktivni izvor i sa količinske strane.

Pri radioaktivnom raspadu iz jezgra se emituju alfa, beta ili gama zraci. Aktivnost i jedinice aktitnosti ne mogu da karakterišu promene u prostoru pod dejstvom radioaktivnog zračenja.Zbog toga je neophodno definisanje i korišćenje i drugih radioloških veličina.

Kao mera stepena radiološke kontaminacije hrane i vode u ratnoj radiološkoj detekciji i dozimetriji se koristi specifična aktivnost. Kao specijalne jedinice specifične aktivnosti se koriste za hranu raspad u minuti po gramu /raspad/min.g/ i mikrokiri po kilogramu /$\mu$Ci/kg/, za vodu raspad u minuti po mililitru /raspad/min.ml/ i mikrokiri po mililitru /$\mu$Ci/ml/ i za površinsku kontaminaciju raspad u minuti po santimetru kvadratnom /raspad/min.$cm^2$/ i mikrokiri po santimetru kvadratnom /$\mu$Ci/$cm^2$/.

## GUSTINA PROTOKA ČESTICA ILI KVANATA NUKLEARNOG ZRACENJA

Gustina protoka čestica ili kvanata nuklearnog zračenja /$\varrho$/ je veličina jednaka odnosu broja čestica ili kvanata nuklearnog zračenja, koji ulaze u jedinici vremena u elementarnu sferu i poprečnog preseka te sfere.

$$\varrho = \frac{dN}{dt \cdot dS} \qquad /2/$$

gde je: dN - broj čestica ili kvanata koji ulaze u elementarnu sferu poprečnog preseka dS za vreme dt.

U specifičnom slučaju kada je zračenje umereno, pod gustinom protoka čestica ili kvanata se podrazumeva broj čestica ili kvanata koji pada u jedinici vremena na jedinicu površine,postavljene normalno na pravac rasprostiranja čestica ili kvanata.

Jedinica gustine protoka čestica ili kvanata je u MKS sistemu broj čestica ili kvanata po kvadratnom metru u sekundi /$1/m^2 \cdot s$/, a u CGS sistemu broj čestica ili kvanata po kvadratnom santimetru u sekundi /$1/cm^2 \cdot s$/.

Umesto punog naziva medjunarodna komisija za radiološke veličine i jedinice /ICRU/ preporučuje skraćeni naziv za ovu veličinu: gustina protoka.

## INTENZITET ZRAČENJA

Intenzitet zračenja /I/ je veličina jednaka odnosu energije nuklearnog zračenja koje ulazi u elementarnu sferu u jedinici vremena i površine poprečnog preseka te sfere

$$I = \frac{dE}{dS \cdot dt} \qquad /3/$$

gde je: dE - energija nukleamnog zračenja koje ulazi u sferu poprečnog preseka dS za vreme dt.

U specifičnom slučaju kada je zračenje usmereno, pod intenzitetom zračenja se podrazumeva energija koju zračenje prenosi u jedinici vremena kroz jedinicu površine koja stoji normalno na pravac rasprostiranja zračenja.

Jedinica intenziteta zračenja je u MKS sistemu džaul po kvadratnom metru u sekundi /$J/m^2 \cdot s = W/m^2$/, a u CGS sistemu erg po kvadratnom santimetru u sekundi /$erg/cm^2 \cdot s$/.

Za intenzitet zračenja medjunarodna komisija ICRU preporučuju nov naziv: gustina protoka energije.

## APSORBOVANA DOZA

Apsorbovana doza nuklearnog zračenja /Da/ je veličina jednaka energiji bilo koje vrste nuklearnog zračenja koja se apsorbuje u jedinici mase ozračene materije

$$D_a = \frac{dE}{dm} \qquad /4/$$

gde je: dE - deo energije nuklearnog zračenja apsorbovan u masi dm.

Ukoliko je nuklearno zračenja ravnomerno rasporedjeno po celoj masi ozračene materije može se napisati

$$D_a = \frac{E}{m} \qquad /5/$$

gde je: E - apsorbovana energija zračenja u masi m.

Jedinica apsorbovane doze po medjunarodnom sistemu jedinica je u MKS sistemu džaul po kilogramu /J/kg/ i u CGS sistemu erg po gramu erg/g/. Medjutim, ove jedinice se ne koriste u praksi. U praksi se kao jedinica apsorbovane doze koristi specijalna jedinica, rad. Rad je apsorbovana doza zračenja pri kojoj se u jednom gramu mase apsorbuje energija zračenja od 100 erga /1 rad = 100 erg/g = $10^{-2}$J/kg/.

Apsorbovana doza služi za količinsku ocenu apsorbovane energije pri prolazu zračenja kroz neki apsorbent. Ona zavisi od materijala apsorbenta. Apsorbovana doza je osnovna fizička veličina, preko koje se odredjuje stepen dejstva nuklearnog zračenja na sredinu pošto je rezultat tog dejstva /fizičko, hemijsko dejstvo, a takodje i štetno dejstvo na čoveka/ proporcionalan apsorbovanoj energiji u sredini. Medjutim, apsorbovana doza u tkivu se vrlo teško meri. Instrumenti za radiološku detekciju i dozimetriju najčešće rade na jonizacionom principu, pa mere ekspozicionu dozu zračenja. Zbog toga se ekspoziciona doza u praksi češće koristi.

Sem gore iznetih jedinica apsorbovane doze zračenja u praksi se koristi za merenje apsorbovane doze u živom organizmu i specijalna jedinica, biološki ekvivalent rada /rem/. Jedan rem je apsorbovana doza bilo kog zračenja koja stvara isti efekat u bio-

loškom tkivu, kao i doza od jednog rada[1/] gama ili iks zračenja.

Rem služi za upoređivanje biološkog dejstva različitih vrsta zračenja. Biološko dejstvo zračenja ne zavisi samo od apsorbovane energije, koja se meri u radima, već i od specifične gustine jonizacije, brzine doze itd. Apsorbovana doza, merena u remima, vezana je sa apsorbovanom dozom merenom u radima izrazom

$$D\ /rem/ = \eta \cdot D\ /rad/ \qquad /6/$$

gde je $\eta$ - koeficijent relativne biološke efikasnosti /RBE/, koji je jednak 1 za gama, iks i beta zračenje, 10 za protone, alfa zračenje i brze neutrone, i 3 za spore neutrone.

Umesto naziva apsorbovana doza preporučuje se korišćenje naziva doza.

## BRZINA APSORBOVANE DOZE

Brzina apsorbovane doze /Pa/ je apsorbovana doza koja se odnosi na jedinicu vremena

$$P_a = \frac{dD_a}{dt} \qquad /7/$$

Ukoliko je porast apsorbovane doze ravnomeran, brzina apsorbovane doze je konstantna i može da se piše

$$P_a = \frac{D_a}{t} \qquad /8/$$

gde je: $D_a$ - apsorbovana doza primljena za vreme t.

Jedinica apsorbovane doze u MKS sistemu je vat po kilogramu /J/kg/s = W/kg/, a u CGS sistemu erg po gramu u sekundi /erg/g/s/.

---

1/ Ranije je korišćena ova jedinica sa nazivom biološki ekvivalenat rentgena, a to je apsorbovana doza nekog zračenja koja u biološkom tkivu stvara isti biološki efekat kao i jedan rentgen gama ili iks zračenja.

U praksi se koriste specijalne jedinice, rad u sekundi /1 rad/s = $10^{-2}$ W/kg/ i rad na čas /rad/h/.

Za brzinu apsorbovane doze se preporučuje naziv: brzina doze. Medjutim, u praksi se naziv brzina doze koristi za brzinu ekspozicione doze. Za brzinu apsorbovane doze se u nekim materijalima koristi i naziv, jačina apsorbovane doze.

## EKSPOZICIONA DOZA GAMA ZRAČENJA

Ekspoziciona doza rentgenskog i gama zračenja /D/ je jednaka odnosu naelektrisanja svih jona istog znaka /dQ/, stvorenih u vazduhu kada su svi elektroni oslobodjeni kvantima zračenja u elementu zapremine vazduha, čija je masa dm, potpuno zaustave u vazduhu tj.

$$D = \frac{dQ}{dm} \qquad /9/$$

Pri ravnomernoj raspodeli zračenja po celoj masi ozračenog vazduha može se pisati

$$D = \frac{Q}{m} \qquad /10/$$

Jedinica ekspozicione doze, po medjunarodnom sistemu jedinica, je u MKS sistemu kulon po kilogramu /C/kg/, a u CGS sistemu elektrostatička jedinica količine elektriciteta po gramu /esj/g/. Medjutim, ove jedinice u praksi nisu našle primenu. U praksi se koristi specijalna jedinica, rentgen /r/. Rentgen je ekspoziciona doza gama ili rentgenskog zračenja pri kojoj kvanti zračenja oslobadjaju u kubnom santimetru vazduha, pri normalnim uslovima /$0^{o}$C 760 mm Hg/, korpuskularno zračenje /elektrone i pozitrone/ koje do potpunog zaustavljanja u vazduhu stvara jone oba znaka, sa naelektrisanjem od jedne elektrostatičke jedinice količine elektriciteta. Obzirom da je 1 esj = 3,33 $10^{-10}$C i da je masa kubnog santimetra vazduha $1{,}29 \cdot 10^{-6}$ kg, može se naći veza izmedju rentgena i kulona po kilogramu: 1 r = 2,58 $10^{-4}$C/kg. Pored rentgena, u praksi se koristi i specijalna jedinica, milirentgen /mr/.

Ekspoziciona doza je količinska karakteristika rentgenskog i gama zračenja, koja se zasniva na njihovom jonizujućem dejstvu u suvom atmosferskom vazduhu. Kao tipična sredina pri definisanju ekspoziciona doze je uzet vazduh, a kao tipična vrsta merene reakcije jonizacija, sa težnjom da po njima odredjena ekspoziciona doza bude izražena u istoj meri, nezavisno od energetskog sastava zračenja. Kao mera služi energija gama kvanata, koja je predata naelektrisanim česticama. Istim vrednostima ekspozicione doze treba da odgovara ista količina energije, koju gama kvanti predaju naelektrisanim česticama. Ovaj uslov se ispunjava ako se kao sredina uzme vazduh, jer energija potrebna za stvaranje jednog jonskog para u vazduhu ne zavisi od energije gama kvanta.

Postoje razradjene metode merenja jonizacionog efekta nuklearnog zračenja u vazduhu. Medjutim, pri merenju ekspozicione doze se zahteva postojanje elektronske ravnoteže. Elektronska ravnoteža izmedju jonizovane zapremine vazduha i zidova komore postoji onda kada je kinetička energija elektrona koji se stvaraju van zapremine i ulaze u nju jednaka kinetičkoj energiji elektrona koji izlaze iz te zapremine. Ako postoji elektronska ravnoteža naelektrisanje proizvedeno u masi vazduha dm /formula 9/ biće približno brojno jednako dQ, što u opštem slučaju neće biti. Da bi bila ostvarena elektronska ravnoteža, treba ispuniti tri uslova:

1. zapremina vazduha, treba da bude okružena vazduhoekvivalentnim materijalom /isti efektivni atomski broj/,

2. debljina zidova komore treba da bude jednaka ili veća od maksimalnog dometa elektrona u materijalu zida komore, a ovaj maksimalni domet treba da bude znatno manji od zaštitne polu-debljine materijala zida komore za gama zračenje, i

3. gama zračenje treba da prodire u zapreminu komore sa svih strana ravnomerno.

Za energije gama zračenja veće od 3 MeV ne može se ostvariti elektronska ravnoteža pa se ograničava upotreba pojma ekspozicione doze i njenih jedinica.

Ukoliko se uzme da je srednja energija gama zračenja potrebna za stvaranje jednog jonskog para u vazduhu 34 eV, i ukoliko se posmatra prodorno gama zračenje, ekspoziciona doza gama zračenja od jednog rentgena odgovara apsorbovanoj dozi od 0,88 rada u

vazduhu, ili od 0,95 rada u ljudskom tkivu.

Za ekspozicionu dozu rentgenskog i gama zračenja medjunarodna komisija ICRU preporučuje nov naziv: izlaganje /X/. Međutim, za ovu radiološku jedinicu u praksi se koristi naziv: doza gama zračenja.

## BRZINA EKSPOZICIONE DOZE GAMA ZRAČENJA

Brzina ekspozicione doze rentgenskog i gama zračenja /P/ je veličina jednaka odnosu ekspozicione doze dD i elementa vremena za koje je ta doza primljena, dt.

$$P = \frac{dD}{dt} \qquad /11/$$

Ukoliko je porast ekspozicione doze ravnomeran, brzina ekspozicione doze je konstantna i može da se piše

$$P = \frac{D}{t} \qquad /12/$$

Jedinica brzine ekspozicione doze u MKS sistemu je amper po kilogramu / C/kg/s = A/kg/, a u CGS sistemu elektrostatička jedinica količine elektriciteta po gramu u sekundi /esj/g/s/.U praksi se koriste specijalne jedinice, rentgen na čas /I r/h/ = $7,2 \cdot 10^{-8}$ A/kg/ i milirentgen na čas /mr/h/.

Za brzinu ekspozicione doze rentgenskog ili gama zračenja medjunarodna komisija ICRU predlaže naziv: jačina izlaganja. Međutim, u praksi se za ovu veličinu najčešće koristi naziv, brzina doze.Po negde se koristi i naziv, jačina doze. U vojnoj praksi se zadržao za ovu radiološku veličinu naziv intenzitet zračenja, a kao jedinice se koriste mr/h, r/h, što može dovesti do zabune jer se naziv intenzitet zračenja koristi za drugu radiološku veličinu,koja je u ranijem tekstu definisana.

## Z A K L J U Č A K

U literaturi iz oblasti zaštite od zračenja i radiološke

detekcije i dozimetrije javlja se šarolikost u pogledu korišćenih naziva za pojedine radiološke veličine i jedinice. To izaziva odredjene poteškoće i nejasnoće. Sa druge strane, jedinice radioloških veličina po medjunarodnom sistemu jedinica nisu dovoljno prilagodjene praksi, pa se uglavnom koriste specijalne jedinice. U toj situaciji nameće se potreba za strožijim zakonskim regulisanjem naziva i definicija radioloških veličina i jedinica koje se mogu koristiti u našoj zemlji, što mora biti usaglašeno sa medjunarodnim sistemom jedinica. Ovaj rad je imao za cilj da iznese odredjene probleme u vezi sa tim, i da pokuša da doprinese njihovom rešavanju.

## L I T E R A T U R A

1. Čertov A.G., Meždunarodnaja sistema edinic izmerenij, Moskva, /1967/.
2. Marković P., O radijacionim veličinama i jedinicama, Institut Boris Kidrič, Beograd, /1964/.
3. Kilel L.R., Mašković V.P., Zaščita ot ionizirajuščih izlučenij, Moskva, /1966/.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Novković Dušan, Mirić Petar, Bratanić Ivo

# KOMPARACIJA ETALONSKIH UREDJAJA ZA MERENJE EKSPOZICIONE DOZE

## REZIME

Od 22. oktobra do 2. novembra 1970 god. izvršena je komparacija etalonskih uredjaja za merenje ekspozicione doze u Nacionalnom birou za mere (Országos meresugyi hivatal, OMH) u Budimpešti. U komparaciji su učestvovala dva uredjaja iz Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" i jedan uredjaj iz Nacionalnog biroa za mere.

Izvori gama zračenja bili su $^{60}Co$ i $^{137}Cs$. Rezultati merenja ekspozicione doze pokazuju slaganje tri uredjaja u granicama od 2%, što je zadovoljavajuće u poredjenju sa sličnim komparacijama u svetu.

Realizacija etalonskog uredjaja za merenje ekspozicione doze gama zračenja predstavlja dug i složen proces, koji uključuje i proveru valjanosti napravljenog uredjaja. Uobičajeno je u svetu da se takva provera vrši komparativnim merenjem ekspozicione doze u jednoj tački polja gama zračenja sa različitim uredjajima iz različitih zemalja. U Institutu "Boris Kidrič" ostvarena su dva uredjaja za merenje ekspozicione doze. Prvi se sastoji od grafitne jonizacione komore i instrumenta za apsolutno merenje malih struja /1/. Drugi uredjaj je vazdušnoekvivalentna komora sa instrumentom za merenje malih struja /2/. Obe komore su tipa "naprstak" (cavity ionisation chamber).

U Madjarskoj - Budimpešta, u Nacionalnom birou za mere (Országos méresügyi hivatal, OMH) izvršena je komparacija ova dva uredjaja sa madjarskim etalonskim uredjajem (grafitna komora i instrument za merenje malih struja). Učesnici ove interkomparacije bili su potpisnici ovog saopštenja kao predstavnici Instituta

"Boris Kidrič" i Zsdánsky Kálmán, Hizó Jozsef, Mihály Péter, Jakab András kao predstavnici Nacionalnog biroa za mere iz Budimpešte.

Izvori zračenja su bili $^{60}Co$ i $^{137}Cs$. Snop zračenja je bio kolimisan pod uglom od $16^{o}$. Na rastojanju od 13 m u snopu zračenja nije bio nijedan objekt rasejanja osim vazduha.

Osnovne tehničke karakteristike jonizacionih komora su sledeče:

Komore Instituta "Boris Kidrič" (IBK)

N°1 Cilindrična grafitna komora prečnika 2 cm i dužine 2 cm. Aktivna zapremina 6.09 $cm^3$.

N°2 Cilindrična vazdušnoekvivalentna komora prečnika 2 cm i dužine 2 cm. Aktivna zapremina 6.189 $cm^3$.

Komora Nacionalnog biroa za mere (OMH)

N° AG-1 Cilindrična grafitna komora prečnika 4 cm i dužine 6 cm. Aktivna zapremina 79.63 $cm^3$.

1. Uporedna merenja sa uredjajima za merenje malih struja

Oba Instituta posedovali su sopstvene uredjaje za merenje malih struja. Pre merenja ekspozicione doze izvršena su uporedna merenja malih struja. Strujni izvori su bili: suva baterija i skup otpornika visoke otpornosti u prvom slučaju, a u drugom - jonizaciona komora. U tablicama 1 i 2 dati su rezultati ovih merenja iz kojih se može zaključiti da su oba uredjaja pogodna za merenje malih struja, većih od $10^{-12}$A sa tačnošću od $\pm$ 0,3%, bez korekcije na šum.

2. Poredjenje etalonskih uredjaja za merenje ekspozicione doze

Glavna merna tačka je bila u snopu zračenja na rastojanju 1 m od izvora ($^{60}Co$ i $^{137}Cs$). Procenjene greške merenja bile su manje od 2% za sva tri uredjaja. Rezultati merenja dati su u tablici 3.

Ekspozicione doze su merene i u drugim tačkama snopa gama zračenja i rezultati su u skladu sa zakonom $1/r^2$ , u grani-

cama greške merenja. U tablici 4 date su vrednosti merenja u tački snopa zračenja na rastojanju 1,5 m od izvora.

Tablica 1

Izmerene vrednosti struje (izvor struje je baterija i skup otpornika)

| $I_{OMH}$ * /A/ | Standardna ** devijacija o /$10^{-15}$A/ | $I_{IBK}$ * /A/ | Standardna ** devijacija o /$10^{-15}$A/ | $\frac{I_{IBK}}{I_{OMH}}$ |
|---|---|---|---|---|
| $5,6182 \cdot 10^{-11}$ | 3,07 | $5,6102 \cdot 10^{-11}$ | 3,00 | 0,9988 |
| $1,0121 \cdot 10^{-11}$ | 0,534 | $1,0148 \cdot 10^{-11}$ | 0,40 | 1,0027 |
| $1,0081 \cdot 10^{-12}$ | 0,355 | $1,0084 \cdot 10^{-12}$ | 0,60 | 1,0003 |
| $0,8735 \cdot 10^{-13}$ | 0,845 | $0,898 \cdot 10^{-13}$ | 2,00 | 1,0278 |

* Sve vrednosti su srednje vrednosti od 10 merenja

** $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$

Tablica 2

Izmerene vrednosti struje (izvor struje je jonizaciona komora)

| $I_{OMH}$ /$10^{-12}$A/ | Standardna devijacija $\sigma$ /$10^{-12}$A/ | $I_{IBK}$ /$10^{-12}$A/ | Standardna devijacija $\sigma$ /$10^{-12}$A/ | $\frac{I_{IBK}}{I_{OMH}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 7,753 | 0,0019 | 7,722 | 0,003 | 0,9961 |
| 6,996 | 0,0022 | 7,011 | 0,003 | 1,0021 |
| 3,343 | 0,0010 | 3,346 | 0,008 | 1,0010 |
| 0,4425 | 0,00031 | 0,4524 | 0,001 | 1,0220 |
| 0,1139 | 0,00009 | 0,1176 | 0,005 | 1,0320 |

Sve vrednosti i o su izračunate kao u tablici 1.

Tablica 3

Izmerene ekspozicione doze na 1 m od izvora

| | | $\dot{X}_{OMH}$ | $\dot{X}_{IBK}$ No.1 | $\dot{X}_{IBK}$ No.2 |
|---|---|---|---|---|
| $^{60}Co$ | $\dot{X}$ /R/h/ | 14,83 | 15,14 | 14,88 |
| | $\dot{X}_{IBK}/\dot{X}_{OMH}$ | - | 1,0207 | 1,0034 |
| $^{137}Cs$ | $\dot{X}$ /R/h/ | 14,60 | 14,70 | 14,52 |
| | $\dot{X}_{IBK}/\dot{X}_{OMH}$ | - | 1,0068 | 0,9945 |

Tablica 4

Izmerene ekspozicione doze na 1,5 m od izvora

| | | $\dot{X}_{OMH}$ | $\dot{X}_{IBK}$ No.1 | $\dot{X}_{IBK}$ No.2 |
|---|---|---|---|---|
| $^{60}Co$ | $\dot{X}$ /R/h/ | 6,549 | 6,723 | 6,548 |
| | $\dot{X}_{IBK}/\dot{X}_{OMH}$ | - | 1,0266 | 0,9998 |

## Zahvalnica

Na kraju rada želeli bismo da se zahvalimo našim ljubaznim domaćinima K.Zsdánsky-om, J.Hizó-u, M.Péter-u i A.Jakab-u na njihovom zalaganju da se omogući komparativno merenje i stručnim diskusijama koje su vodjene u toku merenja.

## Abstract

In the period 22. October - 2.November 1970 an intercomparison of gamma exposure dose rate standards (cavity ionization chambers) was performed in the National Office of Measures (Országos Mérésügyi Hivatal, OMH) in Budapest. Two standard systems from the Institute of Nuclear Sciences "Boris Kidrič" and one system from the National Office of Measures were compared.

The performed measurement results show that the disagreement between the three systems is in the limits of 2%, which is in accordance with the estimated errors of the standard systems. This accuracy may be taken as satisfactory compared with the international level of other gamma ray exposure rate standards.

## Literatura

1. Mirić P., Mirić I., Prokić M.,"Odredjivanje karakteristika grafitne jonizacione komore namenjene za apsolutno merenje doza X i gama zračenja", III Jugosl. simp. o rad. zaštiti, Banja Luka, 1967
2. Novković D.,"Merenje ekspozicionih doza gama-zračenja vazdušno-ekvivalentnom komorom", Magistarski rad, Institut "Boris Kidrič" - IBK 392, Beograd, 1965
3. Novković D., Bek-Uzarov Dj., IV Jugosl. simp. o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, maj 1969, str.478
4. Novković D., Šmelcerović M., Godić Dj., V Jugosl. simp. o radiološkoj zaštiti, Bled, 1970, Nr/3/01

VI simpozij Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

B.Obelić
Institut "Rudjer Bošković", 41001 Zagreb, POB 1016

# SPEKTROMETAR ZA MJERENJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA ENERGIJE ISPOD 2 keV

U radu je opisan spektrometar za mjerenje ionizirajućeg zračenja energije ispod 2 keV. Uredjaj se sastoji od proporcionalnog brojača, uredjaja za protok plina, sustava elektroničkih pojačala i višekanalnog analizatora uz koji je povezana jedinica za tiskanje podataka i njihovo bušenje na papirnu traku. Uredjajem se mogu mjeriti spektri različitih niskoenergetskih izvora, pojedinačnih elektrona i X-zraka. Podaci se ispisuju na printeru i buše na traku, a zatim se obradjuju elektroničkim računalom. Na kraju su prikazani neki izmjereni spektri.

## 1. Uvod

U izlaganju će biti opisan spektrometar za mjerenje ionizirajućeg zračenja energije ispod 2 keV. Mjerenje zračenja ovako niske energije stvara više problema kojih kod visokih energija nema, kao npr. slaba prodornost zračenja, promjenljiva srednja energija utrošena po jednom ionskom paru (w) i malen broj naboja u primarnom tragu. Budući da pretpojačalo registrira električne naboje, to o energiji utrošenoj u plinu možemo zaključivati tek na temelju poznavanja energije koja se prosječno utroši na stvaranje jednog para naboja.

Kao spektrometar služi proporcionalni brojač koji kod energije ispod 2 keV ima prednost pred drugim detektorima, npr. pred poluvodičkim. To možemo ilustrirati na slijedeći način: poznato je da standardna devijacija šuma pretpojačala iznosi oko 100 elementarnih naboja. Svakom nabojskom impulsu kojeg želimo izmjeriti takovim pretpojačalom pribrojit će se odredjen iznos šuma koji ne možemo predvidjeti, budući da je šum slučajni proces. Amplitudni spektar

jednakih impulsa naboja bit će, prema tome, jednak normalnoj razdiobi (koja potječe od šuma) sa srednjom vrijednošću jednakom iznosu impulsa kojeg mjerimo. Pretpostavimo da želimo izmjeriti zračenje od oko 300 eV. U poluvodičkom detektoru takovo zračenje će stvoriti oko 100 elementarnih naboja. Uz standardnu devijaciju šuma pretpojačala koje je sada u upotrebi to ne možemo točno izmjeriti. U proporcionalnom brojaču će navedeno zračenje stvoriti samo 10 elementarnih naboja, no uz plinsko pojačanje od $10^4$ - što je obično lako ostvariti - ukupni broj stvoren od 300 eV energije upadne zrake će biti $10^5$ parova. Vidimo da će u ovom slučaju srednja vrijednost impulsa u detektoru biti 100 puta veća od standardne devijacije elektroničkog šuma. Pri tome prednost proporcionalnog brojača pred poluvodičkim ne bi ipak bila 100 puta veća zbog primarne statistike. Naime, standardna devijacija od 100 primarnih naboja je relativno manja od standardne devijacije od 10 primarnih naboja. Medjutim, lako se pokaže da je za energiju manju od 2 keV dominantan utjecaj elektroničkog šuma, što znači da proporcionalni brojač ima prednost.

2. Procesi u brojaču

Do stvaranja parova elektron-ion u primarnom tragu u radnom plinu može doći na dva različita načina, ovisno o vrsti ioniziraju-ćeg zračenja. Kod gama zraka se to dešava fotoefektom, a kod nabijenih čestica ionizacijom sudarom. Od najveće važnosti za mjerenje proporcionalnim brojačem je odnos utrošene energije i broja stvorenih ionskih parova, što se naziva srednjom energijom utrošenom po ionskom paru (w):

$$w = \frac{E}{\bar{n}} \qquad (1)$$

gdje je E energija utrošena na stvaranje parova u primarnom tragu, uzevši u obzir razne mehanizme stvaranja naboja, a $\bar{n}$ srednji broj stvorenih ioniskih parova u tom tragu. Ovaj odnos je bitan zbog toga što se u stvarnosti registrira samo broj stvorenih parova, pa se o energiji upadne zrake može znati samo uz poznavanje w . Herring i Merzbacher (1) su pokazali da srednji broj stvorenih iona $\bar{n}$ ovisi o energiji upadne čestice kao:

$$\bar{n}\,(E) = \text{const} \cdot (E-I) \qquad (2)$$

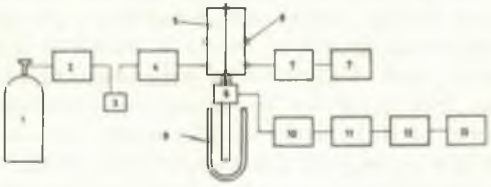
gdje je I energija potrebna za ionizaciju jednog atoma. Stoga je w:

$$w = \frac{E}{\bar{n}} = \frac{1}{\text{const} \cdot \frac{(E-I)}{E}} = \frac{w_{\infty}}{1 - \frac{I}{E}} \qquad (3)$$

Za $E \gg I$ je w približno konstantan ($w_{\infty}$), dok bi za energije bliske I morao vrlo brzo rasti. Kod izračunavanja srednje energije po ionskom paru nastupa i jedna dodatna poteškoća. Postavlja se problem procjene gubitka energije kod stvaranja prvog elektrona fotoefektom. Čak i uz pretpostavku monoenergetskog upadnog zračenja, primarni elektroni nisu monoenergetski jer mogu fotoefektom biti izbijeni sa različitih elektronskih ljusaka. Osim toga, ako je radni plin neki spoj, ionizacione energije pojedinih elemenata u njemu su različite. Kod mjerenja elektromegnetskog zračenja visokih energija ovaj problem je zanemariv.

3. Uredjaj

Cijeli uredjaj (sl.1) je smješten u Faradayevom kavezu od željeznog lima.



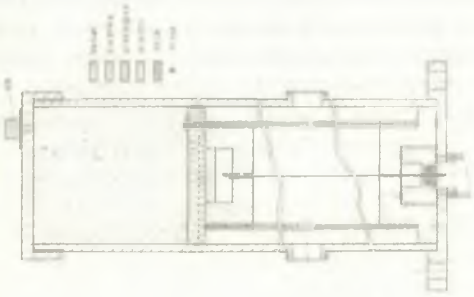
Sl.1 - Blok shema spektrometarskog uredjaja:1-boca s plinom; 2-redukcioni ventil; 3-klopka; 4-igleni ventil; 5-proporcionalni brojač; 6-otvor za izvor zračenja; 7-pumpa; 8-ulaz pretpojačala; 9-Dewarova posuda za tekuci dušik; 10-pretpojačalo; 11-pojačalo; 12-višekanalni analizator; 13-printer.

Plin se dovodi iz boce u kojoj se nalazi pod visokim tlakom i prolazi kroz sustav redukcionih ventila gdje se reducira na željeni tlak ( 0.5 - 3 ata ). Zatim prolazi kroz klopku koja se može staviti u tekući dušik ili u neku hladnu smjesu, kako bi se odvojile nepoželjne primjese višeg vrelišta i ledišta. Nakon toga ulazi preko vrlo preciznog iglenog ventila u brojač (sl.2). Iz njega se plin može ispumpati preko još jednog iglenog ventila. Cijeli uredjaj je napravljen tako da se plin može relativno brzo i jednostavno izmijeniti, jer elektronegativni plinovi apsorbirani u stijenkama i brtvama brojača mogu u dosta kratkom vremenu prilično pokvariti rad brojača. Kod konstrukcije proporcionalnog brojača posebna pažnja posvećena je problemima koji nastaju zbog niskih energija zračenja koje se mjeri. Zbog toga je sâm brojač smješten unutar posebnog valjka koji služi kao oklop protiv vanjskih električnih smetnji, a na kojem su smještena 4 otvora za razne izvore zračenja koje će mjeriti. Vanjska stijenka brojača je katoda koja se nalazi na visokom naponu, a anoda je tanka žičica od nerdjajućeg čelika napeta u sredini brojača. Izvori zračenja se mogu mjeriti neposredno s unutrašnje strane katode brojača ili s unutarnje strane pomoćnog valjka, s time da tada zračenje ulazi u brojač kroz pogodno smješten prozor. Ovi otvori za izvore su napravljeni posebno za kalibracioni izvor, izvor pojedinačnih elektrona (single electrons) i X-zraka.

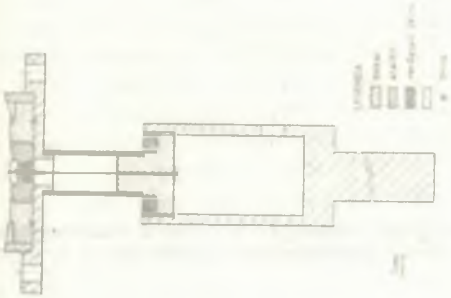
Otvor za kalibracioni izvor (Sl. 4a) se sastoji od vijka u čijoj se sredini nalazi rupa s cjevčicom presjeka 2 mm na kraju koje se nalazi prozor od berilija. Vijak je učvršćen na vanjskom oklopu brojača. U cjevčicu se može umetnuti kalibracioni izvor (obično $^{55}Fe$) čije zračenje ulazi kroz berilijev prozor u brojač.

Izvor za pojedinačne elektrone (Sl. 4b) je slične izvedbe, jedino što se umjesto šuplje cjevčice u vijku nalazi učvršćena mala šipka od kvarca na čijem kraju, uz samu katodu, je naparen aluminij. Kvarc se izvana obasjava svjetlošću (kao izvor svijetla može koristiti i obična žarulja) tako da svijetlo prolazi kroza nj i iz naparenog sloja aluminija fotoefektom izbacuje pojedinačne elektrone.

X-zrake se proizvode u evakuiranoj cijevi cilindričnog oblika ( Sl. 4c), pričvršćenoj o vanjski valjak brojača. U njoj se nalazi

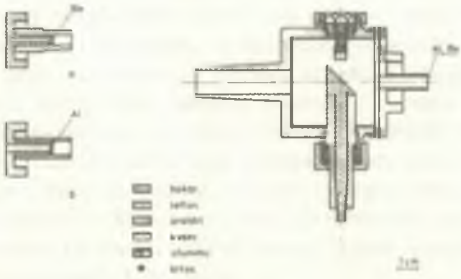


Sl. 2 - Proporcionalni brojač



Sl. 3 - Ulaz pretpojačala s bakrenim cilindrom za hladjenje

užarena volframska nit iz koje izlaze elektroni. Zbog razlike potencijala ovi se elektroni ubrzavaju na različite željene energije. Oni padaju na metu koja se može mijenjati, a iz koje izlaze X-zrake. Ove X-zrake nastaju iz pojedinih donjih ljusaka elektronskog omotača mete (k, $\ell$ ,..), te kroz prozor ulaze u brojač i tamo izazivaju ionizacije.



Sl. 4 - Izvori ionizirajućeg zračenja: a - izvor kalibracionog zračenja; b - izvor pojedinačnih elektrona; c - izvor X-zrakâ.

4. Elektronika i obrada podataka

Elektronički dio uredjaja se sastoji od pretpojačala, pojačala, 200-kanalnog analizatora i teleprintera koji ujedno buši traku s podacima za elektroničko računalo.

Pretpojačalo (Institut "Rudjer Bošković") je pričvršćeno na

donjoj strani samog brojača ( Sl.3 ) i spojeno je neposredno na anodu, kako bi se smanjili parazitni kapaciteti na ulazu. To je nabojski osjetljivo pretpojačalo s unipolarnim tranzistorom (FET) iz kojega izlaze naponski impulsi. Zbog termičkog šuma kanala unipolarnog tranzistora pretpojačalo se hladi tekućim dušikom. Ono je smješteno u bakreni cilindar s produžetkom, koji se stavlja u Dewarovu posudu napunjenu tekućim dušikom. Oko pretpojačala se stvara termička ravnoteža od oko -100°C, za koju temperaturu je poznato da unipolarni tranzistor daje najbolji odnos signal-šum.

Iz pretpojačala se naponski signal vodi u pojačalo (Ortec 440A) koje - osim samog pojačanja signala - oblikuje impuls i poboljšava odnos signal-šum. Tako podešen impuls odlazi u 200-kanalni analizator (Nuclear Diodes 502/504) i tu se svrstava. Posebnim kablom se podaci prebacuju u teleprinter (Teletype ASR 33) koji ih zapisuje i ujedno buši na papirnu traku. Ona se može ubaciti kao traka s podacima u elektroničko digitalno računalo.

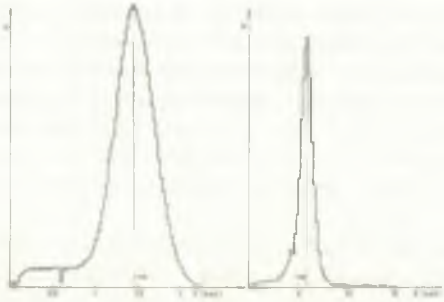
Analizator ne svrstava impulse po energiji, već po kanalima koji su proporcionalni energiji. Stoga se prije početka samog mjerenja uredjaj mora kalibrirati. Kalibracija se obavlja obično izvorom radioaktivnog $^{55}Fe$ poznate energije od 5.88 keV koji se umeće u prozor od berilija.

Rezultat mjerenja energije zračenja koje ulazi u brojač nije monoenergetski, već je prikazan u obliku razdiobe. Ta razdioba nije normalna (Gaussova), već je slična $\Gamma$ -razdiobi koja je nesimetrična, pa se rezolucija ne može izražavati razlikom kanala na polovici vrha kalibracione krivulje, već standardnom devijacijom na osnovu statističke analize podataka.

Za obradu podataka iz ovog i njemu sličnih spektrometara napravljen je niz programa za elektroničko računalo. Obradom podataka prema tim programima mogu se dobiti sve važnije statističke veličine raspodjele energije upadnog ionizirajućeg zračenja.

5. Primjeri mjerenja zračenja niske energije

Kao ilustracija primjene ovog tipa spektrometra prikazana su dva izmjerena spektra. Prvi je spektar k-linije aluminija $^{27}Al$ ( Sl. 5) čija je srednja energija poznata (1486 eV), a zatim spektar radioaktivnog željeza $^{55}Fe$ (Sl.6) sa poznatom srednjom energijom (5880eV). Pomoću ovih izvora se čitav uredjaj može kalibrirati.



Sl.5 - Spektar k-linije aluminija.

Sl.6 - Spektar željeza $^{55}Fe$

A spectrometer for measuring of the ionization rays with the energy below 2 keV is described. It consists of a proportional counter, the arrangement for gas flow, the electronics consisting of amplifiers, and a multichannel analyzer with a print-out and paper-tape punch unit. One can measure spectra of various low energy sources, single electrons, and X-rays spectra. The data are printed out and punched on a paper-tape and then processed in a digital computer. Several examples of measured spectra are shown.

6. Literatura

1. Herring, J.R., Merzbacher, E.: J. of the J.E.Mitchel Soc., p. 267, (Nov. 1967).
2. Srdoč, D., Clark, B.C.: Nucl. Instr. and Meth., 78, 315 (1970).
3. Breyer, B.: Disertacija (1971), Sveučilište u Zagrebu.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Planinić J.
Zavod za fiziku Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu

# OSOBINE BROJAČKOG PLINA U PROPORCIONALNOM BROJAČU ZA MJERENJE NISKIH AKTIVNOSTI*

## Sadržaj

Proporcionalni brojač za mjerenje niskih beta aktivnosti, puni se metanom, koji predstavlja uzorak za mjerenje i brojački plin, istovremeno. U metodi datiranja s radioaktivnim ugljikom, različiti materijali koji sadrže ugljik, spaljuju se i prevode u ugljični dioksid, a zatim u metan. Mjerenjem aktivnosti radionuklida $^{14}C$ u metanu, određuje se starost uzorka. Budući da onečišćeni uzorak, brojački plin, daje manji broj impulsa nego čisti uzorak, mjerenje parametara kvalitete plina ima veliko značenje za pouzdano određivanje niskih beta aktivnosti. Za niz uzoraka mjerena je rezolucija plina, srednja amplituda impulsa i broj impulsa u minuti na najosjetljivijem mjestu karakteristične krivulje proporcionalnog brojača. Istražena je korelacija navedenih parametara i dana jednostavna metoda za određivanje kvalitete plina.

## Uređaj za mjerenje niskih beta aktivnosti

Proporcionalni brojač za mjerenje niskih beta aktivnosti sastoji se od čelične cilindrične katode promjera 6cm, duljine 40 cm, i centralne anodne žice promjera 25,4 $\mu$m. S obje strane cilindar je zatvoren pločama od izolatora, dok u jednoj ploči postoji otvor za dovođenje plina, odnosno evakuaciju brojača. U metalnoj katodi nalazi se prozor od berilija na koji se stavlja izvor monokromatskog X-zračenja radionuklida $^{55}Fe$ (6 keV), za kalibraciju brojača. Oko proporcionalnog brojača postavljen je zaštitni Geiger-Müllerov brojač prstenastog oblika, koji pomoću

* Rad je napravljen u Laboratoriju $^{14}C$ Instituta "Ruđer Bošković"

antikoincidentnog sklopa velikim dijelom otklanja impulse osnovnog zračenja. Zaštita od mekše komponente kozmičkog zračenja izvedena je s tri tone olova i sa slojem smjese borne kiseline i parafina, debljine 7 cm. Pripadni elektronički dio uređaja prikazan je na blok shemi (sl.1.).

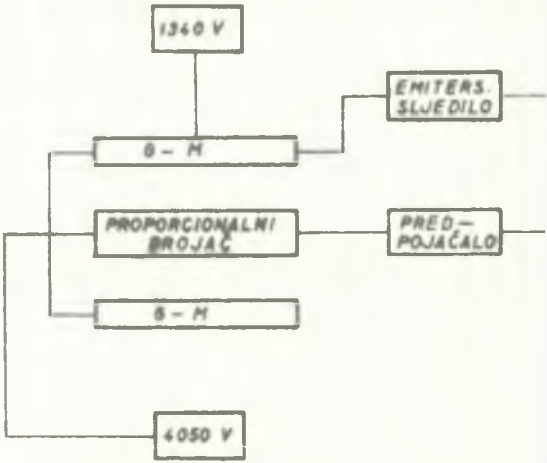
Svakih dvadeset minuta, printer ispisuje broj impulsa, koje brojilo prima iz proporcionalnog brojača preko pojačala, diskriminatora i antikoincidentnog sklopa.

## Mjerenje aktivnosti uzorka

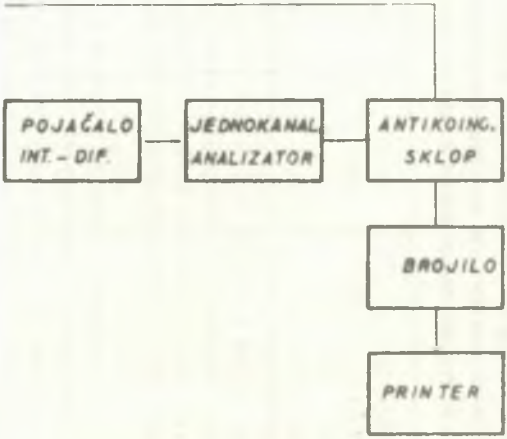
Uzorak, kojemu se želi odrediti aktivnost, prevodi se kemijskom postupkom u pogodan brojački plin, a zatim se uvodi u proporcionalni brojač. Na taj način se postiže visoka efikasnost brojanja. U našem slučaju, mjerena je aktivnost radionuklida $^{14}C$ u organskom i anorganskom ugljiku, dok su rezultati mjerenja korišteni za tzv. metodu datiranja. S obzirom na stalnu koncentraciju atoma $^{14}C$ u ugljiku atmosfere, hidrosfere i biosfere, vrijeme proteklo nakon smrti organizma može se odrediti na temelju smanjenja aktivnosti radioaktivnog ugljika.

Uzorak se spaljuje u struji kisika, a nastali ugljični dioksid, miješan s vodikom u reaktoru, prevodi se u metan, koji sadrži manje količine vodika, ugljičnog dioksida, dušika, kisika, vode, viših ugljikovodika i tragove sumpornih i dušičnih oksida. Zbog toga se izvodi čišćenje metana metodom destilacije smrznute plinske smjese, a zatim prevođenjem plina kroz bakrenu peć (700°C) i kroz apsorpcionu cijev punjenu magnezijevim perkloratom i kalijevom lužinom. Na kraju metan adsorbira na ohlađenom silikagelu u čeličnom cilindričnom spremištu. Proporcionalni brojač se puni pročišćenim metanom, koji ima dobre osobine brojačkog plina i nije osjetljiv na manje primjese elektronegativnih plinova (npr. kisik, sumporni dioksid). Zbog pojave uhvata slobodnog elektrona na molekuli, elektronegativni plinovi u većem dodatku mogu znatno pokvariti rezoluciju plina i smanjiti broj impulsa u brojaču.

Onečišćenje metana može nastati zbog pogreške u radu ili zbog kvara uređaja za obradu i pročišćavanje uzorka, a također brojački plin se kvari u toku mjerenja aktivnosti (48 sati) i ponavljanjem tog postupka, tj. uvođenjem plina više puta u nedovoljno evakuirani brojač.


1340 V
EMITERS. SLJEDILO
G – M
PROPORCIONALNI BROJAČ
PRED– POJAČALO
G – M
4050 V

Sl. 1.


POJAČALO
INT. – DIF.
JEDNOKANAL.
ANALIZATOR
ANTIKOING.
SKLOP
BROJILO
PRINTER

## Parametri kvalitete brojačkog plina

Kao pokazatelj kvalitete brojačkog plina, određivana je tzv. karakteristična krivulja proporcionalnog brojača, a zatim rezolucija plina i srednja amplituda impulsa. Za određenje karakteristične krivulje koristio se standardni izvor zračenja $^{226}$Ra, mjerač učestalosti impulsa s pisačem i elektromotor za kontinuirano povećanje napona na proporcionalnom brojaču.

Uzorci (metan) različite čistoće imaju različite karakteristične krivulje, te je glavni pokazatelj kvalitete plina skraćenje (loš) ili produženje (dobar) platoa krivulje. Nakon što je odabran radni napon brojača u prvom dijelu platoa (4050), izabrana je na početku krivulje jedna vrijednost napona (3100 V), kao najindikativnija točka kvalitete plina. Pripadni broj impulsa u minuti C (3100 V) ovisi o kvaliteti plina, tako da loši (onečišćeni) uzorci imaju znatno manji C.

Rezolucija plina (R) i srednja ampliruda impulsa (P), za monokromatski izvor zračenja $^{55}$Fe, mjereni su pomoću 256 kanalnog analizatora. U dobivenoj krivulji normalne razdiobe frekvencije impulsa po kanalima, na ekranu ili prenesenoj na papir (sl.2.), rezolucija se određuje kao omjer širine krivulje na polovici maksimuma (FWHM) i srednje amplitude impulsa (položaj maksimuma na apscisi - redni broj kanala s najvećom frekvencijom impulsa).

Na temelju mjerenja navedenih parametara plina za niz različitih uzoraka, dobivene su vrijednosti u tablici 1.

Nakon statističke obrade vrijednosti varijabli R,P,C, dobiveni su parcijalni koeficijenti korelacije (r), koji su, i nakon testiranja, potvrdili pretpostavku o jakoj povezanosti spomenutih veličina.

$$r_{RC} = -0,724$$

$$r_{RP} = -0,742$$

$$r_{PC} = 0,786$$

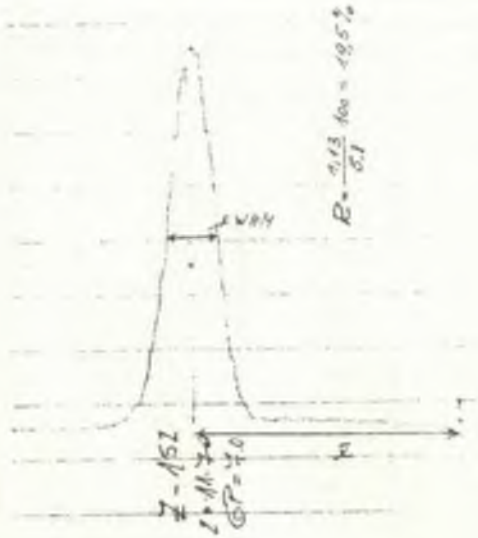
Temeljna misao, koja je pratila ova istraživanja, nalagala je, da se pronađe metoda po kojoj se, uz što jednostavnija mjerenja, može saznati sve o kvaliteti brojačkog plina. Mjerenje brzine brojanja na određenom naponu sasvim je jednostavna operacija,

TAB. br.1.

Rezultati mjerenja parametara plina:

| UZORAK I DATUM MJERENJA | REZOL. (%) (R) | SRED.AMPL. (P) | BR.IMP/MIN (C) |
|---|---|---|---|
| Z-179/I (2.4.1971.) | 20,8 | 147 | 960 |
| Z-174 (2. " ) | 19,2 | 162 | 1209 |
| Z-174 (4. " ) | 18,0 | 168 | 1209 |
| Z-175 (4. " ) | 20,0 | 152 | 1110 |
| Z-176 (6. " ) | 18,8 | 160 | 1250 |
| Z-176 (8. " ) | 19,3 | 154 | 1250 |
| Z-178 (8. " ) | 18,2 | 148 | 1209 |
| Z-178 (10. " ) | 20,2 | 135 | 1063 |
| Z-178/I (10. " ) | 20,2 | 150 | 1250 |
| Z-178/I (12. " ) | 21,0 | 138 | 1130 |
| Z-180 (12. " ) | 18,1 | 148 | 1209 |
| Z-180 (14. " ) | 21,5 | 137 | 1130 |
| Z-176/I (14. " ) | 20,2 | 146 | 1170 |
| Z-176/I (16. " ) | 22,0 | 138 | 1060 |
| Z-179/I (16. " ) | 19,0 | 150 | 1110 |
| Z-179/I (19. " ) | 22,4 | 138 | 1070 |
| Z-7 (19. " ) | 19,0 | 151 | 1150 |
| Z-7 (21. " ) | 20,8 | 138 | 1090 |
| Z-143 (21. " ) | 20,0 | 141 | 1050 |
| Z-143 (23. " ) | 21,1 | 141 | 950 |
| Z-167 (26. " ) | 21,5 | 120 | 750 |
| Z-153 (28. " ) | 20,0 | 135 | 1090 |
| Z-174 (28. " ) | 18,9 | 150 | 1130 |
| Z-174 (30. " ) | 19,4 | 140 | 1090 |
| Z-161 (30. " ) | 25 | 120 | 500 |
| Z-148/I (1.5.1971.) | 24,7 | 139 | 1030 |
| Z-156/I (3. " ) | 19,7 | 150 | 1100 |

pa je praktično uzeti C kao mezavisnu varijablu, a R ili P kao zavisnu. U tom slučaju ne treba koristiti višekanalni analizator i drugo; dovoljno je uz centralni proporcionalni brojač, koji je pripremljen za normalan rad, staviti standardan izvor zračenja ($^{226}Ra$) i s relativno jednostavnim automatskim brojilom (skaler)




Sl.2. - Razdioba učestalosti amplituda impulsa po kanalima analizatora.

izmjeriti broj impulsa u minuti na naponu od 3100 V.

Procjena parametara R ili P izvodi se pomoću odgovarajućeg pravca regresije. Nakon mjerenja C, rezolucija se u našem slučaju računa po relaciji:

$$R_p = 30,56 - 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot C$$

Standardna greška procjene rezolucije za izmjereni C ima vrijednost 1,1. Znači, 95% vrijednosti od R nalazit će se u intervalu $\pm 2 \cdot 1,1$ oko pravca regresije.

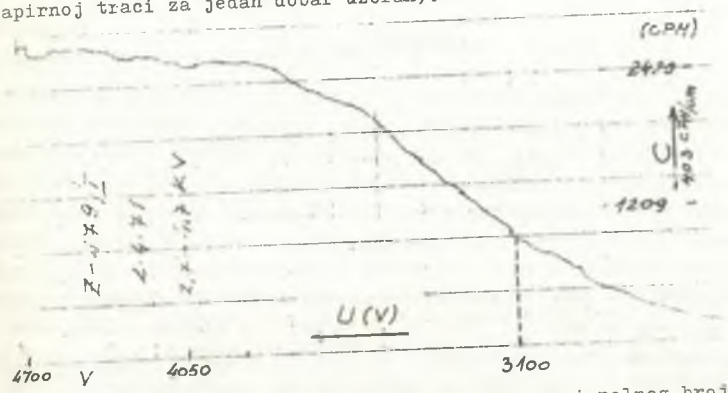
Npr. uzorak iz tablice 1.,Z-178 ima C = 1063, a procijenjena vrijednost rezolucije pomoću dane relacije iznosi $R_p$=20,6%; izmjerena vrijednost je R=20,2%.

Interval procjene je na granici praktične prihvatljivosti, no on se može sa sigurnošću znatno smanjiti, izvođenjem novog niza mjerenja uz poboljšanje eksperimentalnih uvjeta:

- na analizatoru treba primjeniti objektivan način mjerenja FWHM, npr. s tzv. teletypeom, koji ispisuje broj impulsa po

kanalima analizatora i buši odgovarajuće kartice za elektroničko računalo, pa se iz stroja mogu dobiti točni podaci o krivulji razdiobe impulsa.

- mjerenje brzine brojanja impulsa treba biti izravno, kod određenog napona (3100 V), jer iscrtavanje karakteristične krivulje unosi znatnu pogrešku, zbog nejednoličnog okretanja papirne trake (na sl.3. dan je primjer karakteristične krivulje na papirnoj traci za jedan dobar uzorak).




Sl.3. - Karakteristična krivulja proporcionalnog brojača za metan.

Kao primjer onečišćenja brojačkog plina sa zrakom, izveden je pokus na uzorku Z-175, normalne čistoće (C=1030; $R_p$=20,9%), koji je uz radni napon proporcionalnog brojača (4050 V) imao srednju vrijednost broja impulsa u minuti i=23,596 imp/min (srednja vrijednost nakon 48 sati mjerenja). U evakuirani brojač pušteno je 15 mm Hg zraka, a onda je brojač napunjen metanom Z-175 do radnog tlaka (2,06 atp). Tako onečišćeni uzorak imao je slijedeće vrijednosti parametara: C=687; $R_p$=24,2; i=23,130 imp/min.

## Zaključak

Metoda datiranja zahtjeva veliku točnost u mjerenju aktivnosti uzorka(i), pa se od brojačkog plina traži dobra kvaliteta. Budući da onečišćeni uzorak, brojački plin, daje manji broj impulsa nego čisti uzorak, mjenje parametara kvalitete plina ima veliku važnost za pouzdano određivanje niskih beta aktivnosti.

Na temelju iskustva s rezolucijom, može se odabrati područje tolerancije broja impulsa u minuti (C) za kvalitetan brojački plin, tako da uzorke, koji se nalaze ispod tog područja, ne treba datirati, dok se ne izvede čišćenje plina. Ako se uzme granica tolerancije za rezoluciju 21,5%, onda prema jednadžbi pravca regresije, ta granica za baždarni broj impulsa ima vrijednost $C_g$=974.


## Abstract

A simple method for measurement of counting gas purity of a methane filled proportional counter has been described. The counter resolution as well as the counter plateau are convenient for checking the gas purity, however a simpler, quicker but still reliable method is desirable for routine sample activity measurements. Measurements of counting rate in a fixed counter-to-source geometry in the steepest part of counter plateau proved to be very sensitive to gas impurities. Moreover, it is shown that a correlation could be derived betwen the counting rate and the counter resolution. The experimental data as well as a brief description of counting system and the gas purification procedure are presented.


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


1. Planinić J., Magistarski rad, 41 (1971), Zagreb.
2. Srdoč D., Breyer B., Sliepčević A., Rad JAZU, 349.109 (1971), Zagreb.
3. Watt D. E., Ramsden D., High Sensitivity Counting Techniques, 113 (1964), Programon Press, Oxford.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Prokić M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE OSETLJIVOSTI TLD - $CaF_2$:Mn NA NEUTRONE

## REZIME

Svaki dozimetar gama zračenja je, zavisno od svoga sastava, više ili manje osetljiv na neutronsko zračenje.

U ovom radu eksperimentalno je odredjena osetljivost termoluminescentnog dozimetra TLD-08 (proizvodnje LJS), na bazi $CaF_2$:Mn, na termalne, intermedijarne i brze neutrone energije 14 MeV.

Eksperimentalno odredjenje osetljivosti TLD-08 na neutrone su niske, reda veličine $10^{-10}$ $R_{ekviv.}/n/cm^2$, te je veoma pogodan za odredjivanje gama doza u mešovitim (n,gama) poljima zračenja oko nuklearnih postrojenja.

## UVOD

Prilikom merenja gama doza u mešovitim (n,gama) poljima zračenja, intenzivno neutronsko zračenje biće uzrok pogrešne, odnosno precenjene doze gama zračenja zbog osetljivosti dozimetra na neutronsko zračenje.

Osetljivost dozimetra na neutronsko zračenje je definisana kao broj $R_\gamma$ ekvivalenata koji pokazuje TLD ako se ozrači jediničnim fluksom neutrona odredjene energije.

Proračun osetljivosti termoluminescentnog $CaF_2$:Mn dozimetra gama zračenja na neutrone (1), kao i literaturni podaci(2,3) o ovoj karakteristici dozimetra, pokazuju da TLD - $CaF_2$:Mn ima odredjenu, iako nisku osetljivost na neutrone.

Eksperimentalno odredjivanje osetljivosti TL dozimetra na neutrone izvršeno je sa termoluminescentnim materijalom koji je najpribližniji "čistom" $CaF_2$:Mn dozimetru; pri tome pojam "čist" označava da je TL prah sintetičkog $CaF_2$:Mn presovan u pastile bez dodavanja većih količina primesa kao što je slučaj kod nekih proizvodjača ( na pr. ugradjivanje TL praha u teflon, i slično).

Termoluminescentni prah sintetičkog $CaF_2$:Mn, TLD-08, proizvodnje IJS - Ljubljana, presovan je u pastile prečnika $\Theta$ = 0,8 cm i debljine d = 0,16 cm, mase oko m = 2oo mg. Merenje veličine doze vršeno je na čitaču takodje proizvodje IJS[4], po merodi visine pika krive isijavanja.

Osetljivost dozimetra je odredjena na termalne, intermedijarne i brze neutrone energije 14 MeV.

## 1. EKSPERIMENTALNI REZULTATI OSETLJIVOSTI TLD - 08 NA TERMALNE NEUTRONE

Za odredjivanje osetljivosti TLD - 08 na termalne neutrone, korišćena je termalna kolona (TK) reaktora RA u Vinči. Provera homogenosti fluksa na mestu eksperimenta, pokazala je da postoji varijacija u granicama 5% na površini 20x30 $cm^2$. Cd odnos, izmeren pomoću In folija iznosio je oko 1%, što je značilo da nema epitermalnih neutrona.

Fluks termalnih neutrona odredjen je metodom aktivacije Au folija[5]. Srednja vrednost izmerenih diferncijalnih flukseva iznosila je $(1,38\pm0,06)\cdot10^6$ $n/cm^2sec$, odnosno u slučaju izvadjenog grafitnog bloka, $(1,32\pm0,08)\cdot10^7 n/cm^2sec$. Integralni fluksevi kretali su se do oko $10^{11} n/cm^2$.

Fluks termalnih neutrona uvek je praćen gama zračenjem $E_\gamma \sim 5MeV$.

TL dozimetar, ozračen u takvom mešovitom (n,gama) polju zračenja, pokazuje dozu koja je superpozicija mnogo jačeg dejstva gama zračenja na dozimetar, i dejstva neutrona

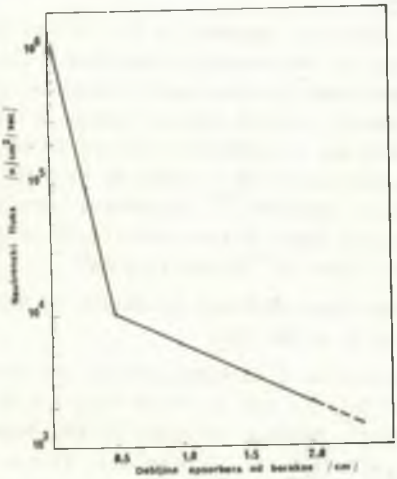
$$D_{TLD} = D_\gamma + \phi_{th}\cdot D_{n,th}$$

gde je $D_{TLD}$ - doza koju pokazuje dozimetar (R), $D_\gamma$ - doza gama zračenja (R), $\phi_{th}$ $D_{n,th}$ - doza apsorbovana u TLD od termalnih

neutrona, izražena u $R_\gamma$ ekvivalentima, $\emptyset_{th}$ - integralni fluks termalnih neutrona, $D_{n,th}$ - doza termalnih neutrona predata TLD-u (u $R_\gamma$ ekvivalentima) za jedinični neutronski fluks, odnosno osetljivost TLD na termalne neutrone.

Da bi se eliminisao uticaj termalnih neutrona, dozimetri su pakovani u boraksne apsorbere tako da je izmerena doza poticala samo od gama zračenja sa TK. Bor ima visok apsorpcioni efikasni presek na termalne neutrone, 757,5 b, tako da se za 2 cm boraksa postiže slabljenje fluksa neutrona za faktor $10^3$ (slika br.1). Iz razlike doza koje pokazuju dozimetri bez i sa apsorberima, podeljene sa integralnim neutronskim fluksom, dobija se da osetljivost TLD - 08 na termalne neutrone iznosi $(1,05 \pm 0,08) \cdot 10^{-10}$ $R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

Pri ozračivanju, dozimetri su pakovani u kutije od pleksi-stakla debljine 3 mm ( po 10 uzoraka u pakovanju) da bi se uspostavila sekundarna elektronska ravnoteža.



Slika br.1. Apsorpcija fluksa termalnih neutrona u funkciji debljine apsorbera

## 2. EKSPERIMENTALNI REZULTATI OSETLJIVOSTI TLD - 08 NA INTERMEDIJARNE NEUTRONE

Za odredjivanje osetljivosti dozimetra na intermedijarne neutrone, korišćen je horizontalni kanal (HK-E) reaktora RA-Vinča. Mesto eksperimenta prikazano je na slici br.2. Sva ozračivanja vršena su pri snazi reaktora od 200 kW.

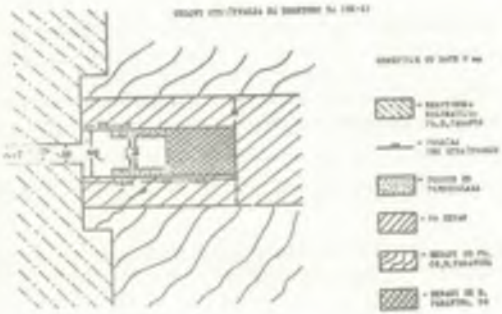
Odredjivanje osetljivosti dozimetara na intermedijarne neutrone, otežavali su prisutni fluksevi termalnih i fisionih neutrona, kao i intenzivno gama zračenje. S obzirom da je fluks fisionih, bio oko tri puta niži od fluksa intermedijarnih neutrona, i zbog niske osetljivosti TLD - $CAF_2$:Mn na fisione neutrone [1], zanemaren je njihov uticaj na pokazivanje dozimetra. Fluks termalnih neutrona bio je oko 2,5 puta viši od fluksa intermedijarnih neutrona, tako da je uticaj termalnih neutrona kao i pratećeg gama zračenja ($E_\gamma \sim 1$ MeV), uzet u obzir pri korekciji izmerenih vrednosti doza.

Doza gama zračenja izmerena je sa Philips No. 18529 mikro GM brojačem koji je izbaždaren za vrednosti ekspozicionih doza dobijenih sa grafitnom jonizacionom komorom za gama zračenje $^{60}Co$ (slika br.3). Gornja granica mernog opsega je 600 R/h. GM - 18529 (Ø = 5 mm, d = 8 mm, sa debljinom zidova od 90 mg/cm$^2$) ima još manje dimenzije od brojača GM - 18509 za koji je detaljno ispitana osetljivost na neutrone [6]. Apsorberi termalnih neutrona - Li ili B - snižavaju i onako nisku osetljivost ovoga brojača na termalne neutrone ispod $10^{-12} R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

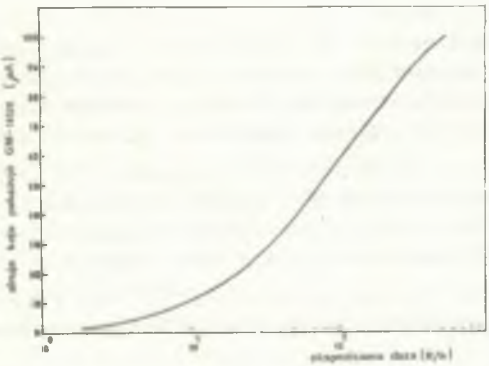
Izmerena doza gama zračenja na izlazu iz HK-E, na snazi od 200 kW iznosila je $D_\gamma$ = 460 R/h.

Fluksevi termalnih i intermedijarnih neutrona odredjeni su pomoću Au i Au+Cd folija, dok je fluks fisionih neutrona odredjen pomoću S pastila [5]. Srednja vrednost fluksa termalnih neutrona iznosila je $\emptyset_{th}=(7,78\pm0,13)\cdot10^7$ n/cm$^2$sec, fluksa intermedijarnih $\emptyset_{int}=(3,06\pm0,10)\cdot10^7$ n/cm$^2$sec, a srednja vrednost fluksa fisionih neutrona, iznosila je $\emptyset_{fis} = (1,07\pm0,08)\cdot10^7$ n/cm$^2$ sec.

TLD - 08, ozračen na HK-E pokazivao je dozu koja je superpozicija tri efekta: intenzivnog gama zračenja, termalnih i intermedijarnih neutrona



Slika br.2. Mesto eksperimenta na HK-E reaktora RA



Slika br.3. Struja koju pokazuje GM-18529 u funkciji ekspozicionih doza

## 2. EKSPERIMENTALNI REZULTATI OSETLJIVOSTI TLD - 08 NA INTERMEDIJARNE NEUTRONE

Za odredjivanje osetljivosti dozimetra na intermedijarne neutrone, korišćen je horizontalni kanal (HK-E) reaktora RA-Vinča. Mesto eksperimenta prikazano je na slici br.2. Sva ozračivanja vršena su pri snazi reaktora od 200 kW.

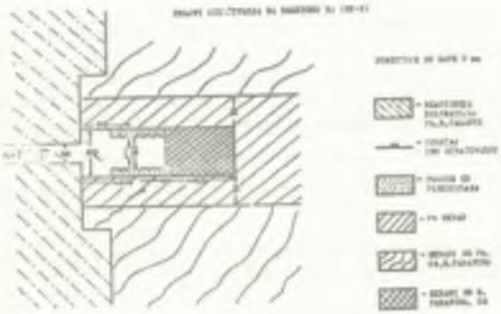
Odredjivanje osetljivosti dozimetara na intermedijarne neutrone, otežavali su prisutni fluksevi termalnih i fisionih neutrona, kao i intenzivno gama zračenje. S obzirom da je fluks fisionih, bio oko tri puta niži od fluksa intermedijarnih neutrona, i zbog niske osetljivosti TLD - $CAF_2$:Mn na fisione neutrone [1], zanemaren je njihov uticaj na pokazivanje dozimetra. Fluks termalnih neutrona bio je oko 2,5 puta viši od fluksa intermedijarnih neutrona, tako da je uticaj termalnih neutrona kao i pratećeg gama zračenja ($E_\gamma \sim 1$ MeV), uzet u obzir pri korekciji izmerenih vrednosti doza.

Doza gama zračenja izmerena je sa Philips No. 18529 mikro GM brojačem koji je izbaždaren za vrednosti ekspozicionih doza dobijenih sa grafitnom jonizacionom komorom za gama zračenje $^{60}Co$ (slika br.3). Gornja granica mernog opsega je 600 R/h. GM - 18529 (Ø = 5 mm, d = 8 mm, sa debljinom zidova od 90 mg/cm$^2$) ima još manje dimenzije od brojača GM - 18509 za koji je detaljno ispitana osetljivost na neutrone [6]. Apsorberi termalnih neutrona - Li ili B - snižavaju i onako nisku osetljivost ovoga brojača na termalne neutrone ispod $10^{-12}$ $R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

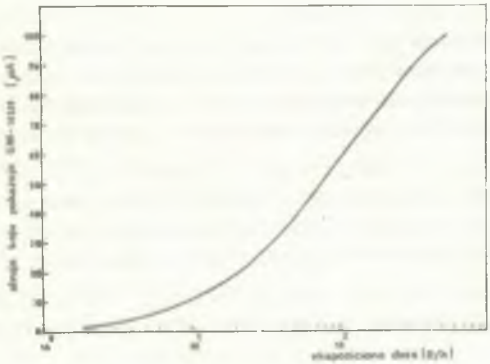
Izmerena doza gama zračenja na izlazu iz HK-E, na snazi od 200 kW iznosila je $D_\gamma$ = 460 R/h.

Fluksevi termalnih i intermedijarnih neutrona odredjeni su pomoću Au i Au+Cd folija, dok je fluks fisionih neutrona odredjen pomoću S pastila [5]. Srednja vrednost fluksa termalnih neutrona iznosila je $Ø_{th}=(7,78\pm0,13)\cdot10^7$ n/cm$^2$sec, fluksa intermedijarnih $Ø_{int}=(3,06\pm0,10)\cdot10^7$ n/cm$^2$sec, a srednja vrednost fluksa fisionih neutrona, iznosila je $Ø_{fis}=(1,07\pm0,08)\cdot10^7$ n/cm$^2$ sec.

TLD - 08, ozračen na HK-E pokazivao je dozu koja je superpozicija tri efekta: intenzivnog gama zračenja, termalnih i intermedijarnih neutrona



Slika br.2. Mesto eksperimenta na HK-E reaktora RA



Slika br.3. Struja koju pokazuje GM-18529 u funkciji ekspozicionih doza

$$D_{TLD} = D_{\gamma} + \emptyset_{th} \cdot D_{n,th} + \emptyset_{int} \cdot D_{n,int}$$

gde je $D_{n,int}$ - tražena vrednost osetljivosti dozimetra na intermedijarne neutrone.

Uticaj termalnih neutrona na dozimetar nije mogao biti eliminisan sa boraksnim apsorberima zbog prisustva fisionih i intermedijarnih neutrona koji bi se elastičnim rasejanjem u boraksu termalnizovali, tako da bi se pokazivanje dozimetra čak i povećalo.

Osetljivost TLD - 08 na intermedijarne neutrone iznosila je $(1,10 \pm 0,16) \cdot 10^{-10}$ $R_{\gamma}$ekviv./n·cm$^{-2}$.

## 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI OSETLJIVOSTI TLD - 08 NA 14 MeV NEUTRONE

Odredjivanje osetljivosti TLD - 08 na brze neutrone izvršeno je sa neutronima energije $E_n$= 14 MeV. Kao izvor neutrona ove energije bila je reakcija $^{3}H(d,n)^{4}He$,(1,4 MV akcelerator, Vinča).

Prilikom ozračivanja uzorci su bili poredjani u krug oko mete; pri tome nisu bili pakovani u kutije od pleksi-stakla jer bi uticaj protona uzmaka usled velikog sadržaja vodonika u pleksi-staklu prividno povećao osetljivost TLD na 14 MeV neutrone.

Neutronski fluks odredjen je pomoću S i In koji sa 14 MeV neutronima daju reakcije $^{32}S(n,p)^{32}P$ ($\sigma$=0,26 b), i $^{115}In(n,2n)^{114m}In$ ($\sigma$=1,53 b). Gama zračenje koje je kontrolisano pomoću Kodak-RM film-dozimetra, bilo je na nivou fona.

Dobijena vrednost osetljivosti TLD - 08 na brze neutrone $E_n$= 14 MeV, iznosila je $(2,30 \pm 0,03) \cdot 10^{-10}$ $R_{\gamma}$ekviv./n.cm$^{-2}$.

## ANALIZA REZULTATA

U tabeli br.1 komparirane su računski i eksperimentalno odredjene vrednosti za osetljivost jednog "opšteg" tipa $CaF_2$:Mn TL dozimetra i TLD-08, na neutrone različitih energija. Slaganje je dobro ako se uzme u obzir da su pri eksperimentalnom odredjiva-

TABELA br. 1

Osetljivost $CaF_2$:Mn (TLD-08) na neutrone izražena u $R_\gamma$ekviv/n.cm$^{-2}$

| Neutroni | Osetljivost ($10^{-10}R_\gamma$ekviv/n.cm$^{-2}$) | | Relativna TL efikasnost |
|---|---|---|---|
| | Računska | Eksperimentalna | |
| Termalni | 0,77 | 1,05±0,08 | 1,19±0,08 |
| Intermedij. | 0,80 | 1,10±0,16 | 1,20±0,16 |
| Fisioni | 0,55 | - | - |
| 14 MeV | 3,54 | 2,30±0,03 | 0,13±0,03 |

nju osetljivosti na neutrone, intenziteti neutronskih flukseva kao i doze pratećeg gama zračenja mereni sa greškom većom od ±10%, uz takodje značajnu grešku nastalu pri očitavanju doza za TLD - 08.

Nešto više vrednosti eksperimentalno odredjene osetljivosti na termalne (pokazivanje dozimetara za uzorke ozračene bez boraksnih apsorbera) i intermedijarne neutrone, mogu se pripisati uzajamnom ozračivanju uzoraka (10 uzoraka u pakovanju). Naime, aktivnost uzoraka posle ozračivanja na TK i na HK-E je bila visoka. Ova diskusija se odnosi i na nešto više vrednosti relativnih TL efikasnosti na termalne i intermedijarne neutrone; relativna TL efikasnost je definisana kao odnos intenziteta termoluminescencije i apsorbovane doze u $CaF_2$:Mn (TLD-08).

Niska osetljivost $CaF_2$:Mn (TLD-08) termoluminescentnog dozimetra na termalne, intermedijarne i fisione neutrone, čini ga veoma pogodnim gama dozimetrom u mešovitim (n,gama) poljima zračenja oko nuklearnih postrojenja.

U mešovitim poljima zračenja, korekcione faktore za izmerene vrednosti doza gama zračenja sa TLD, moguće je odrediti jedino ako je poznat upadni neutronski spektar.

## RESUME

Every gamma dosimeter, depending on its elemental composition, is more or less sensitive to neutrons.

In this work the sensitivity of $CaF_2$:Mn (TLD-08) to thermal, intermediate and fast neutrons of 14 MeV. was experimentally determined.

The experimentally determined neutron sensitivities for TLD-08 are of the order $10^{-10}$ °H$_r$equiv./n·cm$^{-2}$ ; it means that this type of dosimetar is very convenient for gamma dose determinations in mixed (n,gamma) fields near nuclear installations.

## BIBLIOGRAFIJA

1. M.Prokić, "Odredjivanje osetljivosti termoluminescentnog dozimetra $CaF_2$:Mn na neutrone", Magistarski rad, Beograd,(1971)
2. K.J.Puite, Health Physics 20, 437 (1971)
3. E.Tochilin, Health Physics 16, 1 (1969)
4. D.D.Uran, Symp. on New Developments in Phys. and Biol. Rad. Detectors, Vienna, 23-27 Nov.,1970 IAEA/SM-143/18
5. I.Mirić et al. IBK-364 (1965)
6. E.B.Wagner and G.S.Hurst, Health Physics 5, 20 (1961)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Prokić M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# RAČUNSKO ODREDJIVANJE OSETLJIVOSTI $CaF_2$:Mn TERMOLUMINESCENTNOG DOZIMETRA NA NEUTRONE RAZLIČITIH ENERGIJA

## REZIME

U ovom radu ispitana je osetljivost termoluminescentnog $CaF_2$:Mn dozimetra gama zračenja na brze, fisione, intermedijarne i termalne neutrone. Prikazan je specifičan način računskog odredjivanja osetljivosti TLD-$CaF_2$:Mn na neutrone, preko apsorbovane neutronske doze prvog sudara u $CaF_2$:Mn i poznavanjem relativne termoluminescentne efikasnosti u funkciji LET-a za neutrone različitih energija. Osetljivost je definisana kao broj R ekvivalenata koji pokazuje TL dozimetar za jedinični neutronski fluks.

## UVOD

Cilj ovoga rada bio je računsko odredjivanje osetljivosti termoluminescentnog $CaF_2$:Mn dozimetra gama zračenja na termalne, intermedijarne i brze neutrone.

Osetljivost dozimetra na neutronsko zračenje u prvom redu je funkcija intenziteta i vrste neutronskih interakcija sa materijalom dozimetra; pri tome se u dozimetru apsorbuje neutronska doza čija je veličina funkcija energije neutrona i atomskog sastava dozimetra.

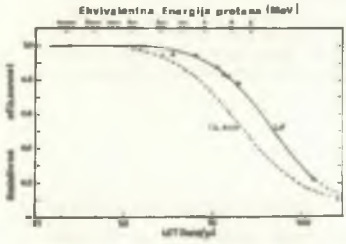
Vrednosti apsorbovanih doza u TLD-$CaF_2$:Mn obračunate su na osnovu jednačina za apsorbovanu dozu prvog sudara u materijalu dozimetra(1).

S obzirom na neefikasnost TLD-a na zračenje (produkti nuklearnih reakcija sa materijalom dozimetra) sa visokim LET vrednostima, za odredjivanje osetljivosti dozimetra na neutrone neophodno je poznavanje TL efikasnosti termoluminescentnog dozimetra na neutrone date energije.

## 1. PRORAČUN OSETLJIVOSTI TLD - $CaF_2$:Mn NA NEUTRONE

Energija radioaktivnog zračenja apsorbovana u $CaF_2$:Mn, izaziva ekscitaciju i jonizaciju kristalne rešetke, odnosno stvaranje parova elektron-šupljina. Kada naelektrisane čestice prolaze kroz materijal, brzina gubitka energije zavisiće, na prvom mestu, od prirode čestice i njene energije.

Ako se intenzitet luminescencije za gama zračenje $^{60}Co$ uzme za jedinicu, tada će relativni intenzitet luminescencije, po jediničnoj apsorbovanoj dozi, odnosno relativna efikasnost luminescencije u funkciji LET-a za različite naelektrisane čestice opadati sa porastom LET - a. Sličan hod krive dobija se za različite detektore čvrstog stanja[2] (na pr. za termoluminescentne, radiofotoluminescentne ili scintilacione detektore, slika br. 1). J.B.




Slika br.1. Relativna luminescentna efikasnost u funkciji LET-a za naelektrisane čestice

Birks[3] je dao teorijsko objašnjenje hoda ove krive koji je funkcija dva efekta: prvi je rekombinacija, odnosno gustina jonizacije koja raste sa brzinom gubitka energije, dok je drugi efekat "pretvaranje" apsorbovane energije zračenja u svetlosnu energiju; taj proces se odvija u aktivatorima (za $CaF_2$:Mn to su $Mn^{2+}$ joni). Oba ova efekta bitno utiču na luminescentnu efikasnost čestica sa visokim LET vrednostima.

1.2. Apsorbovana neutronska doza

Po definiciji ICRP-a doza prvog sudara po neutronu, po $cm^2$ data je izrazom $D_r(E) = 1{,}602 \cdot 10^{-8} E_n \sum_i N_i \sigma_i \epsilon_i$, gde je $N_i$ - broj atoma tipa i koji u interakciji sa neutronima daju naelektrisane čestice, $\sigma_i$ - efikasni presek za tu reakciju, dok $\epsilon_i$ predstavlja srednju kinetičku energiju predatu naelektrisanim česticama. Pošto sekundarne čestice imaju kratak domet u ozračenom materijalu, doza prvog sudara je ekvivalentna apsorbovanoj dozi u tom materijalu.

Iz poznate vrednosti apsorbovane neutronske doze u dozimetru i odgovarajuće TL efikasnosti, mogućno je odredjivanje osetljivosti datog tipa TL dozimetra na neutrone različitih energija,računskim putem.

1.3. Termalni neutroni

Interakcija termalnih neutrona sa $CaF_2$:Mn vrši se preko radijacionog zahvata neutrona sa jezgrima atoma fluora i mangana. Nastala radioaktivna jezgra $^{56}Mn$ i $^{20}F$ se raspadaju emitujući beta i gama zračenje; srednje energije beta zračenja su 0,86 MeV i 2,65 MeV, respektivno.

Reakcija $^{19}F(n,\gamma)^{20}F$ (48,2% $^{19}F$ u $CaF_2$:Mn) ima veoma nizak aktivacioni efikasni presek za termalne neutrone, (9,8 mb) tako da i pored velikog broja atoma fluora, u dozimetru neće biti apsorbovana značajna doza od beta zračenja $^{20}F$.

$^{55}Mn$ (do 3% $^{55}Mn$ u $CaF_2$:Mn) ima visok aktivacioni efikasni presek (13,3 b) za termalne neutrone, što znači da će apsorbovana doza u $CaF_2$:Mn od termalnih neutrona primarno biti odredjena količinom mangana u dozimetru[4].

Kalcijumovi izotopi, $^{44}Ca$, $^{46}Ca$ i $^{48}Ca$ imaju veoma nisku izotopsku obilnost, tako da će apsorbovana doza od indukovanog beta zračenja biti zanemarljiva.

Doprinos od gama zračenja ekscitiranih jezgara ne unosi se u račun zbog malih dimenzija dozimetra u kome se apsorbuje zanemarljiv deo njihove energije[5].

Zbog malih razlika u LET vrednostima izmedju srednje energije beta zračenja $^{56}Mn$ i srednje energije sekundarnih elek-

trona stvorenih gama zračenjem $^{60}Co$, TL efikasnost za termalne neutrone ce biti bliska jedinici. Ako je konverzioni faktor izmedju R i rad 0,873 rad , dobijeno je da osetljivost dozimetra na termalne neutrone iznosi $0,77 \cdot 10^{-10} R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

### 1.4. Intermedijarni neutroni ($0,48$ eV $\leq E_n \leq 0,01$ MeV)

Spektar intermedijarnih neutrona se može aproksimirati funkcijom 1/E. U $CaF_2$:Mn ozračenom intermedijarnim neutronima, rezonantnim zahvatom se aktiviraju jezgra $^{55}Mn$ i $^{19}F$. Srednja apsorbovana doza u dozimetru obračunava se po jednačini $D_f(E_n) = 1,602 \cdot 10^{-8} \sum_{i=2} N_i \epsilon_i I_{act,i}$, gde je $I_{act,i} = \int_{E_i}^{E_i} \sigma(E)\, dE/E$ rezonantni integralni efikasni presek. Za Mn dominantni rezonantni zahvat je na 337 eV ($I_{act}$ = 14 b[6]), dok se rezonantni zahvat u jezgrima $^{19}F$ dogadja sa neutronima energija viših od 0,01 MeV; 1/v komponenta rezonantnog integralnog efikasnog preseka za $^{19}F$ iznosi oko 4,5 mb, pa će uticaj indukovane beta aktivnosti od $^{20}F$ u $CaF_2$:Mn, biti zanemarljiv. Analogo proračunu za termalne neutrone, dobijeno je da u ovom slučaju srednja vrednost osetljivosti dozimetra na intermedijarne neutrone do 0,01 MeV, iznosi $0,80 \cdot 10^{-10}$ $R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

### 1.5. Brzi neutroni ($0,01$ MeV $\leq E_n \leq 14$ MeV)

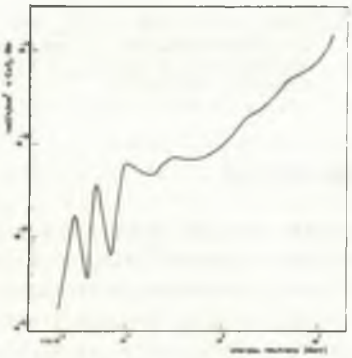
Analiza izvršena u ovom radu obuhvatala je brze neutrone do energije od 14 MeV. Dominantna interakcija brzih neutrona sa materijalom dozimetra je elastično rasejanje, medjutim za energije neutrona $E_n > 6$ MeV, neelastično rasejanje i nuklearne reakcije, (n,p) i (n,$\alpha$) na Ca i F jezgrima, postaju konkurentne elastičnom rasejanju.

Apsorbovana doza prvog sudara (rad/n·cm$^{-2}$) u $CaF_2$:Mn izračunata je pomoću jednačine: $D_f(E) = 1,602 \cdot 10^{-8} E_n \sum_i N_i \sigma_i \epsilon_i$, gde a) $\epsilon_i = 2M_i/(M_i+1)^2$, za izotropno elastično rasejanje, b) $\epsilon_i = 2M_i/(M_i+1)^2(1-(M_i+1)E^*/2M_iE_n)$, za izotropno neelastično rasejanje, gde $E^*$ označava energiju ekscitacije jezgra posle rasejanja i c) $\epsilon_i(E^*) \equiv \epsilon_i(Q)$, tj. izraz za reakcije čiji su produkti naelektrisane čestice ($\alpha$ i p), zaQ vrednosti datih reakcija, matematički je identičan izrazu pod b ; $M_i$ je atomska masa u a.m.u. za svaki izotop. Pri računu je usvojena pretpostavka da je

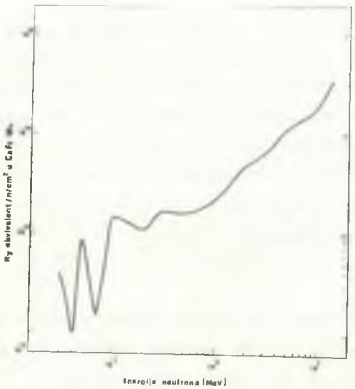
rasejanje izotropno u sistemu centra mase.

Pošto brzi neutroni uglavnom predaju svoju energiju uzmačnim jezgrima Ca i F, koristeći Snyder-ove rezultate[7] može se procenitiđa je srednja vrednost inicijalnihLET vrednosti za ova uzmačna jezgra viša od 200 keV/μu. Sa slike 1 se vidi da za zračenje sa visokim LET vrednostima ne postoji značajnija razlika u relativnoj luminescentnoj efikasnosti za različite vrste luminescentnih dozimetara. Naime, za uzmačna jezgra indukovana brzim neutronima u $CaF_2$:Mn, efikasnost termoluminescencije iznosila bi najviše 0,15 od one koja bi se dobila od elektrona energije 1 MeV.

Rezultati dobijeni za apsorbovanu dozu i osetljivost $CaF_2$:Mn po jediničnom neutronskom fluksu u funkciji energije brzih neutrona, predstavljeni su na slici br.2 i na slici br.3.



Slika br.2. Apsorbovana neutronska doza prvog sudara u $CaF_2$:Mn po jediničnom neutronskom fluksu u funkciji energije neutrona




Slika br. 3. Osetljivost $CaF_2$:Mn izražena u $R_\gamma$ ekvivalentima po jediničnom neutronskom fluksu u funkciji energije neutrona

## 1.6. Fisioni neutroni

Fisioni spektar neutrona sa reaktora RA, Vinča može se predstaviti matematičkim izrazom[8] $\emptyset(E_n)=0,733\cdot E_n^{1/2}\cdot e^{-0,75E_n}$, gde je $\emptyset(E_n)$ - broj fisionih neutrona po jedinici energije normalizovan na jedan fisioni neutron. Srednja vrednost osetljivosti $CaF_2$:Mn na fisione neutrone, dobijena je iz obračunatih vrednosti za osetljivost na brze neutrone i matematičkog izraza za fisioni spektar, i iznosi $0,55\cdot 10^{-10}$ $R_\gamma$ ekviv./n·cm$^{-2}$.

Razlog za ovako nisku osetljivost je taj što najveći procenat fisionih neutrona reaktora RA ima energije izmedju 0,1 i 3 MeV, na koje je dozimetar najmanje osetljiv, dok samo mali procenat neutrona ima energije više od 5 MeV.

## 2. ANALIZA REZULTATA

Proračun osetljivosti TLD - $CaF_2$ :Mn na neutrone, izvršen je za jedan "idealni" tip TL dozimetra.

Nedovoljno tačno odredjene vrednosti efikasnih preseka, posebno za neelastično rasejanje i za nuklearne reakcije brzih neutrona sa $CaF_2$:Mn mogu biti uzrok odstupanja obračunatih vrednosti apsorbovane doze prvog sudara u dozimetru i preko ±10% od prave vrednosti. Poznavanje zavisnosti relativne TL efikasnosti od LET vrednosti sekundarnih čestica, nastalih u interakciji neutrona različitih energija sa materijalom $CaF_2$:Mn dozimetra, verovatno bi još povećalo preciznost proračuna.

Dr.E.Blum(9) koristeći $CaF_2$:Mn dozimetre u obliku diska, eksperimentalno je odredio osetljivost dozimetra na brze neutrone energija: 2 MeV, 7 MeV i 14 MeV, i dobio dobro slaganje sa računski odredjenim vrednostima osetljivosti $CaF_2$:Mn na neutrone koje su odredjene u ovom radu.

Najnoviji eksperimentalni podatak E.Tochilin-a(10) za osetljivost presovanog TLD - $CaF_2$:Mn na termalne neutrone, iznosi $0,58 \cdot 10^{-10}$ rad/n·cm$^{-2}$, odnosno $0,64 \cdot 10^{-10}$ $R_\gamma$ekviv./n·cm$^{-2}$. Odgovarajuća računska vrednost osetljivosti dobijena u ovom radu slaže se sa eksperimentalnim vrednostima navedenog autora.

K.J.Puite(4) je za osetljivost TL praha (Philips $CaF_2$:Mn) na brze neutrone energija 1,7 MeV i 5,4 MeV eksperimentalno dobio vrednosti 0,43 rad, odnosno $4,92 \cdot 10^{-11}$ $R_\gamma$ekviv./n·cm$^{-2}$ i 1,1 rad, odnosno 1,26 $10^{-10}$ $R_\gamma$ekviv./n·cm$^{-2}$, respektivno. Sa slike br.3 se vidi da je slaganje ovih eksperimentalnih rezultata sa računskim vrednostima za osetljivost TLD-$CaF_2$:Mn na brze neutrone veoma dobro.

Da bi se izvršila provera računski odredjene osetljivosti, eksperimentalno je odredjena veličina osetljivosti TLD - $CaF_2$:Mn na neutrone različitih energija(1), za domaći tip $CaF_2$:Mn, TLD - 08 (proizvodnje IJS - Ljubljana).

## RESUME

In a mixed (n,gamma) radiation field, intensive neutron radiation may cause difficulties in assessment of the gamma dose. In this work sensitivity of the $CaF_2$:Mn thermoluminescent Gamma dosimeter to fast, fission, intermediate and thermal neutrons was studied. The magnitudes of the mentioned sensitivities were determined by first collision dose calculation in$CaF_2$:Mn.The relative

thermoluminescent response as a function of LET for neutrons of different energies enables determination of the $CaF_2$:Mn thermoluminescent sensitivity to neutrons in terms of equivalent $^{60}Co$ R per $10^{10}$ n/cm$^2$.

BIBLIOGRAFIJA

1. M.Prokić,"Odredjivanje osetljivosti termoluminescentnog dozimetra $CaF_2$:Mn na neutrone, Magistarski rad, Beograd,(1971)

2. Radiation Dosimetry, Second Edition,(Edited by F.H.Attix and E.Tochilin), Vol.III, Academic Press (1969)

3. J.B.Birks, I.E.E.E. Trans.Nucl.Sci. 11(3):4(1964)

4. K.J.Puite, Health Phys. 20,437 (1971)

5. M.L.Randolph, Rad. Res. 7,47 (1957)

6. Spravochnik Yadernofizicheskie Konstanty dlya Neitronogo Aktivacionogo Analiza,(Edited by A.I.Aliev et al),Atomizdat Moskva (1969).

7. W.S.Snyder, Biological Effects of Neutron and Proton Irradiations, IAEA,Vienna(1964)

8. I.Mirić et al, Second Congress IRPA,Brighton(1970)

9. E.Blum, MRC Exper. Radiop. Unit, Hamm. Hosp.,England, private communication

10. E.Tochilin,et al., Health Phys. 16,(1969).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Prokić M. i Mirić I.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# PROCENA APSORBOVANE NEUTRONSKE DOZE U SLUČAJU AKCIDENTA NA OSNOVU AKTIVACIJE METALNOG NOVCA

## Rezime

Osnovni zahtev koji se postavlja akcidentalnoj dozimetriji jeste da dozimetrijski sistem omogućava brzu procenu doze sa odgovarajućom tačnošću.

U ovom radu ispitana je mogućnost korišćenja metalnog novca kao akcidentalnog neutronskog dozimetra. Odabrani metalni novac, 1 dinar, čija legura sadrži 75% bakra i 25% nikla, sa relativno visokim aktivacionim efikasnim presecima odgovarajućih izotopa na termalne, intermedijarne i brze neutrone, predstavlja veoma pogodan neutronski detektor.

U slučaju nekontrolisanog ozračivanja visokim neutronskim fluksevima, apsorbovana neutronska doza procenjena ovom metodom može da leži unutar greške od ±30% koja je usvojena u akcidentalnoj dozimetriji.

## Uvod

U akcidentalnoj dozimetriji, kao dobar dozimetrijski sistem smatra se onaj sa kojim se već nekoliko časova posle akcidenta može proceniti ukupno apsorbovana doza zračenja da bi se izvršilo izdvajanje osoba kojima je neophodna medicinska pomoć.

Veće preciznosti u proceni doze potrebne su tek kasnije u detaljnoj analizi rezultata dobijenih za dati akcident.

Za procenu neutronske doze neophodno je da hemijski sastav dozimetra bude konstantan i dobro poznat;metalni novac ispunjava oba uslova. Indukovana aktivnost u metalnom novcu mogla bi da posluži za procenu fluksa, kao i apsorbovane neutronske doze.

Nasuprot metalnom novcu, sastav različitih metalnih predmeta kao što su prstenje, satovi, dugmad, kopče, koji se nalaze na ozračenoj osobi, najčešće nije poznat.

U ovom radu ispitana je mogućnost korišćenja metalnog novca kao neutronskog dozimetra u akcidentalnim uslovima ozračivanja.

## 1. Odabiranje vrste metalnog novca za neutronski dozimetar

TABELA br. 1.

Podaci o tečajnom kovanom novcu Narodne banke Jugoslavije

| Nominalna vrednost | masa /g/ | Legura | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Nikl | Bakar | Cink | Aluminijum |
| 5 dinara | 6,75 | 12% | 70% | 18% | - |
| 2 dinara | 5,00 | 12% | 70% | 18% | - |
| 1 dinar | 3,80 | 25% | 75% | - | - |
| 50 para | 6,00 | - | 85% | 14,5% | 0,5% |
| 20 para | 4,00 | - | 85% | 14,5% | 0,5% |
| 10 para | 3,00 | - | 85% | 14,5% | 0,5% |
| 5 para | 1,50 | - | 85% | 14,5% | 0,5% |
| 50 st. din. | 6,00 | - | 91% | - | 9% |
| 20 st. din. | 4,00 | - | 91% | - | 9% |
| 10 st. din. | 3,00 | - | 91% | - | 9% |

Iz tabele br. 1 se vidi da legure od kojih su načinjeni komadi od 50, 20, 10, i 5 para, kao i 50, 20 i 10 starih dinara, sadrže visok procenat bakra i mnogo niži procenat cinka i aluminijuma. Legura od koje su načinjeni 5 i 2 nova dinara sadrže nešto niži procenat bakra, medjutim, cink je zastupljen sa višim procentom nego u svim ostalim legurama. Posebna legura od koje je načinjen 1 novi dinar je (75% Cu i 25% Ni) najpogodnija kombinacija

elemenata, odnosno izotopa jer se reakcije $^{63}Cu(69,1\%)$ sa termalnim i intermedijarnim neutronima i $^{58}Ni(67,9\%)$ sa brzim neutronima, koriste za odredjivanje apsorbovane neutronske doze u sklopu akcidentalnih neutronskih dozimetara(1).

Nuklearne reakcije sa Zn se ne koriste u akcidentalnoj dozimetriji. Radijacioni zahvat termalnih neutrona sa $^{64}Zn(48,9\%)$ daje $^{65}Zn$ čije je vreme poluraspada suviše dugo i nepogodno, $T_{1/2}$ =245 dana, a efikasni presek za ovu reakciju nije visok, o,47b. S druge strane, sa brzim neutronima, kao produkat reakcije (6=39mb) $^{64}Zn(n,p)^{64}Cu$, nastaje $^{64}Cu$ koji je takodje produkat reakcija $^{63}Cu$ sa termalnim i intermedijarnim neutronima.

Izotop $^{27}Al(100\%)$ ima veoma niske efikasne preseke na termalne (o,21b) i brze neutrone (3mb) a nastala radioaktivna jezgra imaju veoma kratka, za merenje aktivnosti nepogodna vremena poluraspada (12,3 i 1min.).

Odabrani metalni novac, 1 dinar, mase Q=(3,8o ± o,o5)g, sadrži 2,85g bakra i o,95g nikla. Aktivacioni efikasni presek za termalne neutrone za reakciju $^{63}Cu(n,\gamma)^{64}Cu$ je 4,5b, dok za intermedijarne neutrone rezonantni integralni efikasni presek iznosi 4,1b. Radioaktivno jezgro $^{64}Cu$ se raspada emisijom beta zračenja energije $E_{\beta^-}$=o,57MeV(38) i $E_{\beta^+}$=o,66MeV(19) i gama zračenja energija $E_\gamma$=1,32MeV(o,53) i $E_\gamma$=o,511MeV(38), sa vremenom poluraspada od $T_{1/2}$ =12,88 časova. Pored ove reakcije sa $^{63}Cu$, izotop $^{65}Cu(3o,9\%)$ takodje ima znatan efikasni presek na termalne i intermedijarne neutrone, medjutim,nastala radioaktivna jezgra $^{66}Cu$ imaju kratko vreme poluraspada (5,1min.), tako da je posle jednog časa njihova aktivnost zanemarljiva.

Za reakciju $^{58}Ni(n,p)^{58}Co$ sa brzim neutronima, aktivacioni efikasni presek je 105mb. $^{58}Co$ nastaje ne samo direktnom reakcijom, već i preko metastabilnog stanja, sa vremenom poluraspada $T_{1/2}$ =9,1čas; uticaj ovoga efekta se eliminiše ako se merenje aktivnosti vrši najmanje tri dana posle ozračivanja. $^{58}Co$ emituje beta zračenje $E_{\beta^+}$=o,48MeV(15) i gama zračenje $E_\gamma$=o,81MeV(100) i o,511 MeV(3o), sa vremenom poluraspada $T_{1/2}$ =71,3 dana. Pored ove reakcije sa brzim, $^{58}Ni$ reaguje i sa termalnim neutronima. Medjutim, vreme poluraspada od 7,5 x $10^4$ godina, čini da se za relativno kratko vreme ozračivanja aktivira veoma mali broj atoma ovoga izotopa.

Razmatranje sastava metalnog novca, pokazuje da relativno

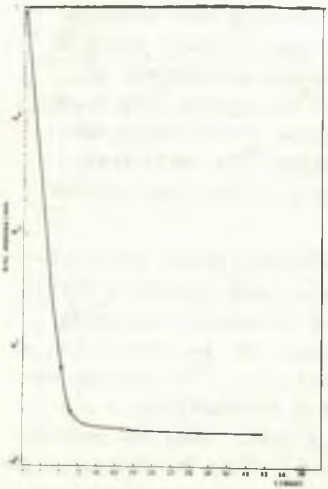
visoki aktivacioni efikasni preseci izotopa $^{63}Cu$ i $^{58}Ni$ na termalne, intermedijarne i brze neutrone, kao i pogodna vremena polaraspada i energije emitovanog zračenja, čine da 1 novi dinar predstavlja veoma pogodan akcidentalni neutronski dozimetar.

1.2. Merenje aktivnosti ozračenog novca

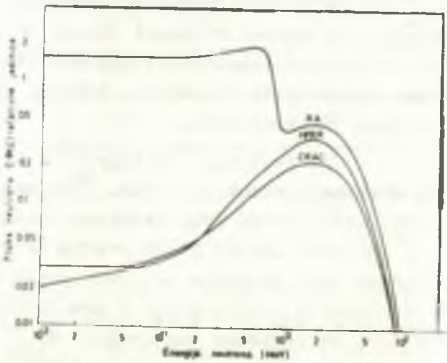
Najbolja merna tehnika za ovu vrstu analize je $\gamma$- spektrometrija, zbog visoke efikasnosti ove metode na $\infty$ debele uzorke. Efikasnost detekcije kristala NaJ(Tl) sa jamom, (4x4") za gama zračenje $^{64}Cu$ i $^{58}Co$ iz metalnog novca iznose 14,2% i 25,1%, respektivno.

Medjutim, merenje aktivnosti ozračenog novca može se izvršiti i GM brojačem, detekcijom beta zračenja $^{64}Cu$ i $^{58}Co$. Efikasnosti detekcije GM (Philips 18506) brojača na beta zračenje pomenutih izotopa su 0,31% i 0,38%, respektivno. Merenje aktivnosti $^{58}Co$ vrši se najmanje 8 dana posle ozračivanja (Slika br.1), kada je aktivnost $^{64}Cu$ zanemarljivo niska.

Komparativna merenja aktivnosti na GM brojaču i $\gamma$ - spektrometru pokazala su slaganje u granicama greške od $\pm$10%.



Slika br.1. Aktivnost 1 dinara merena na GM-18529, u funkciji vremena



Slika br.2. Oblik neutronskih spektara za nuklearna postrojenja RA,CRAC i HPRR

## 2. Odredjivanje fluksa neutrona pomoću metalnog novca

Ako je, što je najčešći slučaj, neutronski spektar nepoznat, integralni neutronski fluks se ne može jednostavno izvesti iz aktivnosti detektora. Da bi se problem pojednostavio, neutronski spektar je podeljen na tri komponente: fluks termalnih neutrona se meri preko radijacionog zahvata, fluks intermedijarnih neutrona se meri pomoću rezonantnih detektora, a fluks brzih neutrona se meri pomoću jednog ili više pražnih detektora. Iz poznatih aktivnosti detektora termalnih, intermedijarnih i brzih neutrona[2,3] moguće je odrediti vrednosti flukseva za sve tri komponente neutronskog spektra. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, za 1 dinar kao detektori termalnih, odnosno intermedijarnih neutrona služe $^{63}Cu$ i $^{63}Cu$ u Cd omotaču (d= 1 mm), a kao detektor brzih neutrona koristi se reakcija na $^{58}Ni$. Pri tome se spektar intermedijarnih neutrona može aproksimirati funkcijom 1/E dok je spektar brzih, odnosno fisionih neutrona opisan semiempiričkom jednačinom [3] $\phi(E_n) = k \cdot e^{-A E_n^{1/2}}$.

Procena fluksa neutrona za kanal VK-5 na reaktoru RA,Vinča, izvršena je na osnovu izmerenih aktivnosti novca, po jednačini $A_i = N_i \int f(E)\, \sigma(E)\, dE$, gde je $N_i$ - broj atoma detektora, f(E) - diferencijalni fluks neutrona i $\sigma(E)$ - diferencijalni efikasni presek za datu reakciju.

Fluksevi termalnih, intermedijarnih i brzih neutrona odredjeni preko neutronskih reakcija sa metalnim novcem, provereni su preko vrednosti flukseva odredjenih pomoću kompleta aktivacionih neutronskih detektora[4].

Debljina 1 dinara (d=1,45 mm) deformiše, odnosno vrši apsorpciju termalnih i intermedijarnih neutrona. To znači da će aktivnosti i fluksevi, odnosno doze termalnih i intermedijarnih neutrona odredjene pomoću novca zavisiti od orijentacije novca u odnosu na snop neutronskog zračenja. Faktor "samozaklanjanja" (selfshielding) termalnih neutrona odredjen je računski po jednačini [2] $G = (1-e^{n\sigma x})/ n\sigma x$, gde je n - broj atoma po $cm^3$ detektora, x - debljina novca (cm) i dobijeno je da iznosi 0,987; eksperimentalno odredjana vrednost je 0,910. Faktor "samozaklanjanja" intermedijarnih neutrona iznosi 0,723 (eksperimentalna vrednost).

## 3. Procena apsorbovane neutronske doze pomoću metalnog novca

Proces uzajamnog dejstva neutrona sa materijalom, funkcija je energije neutrona i atomskog sastava sredine. Energija predata materijalu po jedinici mase predstavlja apsorbovanu dozu, pa će za jednu istu vrstu zračenja, u ovom slučaju neutrona, pokazivanje dozimetra zavisiti od energije neutronskog zračenja. To znači da će jednake vrednosti flukseva neutrona različitog spektra energija, davati različite apsorbovane doze u materijalu dozimetra.

TABELA br. 2

Aktivnosti i odgovarajuće apsorbovane doze za sve tri komponente neutronskih spektara, za totalne akcidentalne neutronske doze od 25 rad i 100 rad

| Doza /rad/ | Termalni | | Intermedijarni | | Brzi | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | rad | dez/min | rad | dez/min | rad | dez/min |
| | | | RA, VK - 5 | | | |
| | 4,10 | $4,88 \cdot 10^{6}$ | 14.50 | $2.18 \cdot 10^{6}$ | 6,40 | 5,30 |
| | | | CRAC | | | |
| 25 | 0,11 | $1,32 \cdot 10^{5}$ | 2,08 | $4,05 \cdot 10^{5}$ | 22,81 | 18,70 |
| | | | HPRR | | | |
| | 0,02 | $2,44 \cdot 10^{4}$ | 0,55 | $8,24 \cdot 10^{4}$ | 24,43 | 20.20 |
| | | | RA, VK - 5 | | | |
| | 16,40 | $1,95 \cdot 10^{7}$ | 58,00 | $8.72 \cdot 10^{6}$ | 25,60 | 21.20 |
| | | | CRAC | | | |
| 100 | 0,44 | $5,28 \cdot 10^{5}$ | 8.32 | $1.62 \cdot 10^{6}$ | 91,24 | 74.80 |
| | | | HPRR | | | |
| | 0,08 | $9,76 \cdot 10^{4}$ | 2,20 | $3,30 \cdot 10^{5}$ | 97,72 | 80,80 |

Da bi se uspostavila veza izmedju doze apsorbovane u telu ozračene osobe koja nosi neutronski dozimetar, i fluksa odredjenog pomoću pomenutog detektora, koristi se vrednost "površinski apsorbovane doze" (surface absorbed dose)[5] po jediničnom neutronskom fluksu, u funkciji energije neutrona. To je srednja doza koju apsorbuje prednja površina elementa tkiva debljine 2 cm od sredine cilindričnog fantoma.

U tabeli br. 2 date su eksperimentalno odredjene i obračunate vrednosti aktivnosti i apsorbovanih doza, posebno od termalnih, intermedijarnih i brzih neutrona pomoću metalnog novca (1 dinar) za tri tipa neutronskih spektara: reaktora RA-VK 5, CRAC (Francuska) i HPRR (SAD), za dve vrednosti akcidentalnih heutronskih doza. Oblik neutronskih spektara sa navedenih nuklearnih postrojenja dat je na slici br. 2. Relativni odnosi flukseva termalnih, intermedijarnih i brzih neutrona iznose: za spektar RA-VK 5, 36,79:22,80:1,; za CRAC ( oko 5 m od postrojenja), 0,28:0,93:1; za HPRR (3 m od tela reaktora), 0,048:0,106:1.

## Analiza rezultata

Poseban vid korišćenja metalnog novca ili slične legure za procenu apsorbovane neutronske doze jeste u slučaju nekontrolisanog ozračivanja ljudi u većim akcidentima oko nuklearnih reaktora ili pri eksplozijama nuklearnog oružja sa visokim neutronskim fluksevima.

U ovakvim slučajevima, kada se dozimetar nalazi na većem rastojanju od mesta akcidenta, fluks termalnih neutrona naglo opada sa rastojanjem tako da će ukupna apsorbovana doza poticati samo od intermedijarnih i brzih neutrona.

Medjutim, zbog uticaja ljudskog tela koje je veoma dobar termalizator i reflektor neutrona, jedan deo neutrona viših energija će biti termalizovan i kao takav doprineti da osoba primi dodatnu dozu od "sekundarnih" termalnih neutrona[6]. Stavljanjem metalnog novca u Cd omotač postiže se apsorpcija termalne komponente neutronskog fluksa.

Ako bi svaka osoba potencijalno izložena akcidentalnom ozračivanju raspolagala sa 1 dinarom u Cd omotaču, merenjem aktivnosti dinara na GM brojaču i korišćenjem odgovarajućih tablica, slično tabeli br.2, dobila bi se apsorbovana neutronska doza koju je primilo ozračeno lice. U prvoj proceni totalno apsorbovane doze, komponenta od brzih neutrona se takodje tablično odredjuje.

Po usvojenim svetskim kriterijumima[7] nekoliko časova posle akcidenta dopušteno je odstupanje procenjene doze za faktor tri da bi se posle nekoliko dana faktor odstupanja snizio na 1,5 u odnosu na pravu dozu. Ova metoda treba da omogući ispunjavanje postavljenih uslova.

Resume

The basic requirement for criticality accident dosimetry may be defined that the dosimetric system can provide personal dose estimates at the required time and the required accuracies.

In this work the possibility of use coins as the criticality neutron dosimeter was studied. The selected coin 1 dinar has the composition 75% copper and 25% nickel; relatively high values for the activation cross sections for the reactions with thermal, intermediate and fast neutrons make it convenient as neutron dosimeter.

The absorbed neutron doses estimated by this method, in the case of an accidental irradiation with high neutron fluxes may be accomplished to an accuracy of ±30%.

Bibliografija

1. Mirić I., Prokić M., et al, IBK - 775 (1969)
2. Zijp W.L., RCN - 37 (1965)
3. Zijp W.L., RCN - 40 (1965)
4. Mirić I., et al, 2nd Congress of IRPA, Brighton (1970)
5. Adams N., AHSB(RP)R 100 (1970)
6. Dennis J.A., AERE - R 5667 (1968)
7. Adams N., AHSB(RP)R 94 (1969)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25 do 28 aprila 1972. godine

M.Simović, Lj.Dobrilović, M.Kolarž, Dj.Bek-Uzarov, A.Milojević
Institut "Boris Kidrič" - Vinča
Odeljenje metrologije radioaktivnih izotopa

# MONOMOLEKULARNI RADIOAKTIVNI IZVORI $^{51}Cr$

Prenošenjem monomolekularnih slojeva $^{51}Cr$ - stearata sa tečnog na čvrsti substrat metodom Langmuir-Blodgett dobijeni su radioaktivni izvori $^{51}Cr$ debljine mono- i poli-molekularnih slojeva. Ispitivani su brzina i stepen interakcije izmedju monomolekularnog sloja stearinske kiseline i jona $^{51}Cr$ iz vodenog rastvora $CrCl_3$. Homogenost radioaktivnih izvora i Langmuir-Blodgett postupak prenošenja proveravani su autoradiografskom metodom. Pokazalo se da se samoapsorpcija KX-zraka i KAuger elektrona u izvorima sa 2, 4 i 6 monomolekularnih slojeva $^{51}Cr$ stearata ne zapaža.

Pri proučavanju elektron zahvatnih izotopa jednu od glavnih teškoća predstavlja velika apsorpcija niskoenergetskih Auger elektrona u materijalu izvora. Pravljeni su pokušaji da se ovaj problem reši razvojem metoda za dobijanje tankih i homogenih izvora. Medjutim, sa do sada razvijenim metodama za dobijanje tankih radioaktivnih izvora, elektro deponovanjem, naparavanjem u vakuumu i elektro sprejingom, nije u potpunosti eliminisan efekat samoapsorpcije za Auger elektrone niskih energija. Za sada jedina metoda koja omogućava dobijanje radioaktivnih izvora sa zanemarljivim efektom samoapsorpcije je metoda izrade monomolekularnih slojeva sa adsorbovanim radioaktivnim izotopom koja za elektron zahvatne izotope nije razvijena.

Princip metode dobijanja radioaktivnih izvora pomoću monomolekularnih slojeva /1,2,3/ zasnovan je na fenomenu adsorpcije radioaktivnih katjona u monomolekularni sloj (MMS) površinski aktivne supstance na granici izmedju tečne i gasovite faze. Površinski aktivne supstance kao što su više masne kiseline ili alkoholi obrazuju na površini vode ili rastvora orijentisani monomolekularni sloj koji se može preneti na čvrst substrat. Monomolekularne radioaktivne izvore elektron zahvatnih izotopa prelazne grupe metala moguće je dobiti samo sa višim masnim kiselinama, koje imaju

više od 14 ugljenikovih atoma, pošto one daju nerastvorna jedinjenja sa katjonima ovih izotopa.

Prenošenjem monomolekularnog sloja sa adsorbovanim radioaktivnim izotopom na čvrsti substrat (plastičnu, keramičku, metalnu ili neku drugu čvrstu podlogu) dobijaju se mono- ili polimolekularni radioaktivni izvori.

Postupak za dobijanje monomolekularnih slojeva

Na površinu vodenog rastvora $^{51}CrCl_3$ koncentracije $C_M$ /mol/l/ pH=5,5 /4/, nanosi se 0,07 $cm^3$ rastvora stearinske kiseline u benzolu. Posle rasprostiranja rastvora stearinske kiseline na površini tečne faze obrazuje se MMS površine f · F i površinske gustine 1/ó /molekul/$cm^2$/, tako da je

$$V = \frac{10^3 \cdot f \cdot F}{C_M \cdot ó \cdot N_A} \quad /cm^3/$$

gde je:

$N_A$ - Avogadrov broj /$mol^{-1}$/

f - deo ukupne površine substratnog rastvora koji je pokriven sa MMS stearinske kiseline,

F - ukupna površina rastvora /$cm^2$/

ó - površina po molekulu stearinske kiseline /$cm^2$/molekul/

Za održavanje i obrazovanje kompaktnog MMS korišćena je tehnika "uljnog klipa" /5,6/. Da bi se mogao dobiti MMS na površini tečnog substrata potrebna je visoka čistoća površine. U protivnom, prilikom nanošenja rastvora stearinske kiseline ne razvija se MMS već se obrazuje sočivo.

Aparatura

Na slici 1 prikazana je aparatura za dobijanje i prenošenje MMS. Ona se sastoji od kade (a) i dizalice (b). Kada služi za držanje radioaktivnog rastvora iz koga se vrši adsorpcija radioaktivnih katjona u MMS.

Kada ima plitki deo površine (22,1 x 16,5) $cm^2$ i završava se jamom veličine (4,6 x 16,5) $cm^2$ koja služi za zagrljurivanje prstenova sa čvrstim supstratom. Veličina kade omogućava dobijanje MMS slojeva ukupne površine od 440 $cm^2$. Zidovi kade su prevučeni parafinom kako bi se interakcija izmedju radioaktivnog rastvora i zidova svela na minimum. Za ispuštanje radioaktivnog rastvora iz kade predvidjen je ispust (d).

Posle svakog eksperimenta vrši se dekontaminacija kade i uklanja se parafin sa zidova.

Sl. 1. Aparatura za dobijanje i prenošenje monomolekularnih slojeva.

Dizalica (b) služi za prenošenje MMS sa površine rastvora na površinu čvrstog substrata. Da bi se pri prenošenju MMS dobio homogen i neoštećen izvor, potrebno je da brzina spuštanja i podizanja prstena sa čvrstim substratom bude mala i ravnomerna. Nadjeno je da optimalna brzina iznosi 3,3 mm.$s^{-1}$. Manje brzine ne poboljšavaju homogenost, dok pri većim brzinama prsten sa čvrstim supstratom povlači sa sobom kapi radioaktivnog rastvora. Aparatura se mora tako izvesti da se vibracije svedu na minimum, i na taj način izbegne deformisanje i prskanje MMS-a.

Materijali

Za izradu monomolekularnih radioaktivnih izvora $^{51}Cr$ korišćeni su sledeći materijali:

- Adsorpcioni rastvor $^{51}CrCl_3$ koncentracija $10^{-8}$ - $10^{-6}$ mol/l, specifičnih aktivnosti 20-30 Ci/g. Za podešavanje pH korišćeni su 12M HCl i 10%KOH.
- Za obrazovanje MMS - 3,5.$10^{-3}$M rastvor stearinske kiseline "REANAL" Budapest u p.a. benzolu.
- Kao čvrsti substrat - pozlačene VYNCE-folije površinske gustine 40 μg/$cm^2$ Au.

Adsorpcija $^{51}Cr(3+)$ - jona u MMS stearinske kiseline

Za datu koncentraciju radioaktivnog izotopa u rastvoru, odabranu vrednost pH rastvora i pri postizanju ravnotežne adsorpcije, aktivnost MMS data je sa:

$$A = \frac{\alpha \cdot \lambda}{\sigma} \frac{N_{akt}}{N_{uk}} [\mathring{A}/s/cm^2]$$

gde je:

$\alpha$ - stepen zasićenja MMS definisan kao

$$\frac{\text{broj adsorbovanih neaktivnih i aktivnih Cr-atoma/cm}^2}{\text{broj molekula stearinske kiseline/cm}^2}$$

$\sigma$ - površina u $cm^2$ po molekulu stearinske kiseline;

$\frac{N_{akt}}{N_{uk}}$ - deo aktivnih atoma Cr od ukupnog broja Cr-atoma.

Postizanje visokih $\alpha$ vrednosti i saturacione adsorpcije katjona u MMS moguće je samo pri koncentracijama koje su veće od $C_{zas\ MMS}$ a koja je data sa:

$$C_{zas\ MMS} = \frac{10^3}{\sigma \cdot N_A} \cdot \frac{F}{V} [mol/l]$$

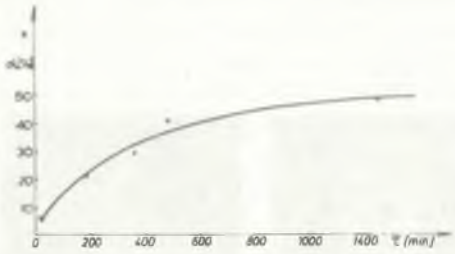
gde je:

F - površina adsorpcionog rastvora $[cm^2]$ a

V - zapremina adsorpcionog rastvora $[cm^3]$.

Vrednost za $\alpha$ zavisno od koncentracije radioaktivnog izotopa i pH vrednosti rastvora može se razlikovati za sto i više puta. U slučaju adsorpcije $^{51}Cr$ iz rastvora koncentracija $C_1 = 2,87.10^{-6}$ M (pH = 4,6) i $C_2 = 4,76.10^{-6}$ M (pH = 4,0), odgovarajuće vrednosti za $\alpha$ iznosile su 48,2% i 2,4%, što ukazuje na dominantan uticaj pH rastvora na stepen zasićenja i postignutu radioaktivnost u MMS.

U pomenutom slučaju, takodje je ispitivana adsorpcija $^{51}Cr$ u MMS stearinske kiseline za vreme interakcije od 30 minuta do 24 časa. Rezultati ispitivanja su prikazani na sl. 2, odakle se može zaključiti da se za razmatrano područje koncentracija posle 24 časa uspostavlja ravnotežno stanje.




Sl. 2. Stepen zasićenja $\alpha$ MMS stearinske kiseline sa Cr(3+) jonima u zavisnosti od vremena interakcije. ($C_M = 2,87.10^{-6}$ mol/l, pH = 4,6).

Postupak za dobijanje radioaktivnih izvora

Za prenošenje MMS zasićenog sa $^{51}Cr(3+)$-katjonom (posle 24 časovne adsorpcije) sa tečnog na čvrst substrat, koriste se aluminijumski prstenovi koji su sa jedne strane prekriveni pozlaćenom VYNCE folijom koja služi kao čvrst substrat, a sa druge strane samo čistom VYNCE folijom kao sredstvom za maskiranje. Pomoću dizalice (b) sl. 1, aluminiumski prsten sa čvrstim substratom se polako spušta kroz MMS i pri tome se hidrofobni krajevi stearinske kiseline hvataju za foliju. Pri izvlačenju prstena iz rastvora, na hidrofilne krajeve, već prionutog MMS za čvrsti substrat, vezuju se hidrofilni krajevi novog MMS. Posle vadjenja, prstenovi se ispiraju u bidestilisanoj vodi, skida se maska, a pozlaćena VYNCE folija sa bimolekularnim slojem prenosi se na nosač. Takvim postupkom dobijaju se bimolekularni radioaktivni izvori.

Karakteristike radioaktivnih izvora

Kompaktnost MMS i homogenost ugradnje $^{51}Cr$ u MMS stearinske kiseline ispitani su autoradiografskom metodom. Za autoradiografiju su se koristili ILFORD PM-1

filmovi postavljeni na 0,1 mm rastojanja od radioaktivnog izvora. Gustine zacrnjenja u svim slučajevima su se nalazile u linearnom području krive zacrnjenja foto emulzije. Na sl. 3 prikazani su tipični autoradiografski snimci uzorka kod koga je došlo do homogene ugradnje $^{51}Cr$ u MMS, kao i uzorka kod koga je pri prenošenju MMS sa tečnog na čvrst substrat došlo do prskanja MMS .

(a) (b)

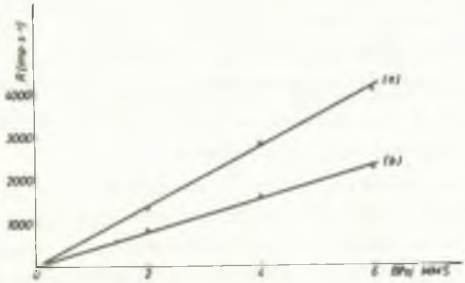
Sl. 3. Autoradiografski snimci bimolekularnih radioaktivnih izvora $^{51}Cr$. (a) Homogena ugradnja $^{51}Cr$ u MMS stearinske kiseline (b) Naprsli MMS stearinske kiseline.

Reproduktivnost prenošenja MMS sa tečnog na čvrsti substrat ispitana je preko apsolutnih merenja radioaktivnosti $^{51}Cr$ ugradjenog u MMS. Monomolekularni izvori $^{51}Cr$ mereni su $4\pi$ X–$\gamma$ koincidentnom metodom. Kao detektor X-zračenja i Auger elektrona korišćen je $4\pi$ proporcionalan brojač sa gasnim punjenjem $Ar + CH_4$(9:1) na pritisku od 3 atm. Za detekciju $\gamma$-zračenja korišćena su dva kristala NaJ(Tl) ø 100x80 mm. Aktivnosti osam izvora $^{51}Cr$ dobijenih od jednog istog MMS pokazivale su maksimalno otstupanje +2% i -1,7% od srednje vrednosti, što ukazuje na reproduktivnost prenošenja MMS.

<u>Samoapsorpcija KX-zračenja i KAuger elektrona $^{51}Cr$ (E.C) $^{51}V$ u monomolekularnim radioaktivnim izvorima</u>

Da bi se ispitala samoapsorpcija KX zračenja i K Auger elektrona $^{51}Cr(E.C)^{51}V$ u monomolekularnom izvoru, iz istog MMS napravljeni su izvori $^{51}Cr$ sa 2, 4 i 6 monomolekularnih slojeva, na pozlaćenim VYNCE folijama istih površinskih gustina. Brzina brojanja (korigovana za osnovnu aktivnost i mrtvo vreme) KX zračenja +K Auger elektrona, prava (a), kao i K Auger elektrona, prava (b), u $4\pi$ proporcionalnom bro-

jaču, praćena je u funkciji broja monomolekularnih slojeva (sl. 4). Selektivna detekcija KX zračenja sa K Auger elektronima, nezavisno od detekcije K Auger elektrona postignuta je izborom radnog gasa brojača. Za detekciju KX zračenja + K Auger elektrona korišćena je Ar + $CH_4$(9 : 1) na pritisku od 3 atm. a za K Auger elektrone He + $C_4H_{10}$ (9,9 : 0,1) na pritisku od 1,1 atm. Sa grafika na slici 4. vidi se da postoje linearne zavisnosti brzine brojanja KX zračenja + K Auger elektrona odnosno K Auger elektrona, od broja monomolekularnih slojeva. To ukazuje da se samoapsorpcija K Auger elektrona i KX zračenja ne može zapaziti pri debljinama do 6 MMS-a, pa se i faktor samoapsorpcije može zanemariti.




Sl. 4. Brzina brojanja KX-zračenja + K Auger elektrona (a) i K Auger elektrona (b) u funkciji broja monomolekularnih slojeva.

Summary

Transferring monomolecular layers from the liquid to the solid substratum by means of Langmuir-Blodgett technique mono- and multi-molecular radioactive sources of $^{51}Cr$-stearate have been obtained. The rate and degree of interaction between $^{51}Cr$ ions from the $CrCl_3$ aqueous solution and stearic acid monomolecular layer have been investigated. Homogeneity of radioactive sources and Langmuir-Blodgett transference procedure have been tested autoradiographically. Measuring the counting rate of Auger electrons as function of thickness up to 6 monomolecular layers the phenomenon of selfabsorption was not observed. Hence, selfabsorption of such radioactive sources can be neglected.

REFERENCE:

1. Beisher D. E., Nucleonics, 11 (No.12), 24 (1953).
2. Haworth D. T., et.al., Nucleonics, 13(No.11), 119(1955).
3. Kucentov L. M., Fleišer V.G., IAN SSSR, ser.fiz., 30(No.3), 455 (1966).
4. Glazer I., Dogan M. Z., Trans. Farad. Soc., 49, 448 (1953).
5. Gains G. L., Jr, Jour. Coll. Sci., 15, 323 (1960).
6. Blodgett K. B., Jour. Amer. Chem. Soc., 57, 1007 (1935).

VI simpozij Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

D.Srdoč
Institut "Rudjer Bošković", 41001 Zagreb, POB 1016

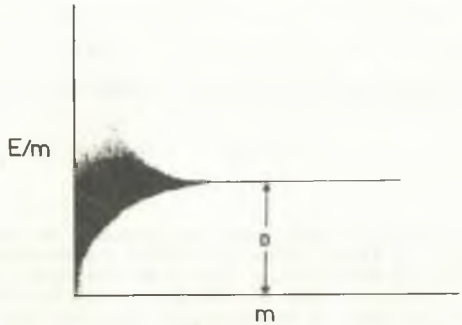
# RASPODJELA ENERGIJE ZRAČENJA U TKIVU; MJERNA TEHNIKA I REZULTATI

Prikazan je uredjaj koji predstavlja model za ispitivanje djelovanja zračenja na tkivo veličine stanice. Razmatrana je problematika distribucije absorbirane doze u mikroskopski malim djelovima tkiva, promjera 1 µm ili manje. Opisan je eksperimentalni uredjaj koji se sastoji od sferičnog proporcionalnog brojača i pripadne elektronike za obradu signala. Kalibracija uredjaja se vrši pomoću mekanog monokromatskog rendgenskog zračenja. Prikazani su izmjereni podaci o raspodjeli absorbirane doze u volumenima tkiva promjera 0.5, 1 i 2 µm u promjeru.

## 1. Uvod

Mikrodozimetrija se razvila posljednjih desetak godina kao posebna grana interdisciplinarnog pristupa izučavanju djelovanja ionizirajućeg zračenja na materiju, posebno na tkivo organizma. Osobitost tog pristupa je izučavanje elementarnih reakcija, za razliku od promatranja sumarnih procesa, čime se uglavnom bavi klasična dozimetrija. Povezanost s klasičnom dozimetrijom a ujedno i suština problematike koja se tretira u mikrodozimetriji može se uočiti promatrajući grafički prikaz tih odnosa na sl.1. Zamislimo da podesnim instrumentom mjerimo omjer E/m, tj. absorbiranu dozu (ordinata, sl.1) u sve manjim djelićima mase m jednog jednoliko prozračenog tijela. Gotovo idealan slučaj predstavlja npr otopina soli nekog dugoživućeg radionuklida u vodi. Uzimamo li uzorke od nekoliko grama i mjerimo absorbiranu dozu u istim vremenskim intervalima, dobiti ćemo praktički neovisni

omjer E/m o količini uzete mase m (sl. 1, desna strana krivulje).




Sl.1 - Apsorbirana doza E/m u ovisnosti o masi m (1).

Medjutim, kad masa uzetog uzorka padne ispod odredjene veličine, mjerni rezultati nece više pokazivati konstantni omjer E/m u uzastopnim mjerenjima. Što više, kod vrlo malih uzoraka (veličine ispod 1 µg) pokazati će se - na veliko iznenadjenje neupucenog eksperimentatora - da vrlo veliki broj mikroskopski malenih uzoraka ne dobiva nikakvu dozu, tj. ne apsorbira energiju, dok izvjestan mali broj uzoraka apsorbira dozu koja veoma odstupa od srednje vrijednosti E/m koju smo izmjerili na velikim uzorcima (sl.1, lijeva strana krivulje). Uzroci takvih pojava leže u prostorno diskontinuiranoj raspodjeli energije deponirane zračenjem, što je uvjetovano slučajnim procesima pri interakciji nabijenih čestica s materijom.

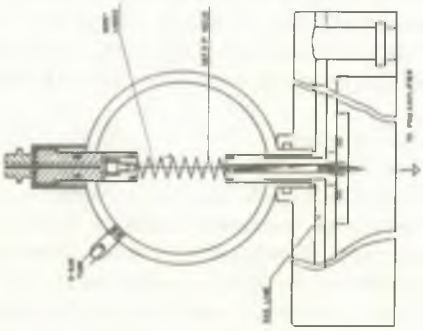
Posljedice diskontinuiranog deponiranja energije ionizirajućeg zračenja od dalekosežnog su značaja za radiobiologiju i izučavanje radijacione bolesti. Velika lokalna koncentracija deponirane energije s jedne strane i submikronske dimenzije

osjetljivih djelova stanice s druge strane rezultiraju s veoma složenom uzajamnom zavisnošću. Zbog toga do danas nije uspjelo postaviti pouzdanu hipotezu o načinu djelovanja zračenja na živu stanicu niti čvrsto povezati fizikalne veličine kao npr lokalnu raspodjelu doze ili LET (linearni prijenos energije, engl.: Linear Energy Transfer) s radiobiološkim efektom. Upravo ta činjenica otvara široke mogućnosti za istraživački rad interdisciplinarnog karaktera te stoga na području mikrodozimetrije susrećemo teoretske i eksperimentalne fizičare, kemičare i radiobiologe u timskom radu. Slijedećih nekoliko poglavlja dati će kratak, sažet prikaz eksperimentalne tehnike i mjernih rezultata.

## 2. Eksperimentalna tehnika

Eksperimentalna mjerenja u mikrodozimetriji u većini se slučajeva zasnivaju na korištenju modela, jer današnji stepen razvoja mjerne instrumentacije ne omogućava mjerenje doza u mikroskopski malenim djelićima mase. Najuspješniju metodu simuliranja malih volumena tkiva razvili su Rossi i Rosenzweig (2) s Columbia Univerziteta. Naši mjerni uredjaji razvijeni su na osnovu citiranog rada. Suština eksperimentalne metode sastoji se u mjerenju naboja nastalog u malom volumenu plina. Sastav plina približno odgovara sastavu tkiva, a masa plina odgovara djeliću tkiva veličine oko 1 μm u promjeru. Na taj način, uz brojne eksperimentalne i tehničke pojedinosti uspjelo je izgraditi model koji po dimenzijama odgovara veličini pojedine stanice. Fizikalni procesi deponiraju energije u tom modelu gotovo su identični s procesima u stanici. To se odnosi na prostornu i vremensku raspodjelu stvorenih električnih naboja, dakle procesa koji zavise o atomskom sastavu medija, dok se kemizam i biofizički procesi za sada tim putem ne mogu proučavati. Sl.2 prikazuje šematski crtež modificiranog Rossijevog brojača (3) za mjerenje mikrodozimetrijske raspodjele apsorbirane doze u vrlo malim djelićima tkiva, promjera ispod 1 μm. U osnovi, uredjaj se sastoji od sferičnog proporcionalnog brojača kroz koji protiče tkivo-ekvivalentni plin (smjesa $CH_4$, $CO_2$ i $N_2$) radi održavanja čistoće plina, a time i konstantnog plinskog pojačanja. Tlak plina u brojaču definira tzv. ekvivalentni promjer simuliranog djelića tkiva; jedna pogodnost ove izvedbe je mogućnost mijenjanja tlaka u brojaču, a time i veličine simuliranog

simuliranog volumena. Stijenka brojača izradjena je od tkivo-ekvivalentnog plastika. Elektronički uredjaj je opisan detaljnije u članku "Mjerenje faktora kvalitete zračenja metodom mikrodozimetrije" (4)



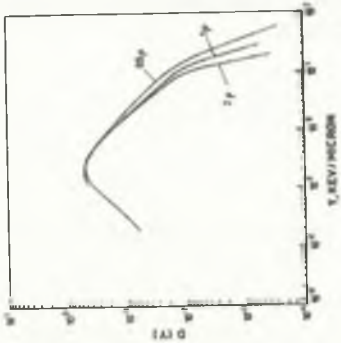
Sl. 2 - Modificirani Rossijev brojač za mikrodozimetrijska mjerenja.

Jedna osobitost ovog sistema jest uredjaj za kalibraciju u obliku minijaturne rendgenske cijevi koja emitira karakteristične zrake vrlo niske energije. Mi koristimo k-liniju aluminija ( E = 1486 eV) za kalibraciju proporcionalnog brojača.

3. Rezultati

Iz niza izmjerenih distribucija izdvojili smo raspodjelu deponiranja energije u sferičnim djelićima tkiva promjera 0.5, 1 i 2 $\mu$m, obasjanim gama zrakama od $^{60}$Co. Uočljiv je izvanredno široki dijapazon apsorbirane doze u jednom djeliću tkiva promjera 1 $\mu$m. Ovaj tip izmjerene distribucija koristi se za usporedbu sa krivuljama preživljavanja s ciljem eksperimentalnog provjeravanja hipo-

teza o radijacionom oštećenju stanica. Druga primjena ovih mjerenja je u zaštiti od ionizirajućeg zračenja pri odredjivanju tzv. Q faktora kako je detaljnije opisano u članku: "Mjerenje faktora kvalitete zračenja metodom mikrodozimetrije" (4).



Sl. 3 - Raspodjela apsorbirane doze u djelićima tkiva promjera 0.5, 1 i 2 $\mu$m.

Dose distribution patterns in a small tissue volume have been considered theoretically and measured experimentally. A modified Rossi counter has been used for measurements. The experimental set up as well as the electronics are briefly discussed. Several examples of absorbed dose distributions for spherical tissue volumes 0.5, 1 and 2 $\mu$m in diameter are shown.

4. Literatura

1. Rossi, H.H.: Radiation Dosimetry, edited by F.Attix and W.C. Roesch, Academic Press, New York, str. 44, (1968).

2. Rossi, H.H. and Rosenzweig, W.: Radiology, 64, 404, (1955).

3. Srdoč, D.: Rad.Res., 43, 2, 302, (1970).

4. Breyer, B.: VI simpozij Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Ohrid, (1972).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

J. Sušnik
Institut "Jožef Stefan"
L j u b l j a n a

# DOZNO POLJE PO NAJHUJŠI PROJEKTNI NEZGODI

Abstrakt

Postopek izračuna doz v okolici nuklearne elektrarne po najhujši projektni nezgodi je za elektrarno z lahkovodnim reaktorjem danes že dokaj ustaljen. Navedli smo glavne predpostavke, glede razpoložljivega inventarja izotopov joda in plemenitih plinov, upoštevanje reaktorske zgradbe in vremenskih prilik v času 1 meseca, kolikor se računa, da traja sproščanje radioaktivnih snovi. Navedena primera ilustrirata postopek in kažeta vpliv nekaterih varnostnih parametrov nuklearne elektrarne na dozno polje v njeni okolici.

## UVOD

Za zagotovitev varnosti ima reaktor posebne zaščitne naprave, katerih naloga je posredovati v primeru takih okvar na procesnem sistemu, ki bi za prebivalstvo v okolici nuklearne elektrarne (NE) lahko sicer imele nesprejemljive posledice. Več o teh sistemih najdemo n.pr. v (1).

Učinkovitost, trajanje posredovanja in zanesljivost varnostnih sistemov se od izvedbe do izvedbe tudi pri reaktorjih enakega tipa lahko dokaj razlikujejo. Reaktor ne sme predstavljati nesprejemljivega tveganja za okolico celo v primeru, če pride do takoimenovane največje projektne nezgode, do zloma cevi največjega premera v primarnem hladilnem krogu. Ena od nalog varnostne analize NE je ugotoviti dozno polje v njeni okolici po najhujši projektni nezgodi in ga primerjati s sprejetimi kriteriji.

Predvsem nas zanima pri izlivnih nezgodah za okolico najnevarnejši jod 131 ter zlasti v neposredni bližini nuklearne elektrarne tudi plemeniti plini (2).

Kriteriji dopustne potencialne izpostavljenosti prebivlastva za primer nezgod, takoimenovani akcijski nivoji, po svetu niso enotni (25 rem, 300 rem za ščitnico). Ena od nalog jugoslovanskega društva za radiološko zaščito je gotovo tudi ta, da o tem zavzame stališče in ga priporoči organom, ki so pristojni za izdajo gradbenega dovoljenja nuklearnih elektrarn.

V tem prispevku želimo podati postopek izračuna v okolico sproščenih aktivnosti in doz po nezgodi v lahkovodnih reaktorjih in osvetliti učinek izbire nekaterih parametrov varnostnih sistemov NE.

## IZRAČUN SPROŠČENIH AKTIVNOSTI

Navedli bomo predpostavke, ki jih je usvojila ameriška AEC (3,4). Predpostavke so konservativne, a sprejemljive za običajne izvedbe lahkovodnih reaktorjev na ne preveč neobičajnih lokacijah. Predpostavke sproščanja iz goriva in iz reaktorske zgradbe:

Iz reaktorske zgradbe (iz notranje lupine reaktorske zgradbe pri dvojnem kontejnmentu) so takoj ob nastopu nezgode za pobeg na razpolago naslednji deleži ravnotežnega inventarja radioaktivnih snovi, ki so v sredici po obratovanju na polni moči:

(a) 25% radioaktivnega joda, z naslednjo sestavo:

| | | BWR | PWR |
|---|---|---|---|
| elementarna oblika | .... | 87 % | 85 % |
| v delcih | .... | 5 % | 5% |
| organski jodidi | .... | 8 % | 10 % |

(b) 100 % plemenitih plinov

(c) Upošteva se radioaktivni razpad med zadrževanjem v reaktorski zgradbi.

(č) Lahko se upošteva znižanje inventarja za pobeg razpoložljivih radioaktivnih snovi, ki ga povzroči delovanje sistema za prhanje atmosfere reaktorske zgradbe, delovanje recirkulacijskega filtrirnega sistema ali delovanje kakega drugega vgrajenega varnostnega sistema. Velikost znižanja inventarja radioaktivnih snovi pa se za vsako nuklearno elektrarno vrednoti individualno.

(d) Primarna reaktorska zgradba (notranja lupina pri dvojnem kontejnmentu) pušča z $\alpha$, vol.%/dan. Za $\alpha$ se vzame vrednost iz tehničnih specifikacij pri maksimalnem nadtlaku in sicer: pri BWR za ves čas trajanja nezgode (1 mesec); pri PWR za prvih 24 ur navedeno vrednost, nato pa polovično jakost.

Z upoštevanjem gornjih predpostavk in učinkovitosti delovanja varnostnih sistemov izračunamo $A_{ij}$, to je aktivnost izotopa j, ki se sprosti v okolico nuklearne elektrarne v časovnem intervalu i, i = 1, 2, 3, 4. Pri tem je i = 1 za časovni interval prvih 8 ur; i = 2 za časovni interval od 8 - 24 ur; i = 3 za interval od 1 - 4 dni in i = 4 za časovni interval od 4 do 30 dni.

## IZRAČUN DOZNEGA POLJA

Seznanili smo se s postopkom izračuna sproščenih aktivnosti. Zdaj si oglejmo še, kolikšno dozo povzroči ta sproščena aktivnost. Predvsem nas zanima v obravnavani nezgodi za okolico najnevarnejši jod in pa plemeniti plini.

V (3,4) so navedene predpostavke za računanje doze celotnega telesa, ki jo to prejme, ker je takorekoč potopljeno v oblaku radioaktivnih plinov, kot tudi za dozo ščitnice, do katere pride zaradi vdihavanja radioaktivnega joda. Predpostavke so dokaj obsežne in vsaj na prvi pogled zapletene; bistvene postavke bomo tu skušali podati v pregledni obliki, jih delno dopolnili in tako olajšali uporabo omenjenih virov.

Na velikost doze (rem), ki bi jo posameznik prejel na mestu r v oddaljenosti d (km) od reaktorske zgradbe, močno vpliva vreme in pa koncentracija aktivnosti v oblaku, ki je v bližini NE močno odvisna od višine izvora.

- $P_{km}$ je verovatnoća zahvata elektrona sa K ljuske $^{54}Mn$

- $W_{km}$ K-fluorescentni prinos.

Koristeći iste oznake, može da se napiše:

$$E_f = a_f \, g_f \, P_{kf} \, (1 - S_f). \tag{8}$$

Ukupna emisija X zraka $^{55}Fe$ je:

$$N_f \, P_{kf} \, W_{kf} = A_f \, \frac{1}{a_f \, g_f \, (1 - S_f)} \tag{9}$$

odakle sledi:

$$\frac{A_f}{a_f \, g_f \, P_{kf} \, W_{kf}} = N_f \, (1 - S_f). \tag{10}$$

Ako pretpostavimo da postoji proporcionalnost izmedju samoapsorpcije $^{55}Fe$ i samoapsorpcije $^{54}Mn$, može se napisati

$$S_f = k \, S_m \qquad \text{gde je } k<1$$

Stavljajući ovo u izraz za ukupnu emisiju X zraka po jedinici mase, dobijamo:

$$F(S_m) = \frac{A_f}{a_f \, g_f \, P_{kf} \, W_{kf} \, m_f} \, \frac{N_f}{m_f} \, (1 - kS_m) \tag{11}$$

gde je $m_f$ masa rastvora $^{55}Fe$. $S_m$ se odredjuje iz jednačine (7).

$$S_m = 1 - \frac{E_m}{a_m \, g_m \, P_{km} \, W_{km}}$$

vrednosti za $E_m$, $a_m$ i $g_m$ se eksperimentalno odredjuju, a $P_{km}$ i $W_{km}$ su konstante. Upotrebom različitih izvora dobijenih dodavanjem neaktivnog nosača u manganu menja se vrednost izraza $F(S_m)$. Vrednosti za $A_f$ dobijaju se eksperimentalno iz jednačine (6).

Crtajući grafik $A_f/m_f$ u funkciji $S_m$ dobija se prava linija koja se ekstrapoliše na vrednost $S_m = 0$.

Izotopi koji 100% prelaze u osnovno stanje mogu u principu da se standardizuju merenjem koincidencija izmedju X zračenja i unutrašnjeg zakočnog zračenja.(7) Verovatnoća emisije unutrašnjeg zakočnog zračenja je veoma mala, što uslovljava da odbroj koincidencija takodje bude veoma mali, zbog čega ova metoda zahteva visoku radiohemijsku čistoću. Dovoljno je da $^{55}Fe$ sadrži samo 0,01% $^{59}Fe$ i da se koincidentno merenje ne može primeniti.

Nepoznavanje faktora samoapsorpcije unosi veliku grešku u odredjivanju brzine raspada $^{55}Fe$. Analizirajući metode za odredjivanje faktora samoapsorpcije, može se zaključiti, da je svaki postupak složen, a krajnji rezultati dobijeni ekstrapolacijom daju veliku grešku. Pretpostavke koje se često uvode u eksperimentima nisu ostvarljive, što smanjuje tačnost ovih metoda. Tako se pri odredjivanju samoapsorpcije kod elektrolitički nanetih izvora i izvora dobijenih dodavanjem neaktivnog nosača smatra da su izvori homogeni. Ova pretpostavka se ne može u potpunosti prihvatiti, posebno kod izvora dobijenih dodavanjem neaktivnog nosača, gde dolazi još više do narušavanja homogenosti. Kod traserske metode polazi se od pretpostavke da postoji izvesna linearnost izmedju efikasnosti brojača za traser i odgovarajuće efikasnosti za $^{55}Fe$. Ovo se, medjutim, može uzeti samo u prvoj aproksimaciji kao tačno. Nepoznavanje tačnog odnosa efikasnosti brojača za dve različite vrste zračenja unosi novu grešku u odredjivanju korekcije za samoapsorpciju.

Da bi se postigla veća tačnost i smanjili korekcioni faktori, radi se na dobijanju monomolekularnih izvora kod kojih je samoapsorpcija praktično jednaka nuli. Kod ovih izvora moguće je detektovati zračenje Auger elektrona, čime se smanjuje greška

koja potiče od konstante za fluorescentni prinos. Izvori se dobijaju nanošenjem monomolekularnog sloja na tanku metalizovanu VYNCE foliju.[8] Korekcija za apsorpciju zračenja u foliji može se dosta tačno odrediti. Za foliju od 200 $\mu g/cm^2$ dobija se približno 2% apsorpcije za X zrake.

In this paper standardization methods of electron-capture isotopes $^{55}Fe$ are described. Procedures for determination of efficiency measurings of 4Q proportional counter for kX radiation are shown. Analyses of methods for determination of absorption factor for X radiation in a source are carried out and possible errors resulting from assumptions on which the given methods are based are reviewed here. It is briefly pointed to the possibility of standardizing solid monomolecular sources.

## L I T E R A T U R A

1. ALLEN R.A. Int. J. Appl. Rad. Isotopes 1, 289 (1957)
2. GARFINKEL S.B. and HUTCHINSON J.M.R. Int. J. Appl. Rad. Isotopes, 13, 629 (1962)
3. COLE A. Thesis, MIC 57-3001 (1957)
4. LANE R.O. and ZAFFARANO D.J. ISC-439 (1953)
5. PETEL M. and HOUTERMANS H. I.A.E.A. Symposium on Standardization of Radionuclides - Paper SM-79/63 (1966)
6. CAMPION P.J. and MERRITT W.F. AECL 532 (1955)
7. RASMUSSEN N.C. Circular to National Research Council (USA) Subcommittee on Beta and Gamma-Ray Measurements and Standards (April 1955)
8. SIMOVIĆ M. at all Interna publikacija IBK-1068 (1971)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Ćirić Vladimir
Republički sekretarijat za opštenarodnu odbranu SR Srbije

# RAČUNANJE NEUTRONSKIH DOZA ZA VAZDUŠNU NUKLEARNU EKSPLOZIJU

## Rezime

Biološko dejstvo neutrona, koje emituje nuklearna (fisiona) eksplozija, zavisi od spektra energija i integralnog broja neutrona koji dospevaju na površinu zemlje. U radu je prikazan postupak teorijskog proračuna neutronskog fluksa odnosno dozâ na različitim rastojanjima od centra eksplozije. Priloženi su numerički i grafički podaci o nivoima neutronskih doza za rastojanja od 200 do 2500 m za vazdušnu nuklearnu eksploziju snage 20 Kt. Izvršeno je upoređivanje rezultata našeg proračuna sa odgovarajućim podacima iz literature.

## Uvod

Neutronske doze, za vazdušnu nuklearnu eksploziju, moguće je dobiti merenjem na određenom rastojanju od centra eksplozije (CE) i teorijski - računanjem. Merenja su vršena prilikom eksperimenata nuklearnim oružjem. Rezultati merenja, koji su objavljeni, poslužiće nam kao osnova za upoređivanje sa našim računom.

Za računanje neutronskih doza potrebno je najpre izračunati fluks neutrona, a zatim pomoću faktora konverzije izračunati dozu. Ovaj račun je izveden za neutrone nastale iz eksplozije fisione nuklearne bombe snage 20 Kt.

## Fermijeva starosna jednačina

Neutroni nastali u trenutku nuklearne eksplozije, u jednoj relativno maloj zapremini, počinju da se šire radijalno na sve strane uz istovremeno rasejavanje i apsorpciju od strane sredine. S obzirom na raznovrsnost promena s energijom neutrona i presekom za različite procese, tačan opis sudbine fisionih neutrona predstavlja težak problem ako se ne pribegne uproščavanju.

Osnova na kojoj će se zasnivati razmatranje pojava nastalih u sredini oko nuklearne eksplozije, predstavljaće teorija nuklearnog lančanog reaktora. Za ovu teoriju je usvojen princip konzervacije ili ravnoteže neutrona. Koristeći ovaj princip data je prosta metoda proračuna ponašanja neutrona u materiji: teorija difuzije.

Brzi neutroni iz izvora, koji su dovoljno difundovali kroz sredinu bez znatnije apsorpcije, gube svoju brzinu zbog sudara sa jezgrima sredine i to u procesu elastičnog rasejanja. Proces neelastičnog rasejanja se neće razmatrati, jer se neutroni u intervalu energija fisionog spektra rasejavaju uglavnom elastično na lakim i srednjim jezgrima sredine.

Neutroni se individualno različito ponašaju, čak i ako potiču od iste energije, pa neće imati iste energije posle izvesnog vremenskog intervala od njihovog nastanka, tj. iako svi oni počinju s istom energijom fisije $E_0$ i difunduju u istu sredinu i u otsustvu apsorpcije.

Prostorna raspodela neutrona različitih energija kao rezultat difuzije za vreme procesa usporavanja neutrona, predstavlja se približnim rešenjem ovog zadatka pomoću "starosne teorije". Prema ovoj teoriji proces usporavanja razmatra se kao kontinualno smanjenje energije neutrona, što predstavlja dosta dobru aproksimaciju pri rasejanju veće količine neutrona na ne sasvim lakim i teškim jezgrima.

Dovodenjem u vezu jednačine difuzije sa modelom kontinualnog usporavanja, ako ne postoji apsorpcija neutrona, dobija se "Fermijeva starosna jednačina"

$$\nabla^2 q = \frac{\partial q}{\partial \tau} \qquad (1)$$

gde je q gustina usporavanja a $\tau$ starost neutrona.

Prostiranje neutrona kroz vazdušnu sredinu

Izvor trenutnih neutrona predstavlja vazdušna nuklearna eksplozija fisionog tipa brzim neutronima snage 20 Kt, gde se za fisioni materijal upotrebljava U-235. Broj neutrona nastalih fisijom bombe snage 20 Kt iznosi $4{,}68.10^{24}$.

U ovom radu je usvojena aproksimacija da se zanemare konstrukcioni elementi bombe. Prema tome se zanemaruje i promena energetskog spektra koja bi nastala prolazom fisionih neutrona kroz omotač bombe.

Posle rasprskavanja omotača bombe neutroni prolaze kroz vazdušnu sredinu pri čemu se rasejavaju, usporavaju i apsorbuju na različitim rastojanjima od tačke eksplozije. Prostorna raspodela neutrona u reonu eksplozije se dobija rešavanjem zadatka o difuziji neutrona u vazdušnoj sredini uzimanjem u obzir fisionog spektra

U-235.

Da bi promena spektra neutrona, počev od fisionog pa sve dok neutroni ne stignu na određeno rastojanje, mogla što tačnije da se prati, podelićemo ceo fisioni spektar neutrona na 10 intervala. Nije svejedno kakva će biti podela na intervale pa ćemo stoga uzeti onu podelu koja obezbeđuje da zbir normiranih neutrona po svima energetskim intervalima bude jednak 1 ili broj najpribližniji jedinici. U tab. br. 1 je data podela energetskog spektra trenutnih neutrona na intervale i njegove karakteristike, pri čemu je broj neutrona u jediničnom energetskom intervalu po fisiji emitovanog neutrona S(E) dobiven računom. Neutroni izašavši iz bombe, stupaju u interakciju sa jezgrima atoma koji sačinjavaju vazduh. Uzeto je da vazduh ima 79% azota atomske težine 14 i gustine $4{,}3 \cdot 10^{19}$ at/cm$^3$ i 21% kiseonika atomske težine 21 i gustine $1{,}07 \cdot 10^{19}$ at/cm$^3$.

Vrsta interakcije zavisi od vrste elementa i energije neutrona. Teorija starosti je primenljiva u slučaju:

- ako je presek apsorpcije za neutrone, koji se usporavaju, mali u poređenju sa presekom rasejanja tj.
- srednja slobodna putanja rasejanja neutrona se sporo menja u sredini, sa promenom energije E.

## Izračunavanje fluksa trenutnih neutrona

Fluks izmenjenog spektra trenutnih neutrona se izračunava po formuli

$$\Phi(r_a,\tau_j)=N_s \cdot q(r_a,\tau_j) \cdot \frac{1}{\xi \cdot \Sigma_s} \cdot \ln \frac{E_i}{E_j} \qquad (2)$$

Izmena fisionog spektra sa rastojanjem, pri prolazu neutrona kroz vazdušnu sredinu, opisan je izrazom za gustinu usporavanja $q(r_a,\tau_{i,j})$. $E_i$ odnosno $E_j$ predstavljaju srednju vrednost energetskog intervala, $\xi$ je srednji logaritamski dekrement i iznosi 0,133, a $\Sigma_{s(i,j)}^{2(vazd)}$ makroskopski presek za vazduh, dok je $(1-\cos\psi)=0{,}954$.

Rezultat za $q(r_a,\tau_j)$ se dobija iz elektronskog računara.

Integralni fluks trenutnih neutrona se izračunava po formuli (3), a numerički podaci su dati u kojoni 3, Tab. br. 3:

$$\Phi(r_a)=\sum_{j=3}^{10} \Phi_j(r_a,\tau_j) \qquad (3)$$

Izračunavanje ekvivalent doze

Sva razmatranja kao i proračun odnosiće se na "ekvivalent dozu" (DE). Izračunavanje DE se vrši prema formuli:

$$DE = D.QF \tag{4}$$

gde je D apsorbovana doza, čija je jedinica merenja 1 rad, a QF je faktor kvaliteta (kakvoće). Jedinica za merenje ekvivalent doze je 1 rem.

Za određivanje neutronske ekvivalent doze potrebno je imati sledeće podatke:

- spektralna raspodela neutrona kao funkcija energije: za izračunavanje doze neutrona određenih energija,
- fluks neutrona u funkciji energije $\Phi(E)$, $(n/cm^2)$,
- faktor konverzije fluksa neutrona u apsorbovanu dozu $(rad/n/cm^2)$ i QF faktor, ili
- faktor konverzije fluksa neutrona u ekvivalent dozu u funkciji energije neutrona $(rem/n/cm^2)$.

Izračunavanje apsorbovane doze D se vrši direktno iz fluksa neutrona $(n/cm^2)$ pomoću faktora konverzije, tj.

$$D_j = \Phi_j . FK_j \tag{5}$$

Faktor konverzije FK se definiše kao doza u rad-ima koju daje jedan neutron po $cm^2$ određene energije. Integralna apsorbovana doza trenutnih neutrona D se izračunava po formuli

$$D = \sum_{j=3}^{10} D_j \tag{6}$$

Ekvivalent doza trenutnih neutrona se izračunava na osnovu numeričkih podataka za apsorbovanu dozu i faktor kvaliteta, a prema formuli

$$DE_j = D_j . QF_j \tag{7}$$

Integralna ekvivalent doza trenutnih neutrona se izračunava po formuli

$$DE = \sum_{j=3}^{10} DE_j \tag{8}$$

Grafički prikaz integralne ekvivalent doze je dat na

grafiku br. 1, dok se numerički podaci nalaze u Tab. br.3 (kol.5).

Faktori konverzije ili njihove recipročne vrednosti se nalaze u literaturi kao numerički ili grafički podaci u funkciji energije. Isto tako faktor konverzije je dat kao funkcija rastojanja (cm) za određenu sredinu kroz koju prolaze neutroni. U literaturi je faktor konverzije dat u obliku grafika kao funkcija rastojanja (dubine tkiva), pri čemu je energija parametar rastojanja. To su poznate Snyder-ove krive.

Pri izboru faktora konverzije uzeta je vrednost sa grafika za najmanje rastojanje tj. najmanju dubinu tkiva koja iznosi oko 6 mm ispod površine kože. Na ovoj dubini se nalaze vrlo važni krvni sudovi. Numerički podaci faktora konverzije su približno maksimalne vrednosti ordinata datih krivih. Ako se uzme srednja vrednost funkcije faktora konverzije za određenu energiju Snyder-ove krive, dobija se manja vrednost ekvivalent doze. Stvarna ekvivalent doza koju primi živi organizam (na pr. čovek) biće manja jer interval faktora konverzije, za neke energije, obuhvata i do dva reda veličine za dubinu tkiva od 30 cm. Ako se uzme srednja vrednost funkcije faktora konverzije za određenu energiju, dobija se manja ekvivalent doza. Na ovaj način se vrši samo procena doze i to približno maksimalne vrednosti doza koje su od interesa s aspekta zaštite.

Na osnovu Snyder-ovih krivih, podataka iz literature za QF faktor, kao i na osnovu formule

$$FK' = FK.QF \qquad (9)$$

izračunat je faktor konverzije za ekvivalent dozu FK' u zavisnosti od energije. Svi ovi faktori su dati u tab. br. 2.

## Upoređivanje naših podataka sa odgovarajućim podacima iz literature

Da bi mogla da se oceni tačnost dobivenih rezultata proračuna u ovom radu, kao i vrednost primenjene metode za izračunavanje fluksa i doze, potrebno je dobivene rezultate uporediti sa podacima za koje se može pretpostaviti da su realni. Podaci sa kojima se vrši upoređivanje se nalaze u ref. (2). Izvršeno je upoređivanje sledećih veličina:

- integralni fluks trenutnih neutrona u funkciji rastojanja,
- faktor konverzije integralnog fluksa neutrona u apsorbovanu

dozu,

- faktor kvaliteta, odnosno RBE faktor,
- integralna ekvivalent doza trenutnih neutrona u funkciji rastojanja.

Prema tome, na osnovu proračuna i podataka iz literature, mogu se izvući sledeći

Zaključci

1) Ako se uzme u obzir činjenica da je zanemaren uticaj omotača bombe, odnosno izmena spektra neutrona usled prolaska kroz omotač, a umesto toga se uzme podatak da omotač bombe propušta svega 15% fisionih neutrona, onda se može zaključiti da rezultati proračuna, dobiven primenom Fermijeve starosne teorije ne odstupaju mnogo od podataka iz ref. (2)(Tab. br. 3, kolone 2 i 3).

2) U našem proračunu su uzeti podaci za faktore konverzije iz Snajderovih krivih i to za totalnu rad-dozu.

Prema ref. (2) srednja vrednost faktora konverzije iznosi $1,8.10^{-9}$ rad/n/cm$^2$.

3) U našem radu je uzeta srednja vrednost faktora kvaliteta iz preporuka Nacionalnog biroa za standarde SAD i Međunarodne komisije za radiološku zaštitu.

U ref. (2) srednja vrednost faktora kvaliteta je 1, zato što je uzeta katarakta, koja se javlja kao biološki efekat dejstva neutrona i to posle 2 godine.

4) Razlika između naše ekvivalent doze i iste date u ref. (2) nastaje zbog razlike u fluksu, faktoru konverzije rad-doze i faktoru kvaliteta odn. RBE faktoru.

Abstract

CALCULATION OF THE NEUTRON DOSES
FOR AN AIR NUCLEAR BOMB EXPLOSION

The biological effect of neutrons emitted by nuclear (fission) explosion depends on the spectrum of energies and the integral number of neutrons reaching the ground sourface.

A procedure for the theoretical calculation of the neutron flux, i.e. doses at different distances from the centre of explosion, is presented.

Numerical and grafical data on neutron doses levels as a function of slant range of 200 - 2.500 m for an air burst of 20 Kt

are given.

The comparison results of our calculation have been performed with data from literature.

## Reference

1. Ćirić V., Energetski spektar i ukupni intenzitet neutrona u funkciji rastojanja od mesta eksplozije fisione nuklearne bombe - Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Farmaceutsko-biokemijski fakultet, 1971.

2. Glasstone S., Editor, The effects of nuclear weapons, Revised edition, 1964, Washington 25, D.C.

## Prilozi

Tab. br. 1 - Podela energetskog spektra trenutnih neutrona na intervale i njegove karakteristike.

Tab. br. 2 - Faktor kvaliteta i faktori konverzije u funkciji energije neutrona

Tab. br. 3 - Uporedni pregled integralnog fluksa i integralne ekvivalent doze trenutnih neutrona u funkciji rastojanja za bombu od 20 Kt

Graf.br. 1 - Uporedni pregled ekvivalent dozi trenutnih neutrona u funkciji rastojanja.

Tab. br. 1

PODELA ENERGETSKOG SPEKTRA TRENUTNIH NEUTRONA NA INTERVALE I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

| Redni broj energetskog intervala | Energetski interval $E_1 - E_2$ Mev | Srednja vrednost energetskog intervala $\bar{E}$ Mev | Veličina energetskog intervala $\Delta E$ Mev | Broj neutrona u jediničnom energetskom intervalu po fisiji emitovanog neutrona $S(E)$ | Broj neutrona u energetskom intervalu $\Delta E$ po fisiji emitovanog neutrona $S(E) \cdot \Delta E$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | 10 - 7 | 8,5 | 3 | 0,003034 | 0,009102 |
| 2. | 7 - 4,5 | 5,75 | 2,5 | 0,02322 | 0,05805 |
| 3. | 4,5 - 3 | 3,75 | 1,5 | 0,08866 | 0,13299 |
| 4. | 3 - 2 | 2,5 | 1 | 0,1839 | 0,1839 |
| 5. | 2 - 1 | 1,5 | 1 | 0,2957 | 0,2957 |
| 6. | 1 - 0,7 | 0,85 | 0,3 | 0,3528 | 0,10584 |
| 7. | 0,7 - 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,3528 | 0,07056 |
| 8. | 0,5 - 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,3068 | 0,12272 |
| 9. | 0,1 - 0,0001 | 0,05005 | 0,0999 | 0,155 | 0,0154845 |
| 10. | 0,0001 - 0,0000002 | 0,0000501 | 0,0000998 | 0,005 | 0,000000499 |
| 11. | 0,0000002 /termalni/ | | | | |
| | | | | Ukupno : | 0,994346999 |

Tab. br. 2

Faktor kvaliteta i faktori konverzije u funkciji energije neutrona

| Redni broj energ. intervala | Energija $E_i$ | Faktor konverzije za apsorbovanu dozu FK (rad/n/cm$^2$) | QF | Faktor konverzije za ekvivalent dozu FK' (rem/n/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 3,75 Mev | 4,8/-09 | 6,9 | 3,3/-08 |
| 4 | 2,5 | 4,2/-09 | 8,0 | 3,3/-08 |
| 5 | 1,5 | 3,7/-09 | 10,2 | 3,7/-08 |
| 6 | 850 Kev | 3,2/-09 | 10,4 | 3,3/-08 |
| 7 | 600 | 2,5/-09 | 10,2 | 2,5/-08 |
| 8 | 300 | 1,7/-09 | 9,4 | 1,6/-08 |
| 9 | 50,05 | 7,0/-10 | 6,8 | 4,7/-09 |
| 10 | 50,1 ev | 4,8/-10 | 2,1 | 1,0/-09 |

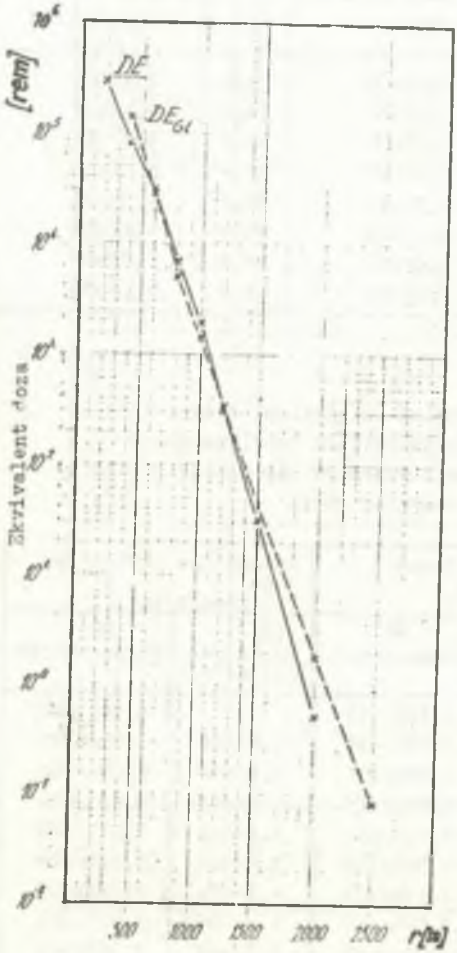
Tab. br. 3

Uporedni pregled integralnog fluksa i integralne ekvivalent doze trenutnih neutrona u funkciji rastojanja za bombu od 20 Kt

| Rastojanje r od CE (m) | Integralni fluks (n/cm$^2$) | | Integralna ekvivalent doza (rem/n/cm$^2$) | |
|---|---|---|---|---|
| | N Prema podacima iz (2) | Φ Prema autoru | DE Prema podacima (2) | DE Prema autoru |
| 200 | 1,4/+15 | 1,126/+15 | - | 3,345/+07 |
| 400 | 1,2/+14 | 4,756/+14 | 1,4/+05 | 1,488/+07 |
| 600 | 2,0/+13 | 1,494/+14 | 2,8/+04 | 4,832/+06 |
| 800 | 4,0/+12 | 3,753/+13 | 5,0/+03 | 1,439/+06 |
| 1000 | 8,6/+11 | 8,018/+12 | 1,4/+03 | 2,674/+05 |
| 1200 | 2,2/+11 | 1,593/+12 | 3,2/+02 | 5,334/+04 |
| 1500 | 3,0/+10 | 1,434/+11 | 4,4/+01 | 4,788/+03 |
| 2000 | 1,4/+09 | 2,697/+09 | 1,8/±00 | 8,923/+01 |
| 2500 | - | 2,814/+07 | 8,2/-02 | 9,289/-01 |

Graf. br. 1

UPOREDNI PREGLED EKVIVALENT DOZI TRENUTNIH NEUTRONA U FUNKCIJI RAZTOJANJA




Rastojanje

VI.Jugoslovenski simpozijum zaštite od jonizujućih zračenja

D.Uran, F.Kolenko

# NEKATERE KONSTRUKCIJSKE POSEBNOSTI PRENOSNEGA ČITALNIKA ZA TLD

Izvleček:

V delu je opisano avtomatično regulacijsko vezje, ki odpravlja pomankljivosti fotopomnoževalnega merilnega sistema. V težkih okoliščinah je fotometrični sistem netočen. Zaradi počasnih temperaturnih prehodov v notranjosti vakumske fotopomnoževalke se zunanja termokompenzacijska vezja ne obnesejo. Zato smo razvili samodejni kompenzacijski sistem, ki stabilizira vse vplive okoliške temperature med - 20°C in + 40°C tako, da je napaka fotometričnega dela čitalnika manjša od ± 2%. Te vrednosti dosežemo za termoluminiscenčne meritve na domačih TL tabletah ($CaF_2$) v območju doz med 1 in 1000R.

## Uvod

Pri meritvah TL dozimetrov uporabljamo fotometrični sistem ki uporablja fotopomnoževalko EMI - 9524S z enajstimi mrežastimi dinodami, ki daje pri relativno nizki napajalni napetosti dovolj ojačenja. Prav tako ima ta cev nizek nivo temnega toka in pri tem dovolj robustno mehansko izdelavo. Ugodna je tudi njena spektralna občutljivost, ki dobro ojačuje svetlobe z valovno dolžino med 0,3 in 0,5 mikroni in selektivno duši infrardeče svetlobe, ki bi nas motile pri merjenju TL tablet.

V pogojih za terenski prenosni čitalnik pa je fotopomnoževalna cev zaprta v majhnem ohišju, kjer nastopi zaradi izgub v elektronskih sestavih 15°C nadtemperature nad temperaturo okolice. Zanimali smo se za časovne prehode teh temperatur in njihov vpliv na ojačevalni faktor.

## Fotometrični del brez stabilizacije.

Po daljšem časovnem intervalu so fotometrične meritve z referenčnimi svetlobnimi izvori (ki so sami tudi termično odvisni) pokazale, da merilni rezultati odstopajo od pričakovanih vrednosti. Meritev smo pripravili tako, da smo namestili termočlene v raznih točkah v okolici fotopomnoževalne cevi

in čitalnika.

Krivulja Hg predstavlja odvisnost ojačenja od naraščajoče vrednosti temperature okolice (merjeno v peči z Hg termometrom). Krivulja A je temperatura na termočlenu ob anodi fotopomnoževalke, krivuljo P je merjeno ob prizmi v glavi čitalnika in krivulja K je merjena ob katodi. Vključeno aparaturo smo postavili pri sobni temperaturi v peč. Po eni uri je notranjost (Hg) peči dosegla 70°C nakar smo jo odklopili. Nato smo peč počasi ohlajali 12 ur. Iz dobljenih krivulj na sliki (Sl.1.) vidimo, da je pri hitrem segrevanju okolice obstojala razlika med zunanjo in notranjo temperaturo tudi do 25°C medtem ko je temperatura med sprednjim in zadnjim delom čitalnikove glave le za 4°C razlike.

Bolj neugodno pa je dejstvo, da obstoji histerezna karakteristika med temperaturo okolice in ojačenjem fotometričnega sistema. Vertikalna komparacija pri enakih temperaturah okolice oziroma notranjosti čitalnika daje različne vrednosti ojačenja pri čemer doseže napake okrog 30%. Ta ugotovitev dokazuje, da ni možno konstruirati efektnega kompenzacijskega sistema, po drugi strani pa tudi termostatiranje, ki že samo troši veliko energije, ne daje v kratkem času obratovanja ponovljivih rezultatov, če se prične meriti iz različnih startnih temperatur. Zato smo razvili avtomatični stabilizator ojačenja za fotometrični del čitalnika.

Princip delovanja

Nedostatek, ki smo ga opazovali v prejšnjem poglavju se lahko uravnava z bolj pogosto ročno kalibracijo ojačenja. Ojačenje fotopomnoževalke se najbolj uspešno spreminja z menjanjem visoke napetosti s katero napajamo verigo dinod.

Ker čitalnik že v svoji osnovni opremi obsega precej obsežna elektronska vezja smo dodali še avtomatični regulacijski sistem za kontinuirno kalibracijo ojačenja fotometričnega sistema (Sl.2). Tega smo zasnovali s stabiliziranim svetlobnim izvorom v termostatu, ki ga uporabimo kot referenčni standard.

Svetlobo, ki jo izseva merjena TL tableta imenujemo IM medtem, ko je svetloba referenčnega standarda IS. Razvili smo elektromehanski preklopni mehanizem PM, ki spušča v določenih časovnih intervalih enkrat merilni in enkrat standardni svetlobni signal na katodo fotopomnoževalke FP. Kot posledica

tega osvetljevanja dobi tok fotopomnoževalke takšno obliko kot jo kaže (Sl.3.).

Tok fotopomnoževalke ojačimo še z operacijskim enosmernim ojačevalnikom EO in dobimo signal es ki ima podobno obliko kot jo vidimo na sliki (Sl.3.). Pri tem je polval označen z amplitudo ms merilo za intenziteto merjenje svetlobe, drugi polval označen z rs pa je stalne amplitude in je odvisen od stalno nastavljene referenčne svetlobe. Vmes med tema signaloma pa je preklopni mehanizem zaprt (intervala b in d na sliki 3) in preostali signal določa, kolikšen temni tok nastopa. Če te intervale vzorčimo dobimo signal za kompenzacijo temnega toka ks.

Iz logičnega stikala LS na sliki 2 dobimo tri ločene izhodne signale: v intervalu a dobimo merilni signal ms, ki ga pretvorimo v digitalno vrednost in ga odčitavamo na ekranu, v intervalu c dobimo signal rs, ki določa napako ojačenja in ga primerjamo z nastavljeno primerjalno vrednostjo pr in v kolikor obstoji signal napake takoj vpliva na nastavitev visokonapetostnega usmernika VU kar izpremeni napetost vn na izhodu usmernika, od te napetosti zavisi ojačenje fotopomnoževalke, v intervalu b in d nastopa signal ks ki ga ojačimo z ojačevalnikom SO in ga v nasprotni fazi vračamo na vhod ojačevalnika EO, ki zmanjšuje napako, ki bi jo povzročila temni tok in drift ojačevalnika.

Zaključek

Navedeni regulator smo vgradili v čitalnik za terensko rutinsko merjenje akcidentalnih doz. Popolno avtomatizirana merilna metoda omogoča rokovanje s čitalnikom osebja brez posebnega tehničnega znanja. Diagram na sliki 4 prikazuje potek ojačenja referenčnega svetlobnega signala medtem ko je bila aparatura izpostavljena segrevanju od 0°C do 40°C in nato je obratovala pri 40°C v intervalu ~8 ur. Odstopanja fotometričnega sistema so daleč manjša od ostalih naključnih devijacij pri termoluminescenčni dozimetriji, predstavlja pa ta sistem pomemben doprinos pri ponovljivosti meritev ne glede na vplive pri terenskem obratovanju čitalnika. Z gotovostjo lahko pričakujemo, da bo ta sistem služil tudi pri laboratorijskih meritvah, kot neizbežen pripomoček za bolj kvalitetno merjenje.

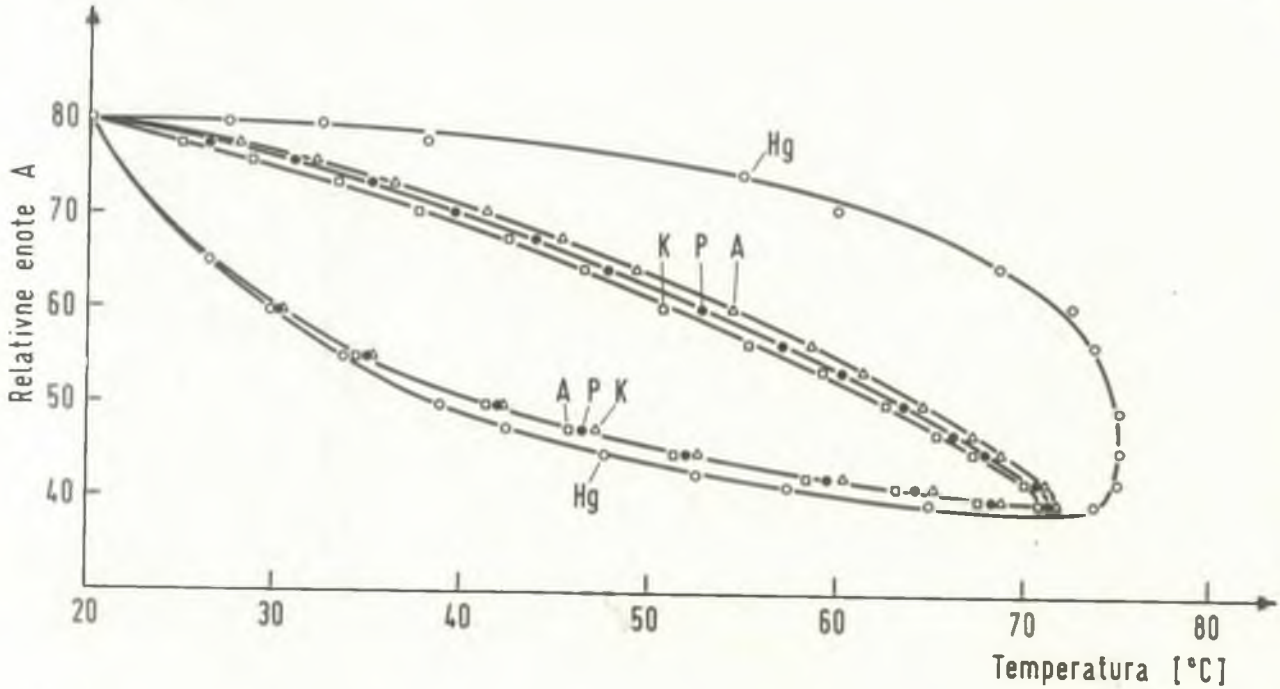
L i t e r a t u r a

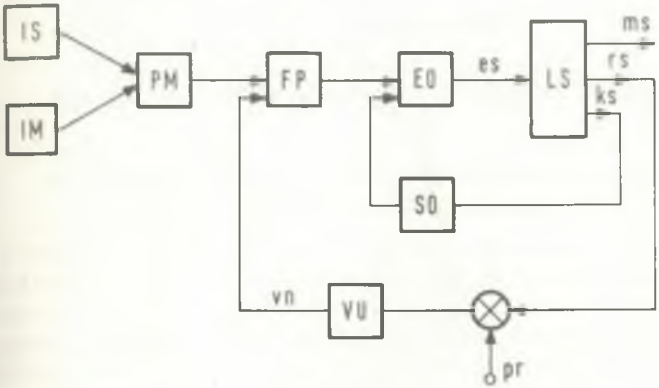
1 Lipert I., Meidahl V.: 1965 Proc.Int. Conf. on Lum. Doz. Stanford p 204

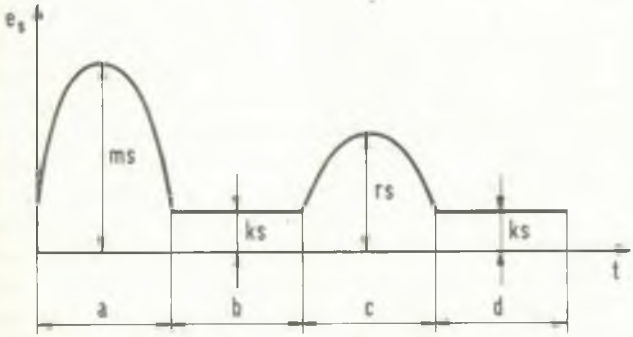
2 Uran D., Kolenko F.: 1970 Rad. V.jug.simp. v rad. zašt. Nr. 7/11.

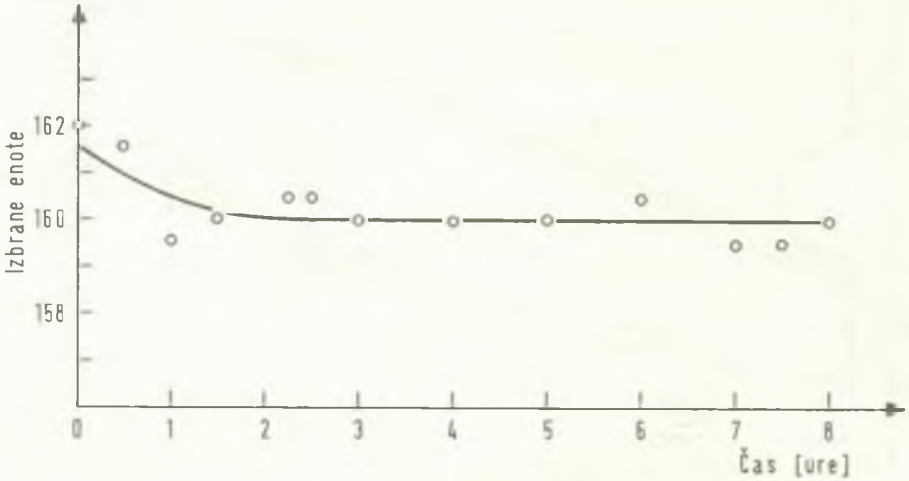
3 Milavc Z., Celar F.: 1970 Rad. V.jug.simp. v rad. zašt. Nr 7/10.

4 Uran D.: 1970 Symp. on New Devel in Physical and Biolog. Radiation Det., SM/143/18, Wienna 1970.


Relativne enote A
80
70
60
50
40
20
30
40
50
60
70
80
Temperatura [°C]
Hg
K P A
A P K
Hg


IS
IM
PM
FP
EO
es
LS
ms
rs
ks
SO
vn
VU
pr


$e_s$
ms
ks
rs
ks
t
a
b
c
d


Izbrane enote
162
160
158
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Čas [ure]

VI Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Miodrag Šobajić i Ratomir Blagojević
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# MOGUĆNOST ISTOVREMENOG MERENJA JAČINE EKSPOZICIONE DOZE I EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA

Predloženo je rešenje koje omogućava istovremeno merenje jačine ekspozicione doze i ekspozicione doze zračenja,upotrebom samo jedne jonizacione komore. Izvršena je analiza uticaja pasivnih i aktivnih elemenata elektronskog kola na tačnost merenja ekspozicione doze zračenja. Dat je primer, kako se predloženo rešenje može iskoristiti kod prenosnog instrumenta koji kao detektor zračenja koristi jonizacionu komoru.

## U v o d

Jonizacione komore se mogu koristiti za merenje jačine ekspozicione doze zračenja u vrlo širokom opsegu. Komore zapremine nekoliko desetina litara omogućavaju merenja jačine ekspozicione doze zračenja na nivou prirodnog fona, a komore zapremine nekoliko kubnih santimetara, merenja velikih jačina ekspozicionih doza zračenja reda 1000 R/h, ( 1,2 ).

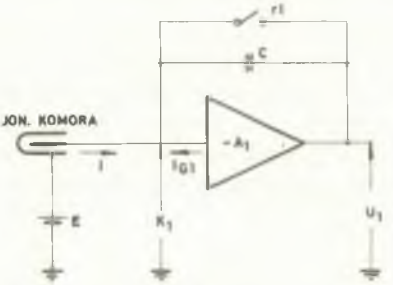
Kod većine instrumenata za merenje jačine ekspozicione doze zračenja postoji i poseban opseg,koji omogućava merenje ekspozicione doze zračenja. Korisnicima instrumenata stoji na raspoloženju , da prema trenutnim potrebama vrše merenja ili jačine ekspozicione doze zračenja ili ekspozicione doze zračenja. U literaturi nema podataka o mogućnosti istovremenog merenja obe veličine, iako je ovo sa stanovišta radiološke zaštite vrlo interesantno.

U ovom radu je predloženo elektronsko kolo za istovremeno merenje jačine struje i količine elektriciteta,čime se omogućava merenje jačine ekspozicione doze i ekspozicione doze zračenja.

Dat je primer kako se ovo kolo može iskoristiti u prenosnim instrumentima,koji kao detektore zračenja koriste jonizacione komore.

Merenje ekspozicione doze zračenja

Merenje ekspozicione doze zračenja korišćenjem kao detektora jonizacione komore vrši se merenjem količine elektriciteta koja u komori, u odredjenom vremenskom intervalu,nastaje pod uticajem jonizujućeg zračenja. Ovo se obično postiže pomoću integratora sa operacionim pojačavačem. Blok šema kola prikazana je na sl.1.




sl. 1.

Izvršeno je sledeće označavanje: I-struja iz jonizacione komore; $A_1$-pojačavač jednosmernog pojačanja $A_1 \gg 1$ ; $I_{G1}$-ulazna odvodna struja pojačavača; $k_1$-jednosmerno pomeranje nule ulaznog napona pojačavača koje obuhvata i početnu nepodešenost nule pojačavača; $U_1$-izlazni napon pojačavača; C-kapacitivnost integracionog kondenzatora; $r_1$-prekidač za pražnjenje integracionog kondenzatora.

Pretpostavljeno je da je odvodna struja integracionog kondenzatora zanemarljivo mala. Ova pretpostavka je opravdana,jer je kod većine elektronskih kola ulazna odvodna struja veća od odvodne struje kvalitetnih stirofleksnih kondenzatora malih kapacitivnosti.

Izlazni napon pojačavača je odredjen izrazom

$$U_1 = -\frac{1}{C}\int_0^T (I+I_{G1})dt + k_1 \qquad (1)$$

gde je T vremenski interval u kome se vrši merenje. Kako je struja iz jonizacione komore srazmerna jačini ekspozicione doze zračenja vremenski integral je srazmeran ekspozicionoj dozi zračenja.

U toku merenja usled uticaja parametara pojačavača dolazi

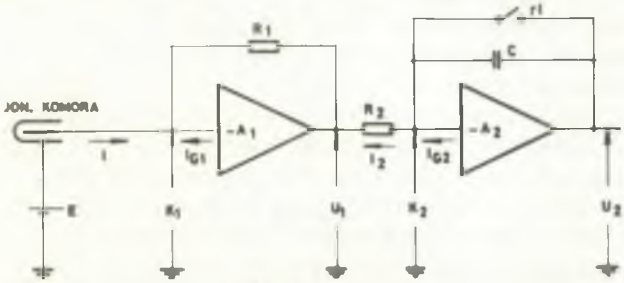
do relativne greške odredjene izrazom

$$\delta = \frac{\frac{1}{C}\int_0^T I_{G1}\,dt - k_1}{\frac{1}{C}\int_0^T I\,dt} \qquad (2)$$

Iz izraza se vidi da je potrebno da ulazna odvodna struja pojačavača bude mala u odnosu na srednju vrednost struje iz jonizacione komore, i jednosmerno pomeranje nule pojačavača malo u odnosu na napon koji stvara struja iz jonizacione komore na integracionom kondenzatoru.

Predloženo rešenje za istovremeno merenje jačine ekspozicione doze i ekspozicione doze zračenja

Blok šema predloženog kola prikazana je na sl.2.




sl.2.

Merenje jačine ekspozicione doze zračenja u principu je isto kao kod većine instrumenata koji se danas nalaze u upotrebi. Struja iz jonizacione komore,na visokoomskom otporu $R_1$ ,stvara pad napona $U_1$ koji se meri na izlazu iz operacionog pojačavača pojačanja $A_1 >> 1$. Napon $U_1$ je srazmeran jačini ekspozicione doze zračenja.

Jednosmerni izlazni napon pojačavača $A_1$ koristi se za dobijanje jednosmerne struje kojom se puni integracioni kondenzator. Ovo je ostvareno na način opisan u daljem tekstu.

Izlazna tačka operacionog pojačavača vezana je sa integratorom,koji se sastoji od pasivnih elemenata $R_2$ i C , i visokoimpedantnog pojačavača koji ima pojačanje $A_2 >> 1$. Izlazni napon integratora je odredjen jednačinom

$$U_2 = \frac{1}{C}\int_0^T \left[\frac{R_1}{R_2}(I+I_{G1}) + \frac{k_2-k_1}{R_2} - I_{G2}\right] dt + k_2 \qquad (3)$$

Iz izraza se vidi,da je izlazni napon integratora srazmeran integralu struje iz jonizacione komore.

U toku merenja , usled uticaja parametara pojačavača , dolazi do relativne greške

$$\varepsilon = \frac{\frac{1}{C}\int_0^T \left(I_{G1} - I_{G2}\frac{R_2}{R_1} + \frac{k_2-k_1}{R_2}\right)dt + \frac{R_2}{R_1}k_2}{\frac{1}{C}\int^T I dt} \qquad (4)$$

Greška u merenju kada se koristi predloženo kolo je zavisna od ulaznih odvodnih struja i jednosmernih pomeranja nule oba pojačavača. Kako se iz jednačine vidi, ovi uticaji se uvek u odredjenoj meri kompenzuju , jer su struje $I_{G1}$ i $I_{G2}$ i naponi $k_1$ i $k_2$ kod sličnih pojačavača uvek istog polariteta.Ako se koriste pojačavači koji imaju $I_{G1} = I_{G2}$ i $k_1 = k_2$ ,sa predloženim kolom, uz odgovarajući izbor otpornosti otpornika $R_1$ i $R_2$ , mogu se integrirati struje manjeg intenziteta nego sa osnovnim kolom prikazanim na sl. 1.

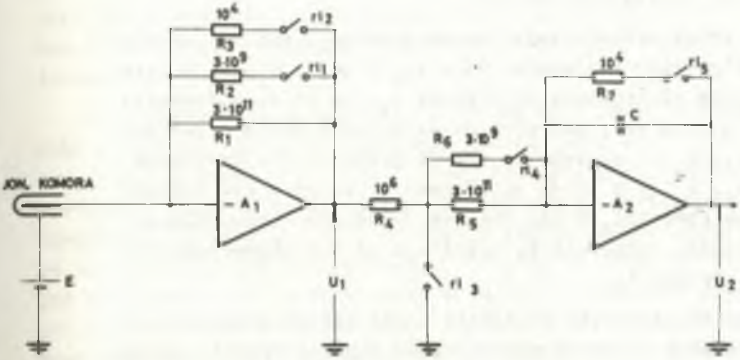
Kada ne postoji potreba za postizanjem maksimalne osetljivosti, može se , podesnim izborom odnosa otpornosti $R_1/R_2=m>1$, ostvariti strujno pojačanje $I_2=mI$ i na taj način smanjiti zahtevi u pogledu ulazne odvodne struje pojačavača $A_2$. Sa pojačavačima koji imaju veću ulaznu odvodnu struju , lakše je ostvariti malo naponsko jednosmerno pomeranje nule i, na taj način , smanjiti njegov uticaj na tačnost merenja. Maksimalno strujno pojačanje , ostvareno na ovaj način, ograničeno je strujom iz jonizacione komore , maksimalnim upotrebljivim kapacitetom integraciomog kondenzatora i maksimalnim izlaznim naponom pojačavača $A_2$ .

Kod prebacivanja opsega merenja jačine ekspozicione doze zračenja ,potrebno je održati konstantnim odnos otpornosti $R_1$ i $R_2$ , da bi se zadržao isti opseg merenja ekspozicione doze zračenja.

Predloženo kolo nije podesno za merenje kod brzo promenljivih jačina ekspozicione doze zračenja. Njegova brzina odgovora zavisi od vremenske konstante ,odredjene mernim otporom i parazitnim kapacitetom ,u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača $A_1$. Medjutim, u slučajevima gde je zadovoljavajuća brzina odgovora kola za merenje jačine ekspozicione doze zračenja zadovoljava i brzina odgovora kola za merenje ekspozicione doze zračenja.

Primena kod prenosnih instrumenata

Prenosni instrument za merenje jačine ekspozicione doze zračenja PD-3F (3) može se , na osnovu predloženog kola, rekonstruisati prema blok šemi prikazanoj na sl. 3




sl. 3.

Deo instrumenta za merenje jačine ekspozicione doze zračenja je potpuno isti kao kod instrumenta PD-3F. Za opsege merenja od 10 mR/h i 100 mR/h koristi se otpornik $R_1=3.10^{11}$ oma stalno vezan u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača $A_1$. Prebacivanje izmedju ova dva opsega merenja vrši se,na izlazu pojačavača , promenom za faktor 10 naponske osetljivosti mernog instrumenta sa kretnim kalemom . Opsezi merenja od 1 R/h i 10 R/h ostvaruju se na analogan način , vezivanjem preko kontakta visokoomskog relea $r_{11}$ otpornika $R_2=3.10^9$ oma paralelno otporniku $R_1$.

Merenje ekspozicione doze zračenja ostvaruje se pomoću integratora koji koristi pojačavač $A_2$ istih karakteristika kao pojačavač $A_1$ u gore opisanom kolu. Ovaj pojačavač ima malu ulaznu odvodnu struju, malo jednosmerno pomeranje nule i malu potrošnju struje. Otpornici u kolu integratora izabrani su tako, da je $R_5=R_1$ i $R_6=R_2$. U toku merenja , zavisno od op-

sega, oba kontakta visokoomskih relea $r_{11}$ i $r_{14}$ su istovremeno uključena ili isključena. Kako je otpornost ulaznog otpornika integratora jednaka sa otpornošću otpornika u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača , struja kojom se puni integracioni kondenzator C približno je jednaka struji iz jonizacione komore.

Za vreme prebacivanja opsega merenja , pri uključenju ili isključenju kontakata relea $r_{11}$ i $r_{14}$ , dolazi do kratkotrajnog oscilovanja pojačavača $A_1$. Da bi se otstranile greške u merenju , potrebno je da se prvo uključe kontakti relea $r_{13}$ a zatim, kada se završi prebacivanje kontakata relea $r_{11}$ i $r_{14}$ i izlaz pojačavača $A_1$ smiri , ove kontakte treba otvoriti. U tom kratkom vremenskom intervalu,od 2-3 sekunde, otpornik $R_4$ zaštićuje od preopterećenja izlaz pojačavača $A_1$.

Mogu se ostvariti različiti merni opsezi ekspozicione doze zračenja izborom odgovarajuće kapacitivnosti integracionog kondenzatora. Ekspozicionoj dozi zračenja 100 mR , odgovara kapacitivnost od 36000 pF i izlazni napon pojačavača $U_2$= 1V.

Indikacija o jačini ekpozicione doze zračenja i ekspozicionoj dozi zračenja može se dobiti pomoću samo jednog mernog instrumenta sa kretnim kalemom (mikroampermetra). Ovaj instrument bi normalno bio uključen na izlaz pojačavača $A_1$ , merio napon $U_1$ i na taj način omogućio očitavanje podataka o jačini ekspozicione doze zračenja. Povremeno, prema potrebi, odgovarajućim prekidačem on se može samo privremeno prebaciti da meri izlazni napon $U_2$ da bi se dobili podaci o ekspozicionoj dozi zračenja.

Zaključak

Predloženo rešenje omogućava istovremeno merenje jačine ekspozicione doze zračenja i ekspozicione doze zračenja upotrebom samo jedne jednosmerne jonizacione komore. Kolo za merenje jačine ekspozicione doze zračenja je potpuno nezavisno od kola za merenje ekspozicione doze zračenja. Kolo za merenje ekspozicione doze zračenja omogućava , uz odgovarajući izbor pasivnih i aktivnih elemenata , merenja sa približno istom tačnošću kao kod direktnog integriranja struje iz jonizacione komore.

Predloženo rešenje zahteva relativno mali broj komponenata , koje zauzimaju mali prostor i troše malo električne energije. Ugradnja ovog kola bi samo neznatno povećala cenu uredjaja , koji su se do sada mogli koristiti , u odredjenom vremenskom intervalu , ili za merenje jačine ekspozicione doze ili ekspozicione doze zračenja. Kolo se može koristiti i kod prenosnih i kod stacionarnih uredjaja . Omogućava ugradnju alarma , koji bi dejstvovao u slučaju premašenja bilo predodredjene jačine ekspozicione doze zračenja ili premašenja predodredjene ekspozicione doze zračenja.

## A POSSIBILITY OF SIMULTANEOUS DOSE-RATE AND DOSE MEASUREMENT

Abstract

The solution for simultaneous dose-rate and dose measurement with only one DC ionization chamber is proposed. The analysis of influence of the passive and active electronic circuit elements on the accuracy of measurement is carried out. The portable instrument for dose-rate and dose measurement using the proposed circuit is described.

Literatura

1. NIRSCHL J. : "Combination radiacmeter for dose-rate or dose measurement" ,Nuclear Instruments and Methods,82, 1970 , pp.77-85.

2. MUŽDEKA S., ŠOBAJIĆ M. , BLAGOJEVIĆ R. :" Uredjaj za merenje jačine ekspozicione doze gama zračenja i radioaktivnosti gasova", Simpozijum Electronics in Medicine, Session 7 , paper II 5 , Ljubljana 1968.

3. ŠOBAJIĆ M. , BLAGOJEVIĆ R. :" Prenosni instrument za merenje ekspozicione doze zračenja PD-3F", III simpozijum JDRZ , Banja Luka 1967.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid, 25. do 28.aprila 1972.

# ODREDJIVANJE BRZINE APSORBOVANE DOZE ALFA ZRAČENJA U MEKOM TKIVU

Vera Gal, Medicinski fakultet, Beograd

Radoslav Radovanović, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd

Djura Krmpotić, Prirodno-matematički fakultet, Beograd

## Rezime

Modifikovana je metoda za odredjivanje brzine apsorbovane doze na raznim odstojanjima od ravne homogeno kontaminirane površine, koju su dali Delple i Schaeffer, u slučaju kontaminacije alfa emiterima. Na osnovu ovog modela izračunati su podaci za brzinu doze, u zavisnosti od odstojanja od površine, energije alfa zračenja i površinske aktivnosti.

## Uvod

Odredjivanje apsorbovane doze radioaktivnih kontaminanata u mekom tkivu predstavlja vrlo složen problem, kako zbog kompleksnosti procesa apsorpcije, tako i zbog nepostojanja pogodne dozimetrijske tehnike. Ukoliko se traži prostorna raspodela doze, što je od interesa u ispitivanju posledica zračenja na organizam, problem se još više komplikuje. Zbog toga, izračunavanja doze u tkivima na osnovu matematičkih modela predstavlja vrlo pogodan pristup ovom problemu. Ona, iako uključuju izvesne aproksimacije, daju dovoljno pouzdane podatke, a rezultat je u opštem obliku, koji može da ima širu primenu.

Mi smo na osnovu jednog modela tražili zavisnost brzine apsorbovane doze alfa zračenja u mekom tkivu od početne energije alfa zraka i od dubine prodiranja u tkivo. Pretpostavili smo da je kontaminirana površina mekog tkiva ravan sa homogenom i relativno konstantnom specifičnom aktivnošću i da je put alfa čestica u tkivu prav. Smatrali smo da su ove pretpostavke u velikom broju slučajeva prihvatljive.

Linearni gubitak energije alfa čestica u tkivu, u zavisnosti od predjenog puta alfa čestice

Radi dobijanja brzine doze u tkivu neophodno je naći linearni gubitak energije dE/dx, u zavisnosti od početne energije alfa čestice $E_o$ i rastojanja koje je čestica prešla u tkivu x.

Za domet alfa čestica možemo se koristiti relacijom

$$R_o = c\, E_o^{3/2} \qquad (I)$$

gde smo, na osnovu podataka iz ref. 1, izračunali da za meko tkivo konstanta c ima vrednost $c = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ cm $MeV^{-3/2}$. Pomoću jednačine 1 i objavljenih podataka, ref. 1, našli smo da se linearni gubitak energije može aproksimirati analitičkim izrazom

$$\frac{dE}{dx} = \frac{1870}{(E_o^{3/2} - 0{,}31 \cdot 10^4\, x)^{1/3}} \qquad (2)$$

gde je energija $E_o$ data u MeV-ima a predjeni put x u cm. U odnosu na tabelarne podatke iz ref. 1, vrednosti, obračunate ovim izrazom, odstupaju za manje od 12 %.

Izračunavanje brzine doze alfa zračenja u tkivu, na raznim odstojanjima od ravnomerno kontaminirane ravne površine

Zamišljena je neka tačka P (slika 1) na vertikalnom rastojanju h od ravnomerno kontaminirane površine, slično kao u radu M. Delpla i E. Schaeffer-a (2). Diferencijal brzine doze, dD, u toj tački, koji potiče od fluksa alfa zraka dØ, za elementarne kontaminirane površine dS je :

$$dD = 5{,}75 \cdot 10^{-5} \left(\frac{dE}{dx}\right)_P d\emptyset \qquad 3$$

gde je

D u rad $h^{-1}$,

$\frac{dE}{dx}$ u MeV $cm^{-1}$, a

dØ u $cm^{-2}sec^{-1}$.

Diferencijal fluksa, dØ, je definisan sa

$$d\emptyset = 3{,}7 \cdot 10^{4}\, q \frac{dS}{4\pi x^2} \qquad 4$$

gde je

q specifična površinska aktivnost ( $\mu$ Ci $cm^{-2}$),

dS površina u $cm^2$, a

x odstojanje tačke P od dS u cm.

Sa slike 1 se vidi da su sve alfa čestice sa elementarne površine dS prešle isti put x do tačke P i prema tome imaju isto $\left(\frac{dE}{dx}\right)_P$. Pošto je prema slici 1

$$dS = 2\pi x^2 \operatorname{tg}\alpha \, d\alpha$$

$$x = \frac{h}{\cos\alpha} \qquad 5$$

gde je

$\alpha$ ugao izmedju x i h,

to je iz jednačina 3, 4, 5 i 6

$$D = 1{,}98 \cdot 10^3 \, q \, I \qquad 6$$

pri čemu je

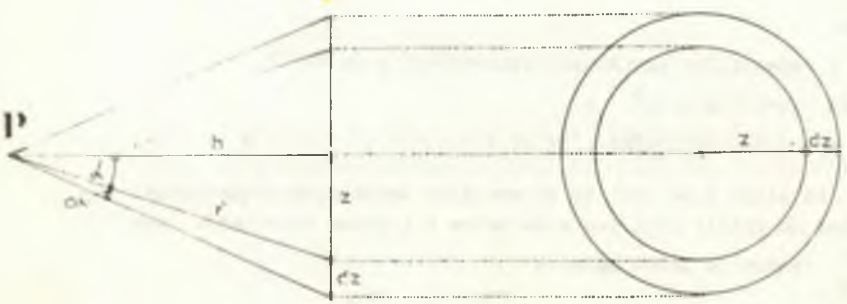
$$I = \int_0^{\operatorname{arc\,cos}\left(\frac{h}{R_o}\right)} \frac{\operatorname{tg}\alpha \, d\alpha}{\left(E_o^{3/2} - 0{,}31 \cdot 10^4 \frac{h}{\cos\alpha}\right)^{1/3}} \qquad 7$$

Rešavanjem integrala 8 dobija se

$$I = \frac{3^{1/2}}{E_o^{1/2}} \operatorname{ctg} 3^{-1/2} + \frac{1}{2E_o^{1/2}} \ln \left(\beta^{2/3} + E_o^{1/3}\beta^{1/3} + E_o\right) -$$

$$- \frac{1}{E_o^{1/2}} \ln \left(E_o^{1/2} - \beta^{1/3}\right) - \frac{3^{1/2}}{E_o^{1/2}} \operatorname{ctg} \frac{2\beta^{1/3} + E_o^{1/2}}{(3\,E_o)^{1/2}} \qquad 8$$

gde je $\beta = E_o^{3/2} - 0{,}31 \cdot 10^4 \, h$




Slika 1. Položaj tačke P u kojoj se izračunava brzina doze u odnosu na kontaminiranu površinu

U tabeli 1 date su neke vrednosti I, izračunate po relaciji 8, u zavisnosti od $E_o$ i h.

Tabela 1

Vrednosti I za razne vrednosti h za početne energije alfa čestica od 4, 6 i 8 MeV

| h ( μ ) | $E_o$ (MeV) 4 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|
| 1 | 56 | 46 | 40 |
| 5 | 55 | | |
| 10 | 53 | | |
| 15 | 48 | 43 | |
| 20 | 45 | | |
| 25 | 28 | 40 | 37 |
| 25,6 = $R_{01}$ | 0 | | |
| 35 | | 37 | |
| 45 | | 27 | |
| 47,0 = $R_{02}$ | | 0 | |
| 70 | | | 23 |
| 72,4 = $R_{03}$ | | | 0 |

Veličine $R_{01}$, $R_{02}$ i $R_{03}$ predstavljaju vrednosti dometa alfa čestica u mekom tkivu sa upadnim energijama 4, 6 i 8 MeV respektivno.

Ako se na površini tkiva nalazi ravnomerno raspoređen dugoživeći alfa emiter sa specifičnom aktivnošću 1 μ Ci/cm$^2$, brzine apsorbovane doze alfa zračenja u tkivu, na ravnim odstojanjima od površine, izračunate po jednačini 6, date su u tabeli 2.

Tabela 2

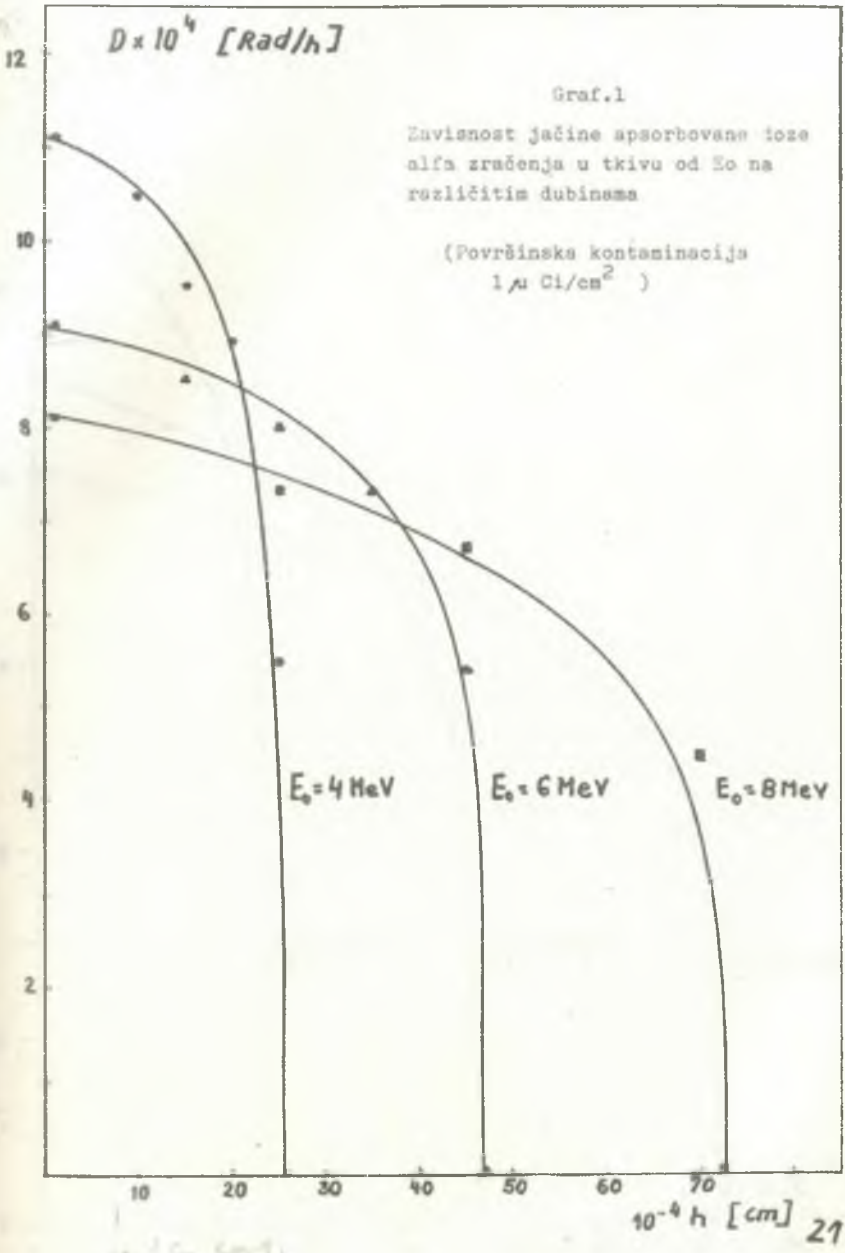
Jačina apsorbovane doze D ($10^3$ Rad/h) u tkivu pri površinskoj kontaminaciji od 1 μ Ci/$cm^2$ za početne energije alfa čestica od 4,6 i 8 MeV

| h | $E_0$ (MeV) | | |
|---|---|---|---|
| ( μ ) | 4 | 6 | 8 |
| 1 | 111 | 91 | 81 |
| 5 | 109 | | |
| 10 | 105 | | |
| 15 | 95 | 85 | |
| 20 | 89 | | |
| 25 | 55 | 80 | 73 |
| 25,6 | 0 | | |
| 35 | | 73 | |
| 45 | | 54 | 67 |
| 47 | | 0 | |
| 70 | | | 45 |
| 72,4 | | | 0 |

U slučajevima kada postoji difuzija ili neki drugi proces translokacije alfa emitera sa površine u tkivo, očigledno je da će postojati odredjena prostorna raspodela alfa aktivnosti, koja u ovom modelu nije tretirana.

Na grafiku 1 data je zavisnost jačine apsorbovane doze alfa zračenja u tkivu, u zavisnosti od upadne energije.

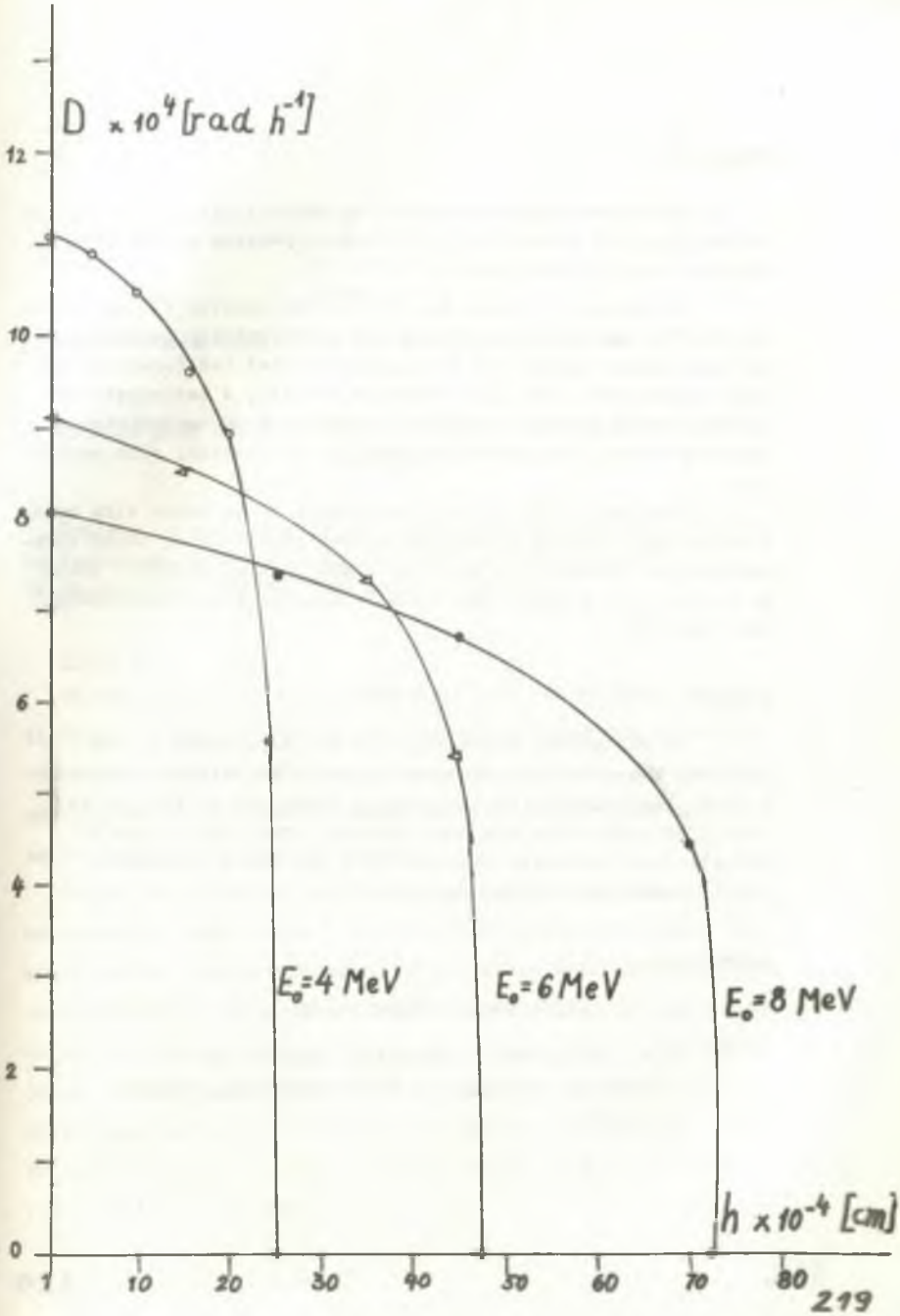
Iz ovog grafika se vidi da je u tkivu, neposredno ispod kontaminirane površine, brzina doze pri konstantnoj površinskoj kontaminaciji veća za alfa zračenje manje energije. Redosled kojim krive date energije $E_0$ presecа druge, inverzan je energijama kojima te krive odgovaraju.




Graf.1

Zavisnost jačine apsorbovane doze alfa zračenja u tkivu od E₀ na različitim dubinama

(Površinska kontaminacija 1 μ Ci/cm² )


D x 10^4 [rad h^-1]
12
10
8
6
4
2
0
E₀=4 MeV
E₀=6 MeV
E₀=8 MeV
h x 10^-4 [cm]
1
10
20
30
40
50
60
70
80

## Zaključak

Jednačine koje su izvedene za $dE/dx = f(x)$ i $R = f(E)$ zadovoljavajuće reprodukuju publikovane podatke o lineranom gubitku energije alfa zraka u tkivu (1).

Odstupanja u odnosu na publikovane podatke (1) su uglavnom do 5 %, sa izuzetkom jednog uskog energetskog područja, gde odstupanje iznosi oko 10 %. Ovakav model izračunavanja brzine apsorbovane doze alfa zračenja u tkivu, u zavisnosti od početne energije alfa zračenja i odstojanja od kontaminirane površine tkiva, ima praktičan značaj u dozimetriji alfa zračenja.

Dobijeni rezultati daju mogućnost da se nakon alfa spektrometrijske analize površinske kontaminacije nekog tkiva izračunaju doze ozračenja na bilo kom odstojanju od površine tkiva, do dubine koja odgovara dometu alfa čestica različitih energija u tom tkivu.

## Summary

An analytical expression for the dependence of the absorbed dose-rate of alpha-particles on the distance from a flat, homogenously contaminated surface and on the initial energy of alpha-rays has been derived. Numerical values of the absorbed dose-rate obtained with the above expression are presented in a graph and table.

## Literatura

1. P.J. Walsh, Health Physics, 19, (2), 312 (1970)

2. M. Delpla et R. Schaeffer, Rapport 22, Congress Europeen de Radioprotection, Menton, (1968).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Bauman Alica

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU,
Zagreb

# ODJELJIVANJE Sb-125 U UZORCIMA FALLOUT-A TALOŽENJEM KAO $Cs_3Sb_2Cl_9$

Opisana je gravimetrijska metoda odvajanja Sb-125 iz uzoraka fallout-a. Temelji se na taloženju stibija kao soli $Cs_3Sb_2Cl_9$ u prisustvu ledene octene kiseline.

## U V O D

Za separaciju fisionih produkata objavljen je čitav niz različitih metoda. Poznato je, da neki od tih fisionih produkata tokom same analize stvaraju niz velikih poteškoća. Gotovo na prvo mjesto po poteškoćama možemo staviti Sb-125 zbog hidrolize do koje dolazi tokom odvajanja.

Objavljene postupke za odvajanje Sb-125 možemo razvrstati na kromatografske metode (1) i to s kationskim i anionskim izmjenjivačima, papirnu kromatografiju, zatim destilaciju (2), volatilizaciju (1). Prednost elektrodepozicije (2,5) leži u tomu što su odsutni strani joni, koji bi mogli smetati kod odvajanja. Od gravimetrijskih metoda primjenjuje se taloženje Sb-125 kao sulfid (1,2,3,4) ili kao antimonova kiselina, a važe se kao $Sb_2O_4$ (2), zatim koprecipitacija $Sb(NO_3)_{-3}$ s AgCl (5) u mediju aceton-$HNO_3$.

U ovom radu primijenjena je gravimetrijska metoda za taloženje Sb-125 kao sol $Cs_3Sb_2Cl_9$. Premda je spoj poznat gotovo 100 godina, uvjeti taloženja su slabo ispitani, a podaci u literaturi ne postoje (6).

## M E T O D A

### Potrebne kemikalije, pribor i aparatura

CsCl (10 mg/ml), $SbCl_3$, ledena octena kiselina, KCl (50 mg K/ml), $HNO_3$, HCl, $H_2O_2$, 7% otopina Cezignosta (7), sinter lončić G-4.

Priprava $SbCl_3$: 40%-tna otopina u ledenoj octenoj kiselini (7). Izotopi: Sb-125, Cs-137 Amersham Radiochem.Center, Vel. Britanija. Sva mjerenja vršena su 256 kanalnim analizatorom i kristalom NaJ(Tl) 100 x 100 mm.

Kod preliminarnih pokusa na čistim vodenim otopinama ispitane su reakcije $SbCl_3$ primarno za taloženje antimona i cezija, a sekundarno za kalij i amonijak.

### a. reakcije antimona

Otopini s 20 mg cezija, dodaje se 5 ml ledene octene kiseline, 2 ml 40%-tne $SbCl_3$, zagrije do vrenja dok ne počne padati bijeli talog $Cs_3Sb_2Cl_9$. Talog stoji 15 minuta (optimalno iskorištenje (7), pere ledenom octenom kiselinom, odsiše preko sinter lončića G-4 i suši do konstantne težine na 105°C. Spoj je postojan na zraku, razara se vodom ili HCl uz zagrijavanje.

### b. reakcije cezija

Cezij se kod gornjih uvjeta kvantitativno taloži. Taloženje je nepotpuno u prisustvu HCl.

### c. reakcije kalija

Uvjeti taloženja ispitani su na otopinama od 0,4 - 1,0 g.

kalija. Taloži se u hladnom kao $K_3Sb_2Cl_9$ u suvišku ledene octene kiseline. Zagrijavanjem se potpuno otapa i ne smeta kod taloženja $Cs_3Sb_2Cl_9$. Samo tokom duljeg stajanja dolazi do parcijalne precipitacije.

d. reakcije amonijaka

$SbCl_3$ reagira s amonijakom i daje čitav niz dvosoli od kojih su najtipičnije (6) $3\ NH_4Cl \times SbCl_3 \times 1\ 1/2\ H_2O$

ili $2\ NH_4Cl \times SbCl_3$

Zato se kod taloženja $Cs_3Sb_2Cl_9$ u prisustvu amonijaka zbog koprecipitacije dobivaju znatno viši rezultati (160%).

Kod odvajanja Sb-125 iz uzoraka napušten je klasičan postupak taloženja hidroksida amonijakom. Uklanjanje amonijaka volatilizacijom dovodi do gubitaka antimona. Zato ovdje nije primijenjena klasična analitička shema odvajanja elemenata po grupama.

e. odvajanje Sb-125 iz uzoraka padavina

Pošto se Sb-125 nalazi u uzorku u krutoj i tekućoj fazi, vrši se mokro spaljivanje:

1. Uzorku se dodaju nosači Cs i Sb, upari na 20 ml i doda 25 ml 1 : 10 $HNO_3$.

2. Dodaje se 300 ml $HNO_3$ i 25 ml HCl pokrije stakalcem od ure, zagrije, da se razore organske tvari, upari i doda par mililitara 30% $H_2O_2$ i ponovi oksidaciju.

3. Kad se razori organska supstanca, upari se i doda 10 ml 10%-tne HCl za taloženje prisutnog silicija i filtrira.

4. Upari se do suha i otopi u minimumu $HNO_3$ 1:1.

5. Cs-137 se istaloži s 5 ml 7%-tnog NaTFCB Cezignost (8).

6. Nakon taloženja Cs-137, filtrat se upari, doda 20 mg Cs nosača, zagrije do vrenja i taloži $Cs_3Sb_2Cl_9$, pere ledenom

octenom kiselinom na sinter lončiću, suši do konstantne težine i važe.

7. Uzorak se izbroji.

Iskorištenje metode iznosi 72-75%.


## Summary

A radiochemical separation of Sb-125 is described by precipitation as $Cs_3Sb_2Cl_9$ in glacial acetic acid medium.


## Literatura


1. Maeck W.J.: The radiochemistry of Sb, (1961) NAS-NS 3033, USAEC
2. Lavruhina A.K. et al.: Radiohimičeskih analiz. (1963) Izdat.Akad.Nauk SSSR, Moskva
3. Treadwell F.P.: Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemice. (1939) F. Deutsche, Leipzig-Wien
4. Kreškov A.P.. Osnovi analitičeskoi himiji 1. (1965). Izdat. Himija, Moskva
5. Harley J.H. ed.: Manual of standard procedures, Sec. issuance. (1967-1970) HASL-USAEC
6. Gmelin: $NH_4$, Rb, Cs, System Nummer 23,24,25. (1936). Verlag Chemie, Berlin
7. Bauman A. Disertacija, Zagreb, Tehnološki fak. (1965)
8. Bauman A. Talanta 15, 185 (1968)

VI simpozium Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid, 25. do 28. aprila 1972.

Gvozdanović Dr. Smilja

M.R.C. Environmental Radiation Research Unit, Department of Medical Physics, The University of Leeds, The General Infirmary, Leeds 1, England. (Privremena adresa)

# ODNOS Ca, Sr, Ba i Ra U LJUDSKOM KOSTURU I HRANI U ZAVISNOSTI OD UZRASTA

Na osnovu postojećih podataka u literaturi o sadržaju bariuma i radiuma u ljudskim kostima i hrani za različite uzraste izračunato je procentualno iskorišćenje ovih elemenata u ljudskom telu. Iskorišćenja za barium i radijum uporedjena su sa onima za kalcijum, stabilni stroncijum i $^{90}$Sr koje je nedavno izračunao Loutit. Ustanovljeno je da iskorišćenje opada idući od Ca prema Ra. Za period od 5 - 20 godina ono se može predstaviti stepenom funkcijom atomskog broja Z sa istim konstantama. Ova funkcija ne važi za prvu godinu života kada je iskorišćenje veće a diskriminacija izmedju Ca i ostalih zemnoalkalnih elemenata manja. Diskutovana je fiziološka zavisnost diskriminacije od uzrasta.

## UVOD

Proučavanje metabolizma stroncijuma, barijuma i radijuma znatno je stimulirano razvojem nuklearne energije a naročito probnim nuklearnim eksplozijama. $^{90}$Sr i $^{140}$Ba su fisioni produkti a $^{226}$Ra je član uranske serije. Ova tri radioaktivna elementa su otpaci nuklearne industrije koja će sve više uzimati maha u budućnosti. Proučavanje metabolizma ova tri elementa interesantno je ne samo sa gledišta radijacione higijene već i za bolje razumevanje metabolizma kalcijuma koji je bitan elemenat za sve žive organizme.

Empiričke relacije izmedju količine kalcijuma, prirodnog stroncijuma i $^{90}Sr$ u ljudskom kosturu i količine unete hranom za različite uzraste dali su Loutit (1,2) u V. Britaniji, Comar (3) i Rivera (4) u S.A.D. Prvi je izučavao nezavisno kretanje stroncijuma a druga dvojca kretanje stroncijuma u organizmu u odnosu na kalcijum.

Za barijum i radijum ne postoje publikovani radovi o odnosu kolićina ovih elemenata u kosturu i hrani u zavisnosti od uzrasta pri normalnoj ishrani.

Cilj ovoga rada je da odredi odnose količina u kosturu prema količinama unetih hranom za barijum i radijum, koristeći podatke iz literature, kao i da uporedi podatke za barijum i radijum sa onima za kalcijum i stroncijum. To treba da omogući nalaženje empiričke relacije za predvidjanje količina Ca, Sr, Ba i Ra u kosturu ako je poznata količina uneta hranom. Osim toga treba ustanoviti životne intervale u kojima data relacija važi.

## SADRŽAJ Ca, Sr, Ba I Ra U KOSTURU LJUDI IZ V. BRITANIJE I S.A.D. U ZAVISNOSTI OD UZRASTA

Sadržaj kalcijuma u ljudskom kosturu za stanovnike različitog uzrasta u S.A.D. odredili su Mitchel et al (5). Pretpostavljajući da iste vrednosti za Ca vrede i u V. Britaniji, Loutit (2) je saopštio količine Sr u kosturu britanskog stanovništva za 1, 5, 10, 15, i 20 godina starosti. Mi smo izračunali količine barijuma i radijuma u kosturu ljudi za navedene uzraste koristeći podatke za kalcijum (5) i publikovane koncentracije Ba i Ra po gramu Ca u ljudskim kostima.

Za razliku od stroncijuma koncentracije barijuma i radijuma na gram Ca u kostima ljudi se ne povećavaju sa uzrastom

već imaju konstantnu vrednost za sve grupe starosti (6,7,8,9,10, 11).

KOLIČINE Ca, Sr, Ba i Ra UNETE HRANOM

Loutit (1) je dao zaokrugljene vrednosti dnevnog unošenja Ca i Sr za uzraste od 1, 5, 10, 15 i 20 godina . Tabela br. 1. prikazuje vrednosti za Ca i Sr zajedno sa vrednostima za Ba i $^{226}$Ra koje smo mi sakupili iz literature a koje su date za stanovništvo Velike Britanije i S.A.D.

TABELA BR. 1.

Količine Ca, Sr, Ba i Ra koje se unose dnevno u različitim uzrastima.

| Autor i lokacija | P Količina na dan | Uzrast u godinama 1 | 5 | 10 | 15 | 20 i preko |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Loutit (1) V.B. | g Ca | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Loutit (1) V.B. | mg Sr | 0.5 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| Harrison et al (12)V.B. | mg Ba | - | - | - | - | 0.55 |
| Tipton et al (13) S.A.D. | mg Ba | - | - | - | - | 0.78 |
| Engelmann (14) S.A.D. | pCi Ra | 0.58 | - | - | - | - |
| Michelson (15) S.A.D. | pCi Ra | 0.60 | - | - | 1.6 | - |
| Klement (16) S.A.D. | pCi Ra | - | - | - | - | 1.6 |
| Interpolisano za V.B. | mg Ba | 0.18 | 0.36 | 0.36 | 0.55 | 0.55 |
| -"- za S.A.D. | mg Ba | 0.26 | 0.52 | 0.52 | 0.78 | 0.78 |
| -"- za S.A.D. | pCi Ra | 0.58 | 1 | 1 | 1.6 | 1.6 |

Pošto količine barijuma i radijuma koje se unose dnevnom hranom nisu merene za sve periode, mi smo iste interpolisali pod pretpostavkom da je odnos unošenja ovih elemenata u toku posmatranih perioda isti kao za stroncijum.

## ISKORIŠĆENJE Ba I Ra IZ HRANE ZA RAZLIČITE UZRASE

Pojam "Iskorišćenja" uveo je Loutit (1) i formulisao ga kao odnos količine elementa u telu prema ukupnoj količini unetoj hranom za posmatrani životni interval. On je izračunao iskorišćenja za Ca, Sr, i $^{90}Sr$ za periode t = 1, 5, 10, 15 i 20 godina prema jednačini:

$$I = \frac{Q}{\sum_{0-t} P} \times 100 \qquad (1)$$

Gde je I = iskorišćenje u procentima, Q = količina elementa u kosturu a $\sum_{0-t} P$ = ukupna količina elementa uneta hranom u periodu od 0 - t godina. Koristeći istu jednačinu mi smo izračunali iskorišćenje za barijum i radijum (tabela br. 2.).

TABELA BR. 2.

Izračunato iskorišćenje barijuma i radijuma iz hrane

| t | Q | | | $\sum P$ | | | I (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ba mg | | Ra pCi | Ba mg | | Ra pCi | Ba | | Ra |
| | (6) | (7) | (9,10) | (12) | (13) | (14,15) | V.B. | A. | S.A.D. |
| 1 | 3.6 | 5.6 | 4.0 | 66 | 95 | 212 | 5.4 | 5.9 | 1.9 |
| 5 | 7.9 | 12.3 | 8.8 | 591 | 854 | 1672 | 1.3 | 1.4 | 0.5 |
| 10 | 14.4 | 24.4 | 16.0 | 1218 | 1803 | 3947 | 1.1 | 1.2 | 0.4 |
| 15 | 28.4 | 44.8 | 32.0 | 2219 | 3226 | 6457 | 1.3 | 1.4 | 0.5 |
| 20 | 36.0 | 56.0 | 40.0 | 3219 | 4650 | 9337 | 1.2 | 1.1 | 0.4 |

A. = Amerika (S.A.D. i Kanada)

U tabeli br. 3. i slici br. 1 su uporedjena iskorišćenja za barijum i radijum sa onima za kalcijum, stabilni stroncijum i $^{90}Sr$ koje je izračunao Loutit. Vidi se da su iskorišćenja za Ca, Sr, Ba i Ra najviša u prvoj godini, ona ostaju prilično konstantna u toku rašćenja od 5 - 20 godina a po prestanku rasta naglo opadaju.

TABELA BR. 3.

Uporedjenje iskorišćenja za Ca, Sr, $^{90}Sr$ i $^{226}Ra$

| t Uzrast u godinama | % Iskorišćenja $Q/\sum P$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Loutit 1969. | | | | |
| | Ca | Sr | $^{90}Sr$ | *Ba | Ra |
| 1 | 27 | 11 | 13.0 | 5.6 | 1.8 |
| 5 | 12 | 3.1 | 1.9 | 1.4 | 0.5 |
| 10 | 11 | 2.7 | 1.8 | 1.2 | 0.4 |
| 15 | 15 | 3.2 | 4.0 | 1.3 | 0.5 |
| 20 | 14 | 2.8 | 4.4 | 1.2 | 0.4 |

* Srednje vrednosti iskorišćenja Ba za Veliku Britaniju i Ameriku.

Ako iskorišćenja za Ca, Sr, Ba i Ra nanesemo u log - log sistemu prema atomskim brojevima (Slika br. 2.) sve tačke za periode od 5 - 20 godina leže duž prave linije. Iskorišćenje I opada, idući od Ca prema radijumu prema stepenoj funkciji atomskog broja:

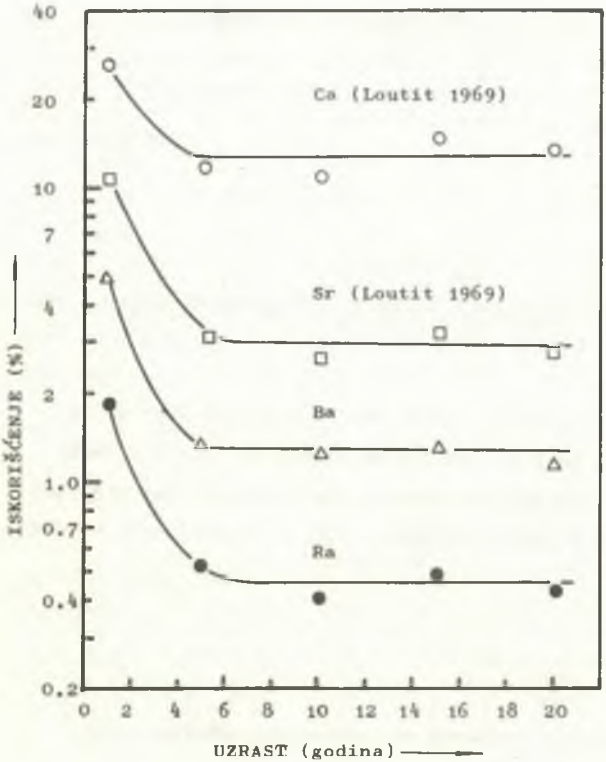
$$I = \frac{Q}{\sum_{5-20} P} = BZ^{-\beta} \qquad (2)$$

B i $\beta$ su konstante a Z atomski broj elementa. Koeficijenat pravca je negativan ( $\beta = -2.25$ ).

Za prvu godinu života iskorišćenje je veće nego za period od 5 - 20 godina; pored toga tačka iskorišćenja za Ca ne leži na istoj pravoj sa tačkama za Sr, Ba i Ra. Ovo je posledica manje diskriminacije ostala 3 elementa prema kalcijumu. Prema tome jednacina (2) ne važi za prvu godinu života.

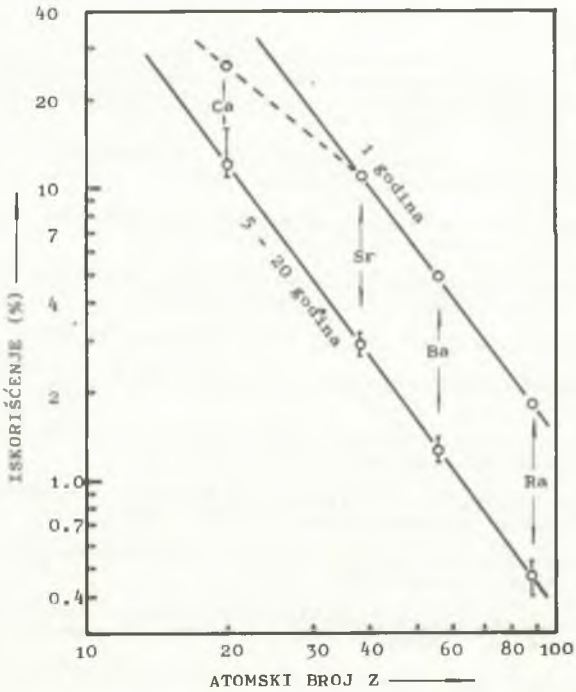
Ranije smo uočili (17,18) kod odraslih osoba da se odnos količine Ca, Sr, Ba i Ra u kosturu prema količinama koje se dnevno unose hranom može pretstaviti stepenom funkcijom

njihovog atomskog broja Z.




Slika br. 1. Iskorišćenje za Ca, Sr, Ba i Ra u zavisnosti od uzrasta.

Paralelno proučavanje Ca, Sr, Ba i Ra za različite uzraste omogućilo je dobijanje generalne empiričke relacije izmedju količina u kosturu i količina unetih hranom. Ustanovljeni su periodi u kojima data relacija važi. Pokazano je da je diskriminacija Sr, Ba i Ra u odnosu na Ca manja u prvoj godini a povećava se i ostaje približno konstantna posle pete godine.




Slika br. 2. Iskorišćenje za Ca, Sr, Ba i Ra u zavisnosti od atomskog broja Z za uzraste od 1 godine i 5 - 20 godina.

ABSTRACT: The utilisations of Ba and Ra by human body are calculated by using the existing data from the literature for the amounts of Ba and Ra in human bone and food. The utilisations for Ba and Ra are compared with those for Ca, Sr and $^{90}Sr$ calculated recently by Loutit. We established that for all periods from 5 - 20 years of age, the utilisation decreases going from Ca to Ra as a power function of the atomic number Z. This function does not fit the data for the first year when the utilisation is higher and other alkaline earth elements are less discriminated in relation to Ca. The physiological dependance of the discrimination with the age is discussed.

REFERENCE:


1. Loutit, J.F.: U "FAO/IAEA/WHO Seminar on Agricultural and Public Health Aspects of Environmental Contamination by Radioactive Materials" Vienna 24 - 28 March 1969, SM - 117/25, str. 27, Vienna (1969).

2. Loutit, J.F. "Irradiation of mice and man", 88, The University of Chicago Press, Chicago (1962).

3. Comar, C.L.: u "Strontium Metabolism" (Lenihan, J.M.A. i dr. Ed.) 17, Academic Press, London (1967).

4. Rivera, J. : u "Strontium Metabolism" (Lenihan, J.M.A. i dr. Ed.), 47, Academic Press, London, (1967).

5. Mitchell, H.H. et al : J. Biol. Chem., 158, 625, (1945).

6. Henderson, E.H., Parker, A. i Webb, M.S.W. : AERE-R 4035 (1962)

7. Grummit, W.E. : TID-7632 Book 2 (Biology and Medicine) (Klement Jr, A.W. Ed.), 376, (Feb. 1962).

8. Mayneord, W.V. : u "Progress in Biophysics and Biophysical Chemistry" Pergamon Press, London, (1961).

9. Stahlhofen, W. : u "Assessment of Radioactivity in Man",V.2 505,IAEA, Vienna, (1964).

10. Blanchard, R.L.:u "Radiological Concentration Processes" (Aberg, B. i Hungate, F.P. Ed.), 281, Pergamon Press, (1967).

11. Hallden, N.A. i Harley J.H.; Nature, 204, 240, (1964).

12. Harrison, G.E., Raymond, W.H.A. i Tretheway, H.C.: u "Proceedings of the International Conference on the Peacefull Uses of Atomic Energy" (I) 11, 156, (1956).

13. Tipton, H.J., Stewart, P.L. i Dickson, J. : Health Phys. 16, 455, (1969).

14. Engelman, E.: HASL-113, 95, (1961).

15. Michelson, I. et al,: J. Nutrition, 78, 371, (1962).

16. Klement, A.W.Jr.: u "Radioactive Fall-out, Soils, Plants, Food and Man" (Fouler, Ed.), 138, Elsevier Publishing Co. London, (1965).

17. Gvozdanović, S.: Ph.D. Thesis, University of Leeds.

18. Gvozdanović, S.: U pripremi za štampu.

VI simpozium Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Gvozdanović Dr. Dragutin

M. R. C. Environmental Radiation Research Unit, Department of Medical Physics, The University of Leeds, The General Infirmary, Leeds 1., England. (Privremena adresa)

# EKOLOGIJA I METABOLIZAM TORIUMA I DRUGIH ELEMENATA PRELAZNE GRUPE

Nedavno je nadjen koeficijenat intestinalne resorpcije toriuma, koristeći normalni srednji sadržaj toga elementa u ljudskoj i životinjskoj hrani i kosturima. Na sličan način moguće je naći odnos koncentracija u opštoj životnoj sredini i kosturu. Onda mi poredjujemo taj odnos za torium sa istima za druge elemente prelazne grupe, za koje postoje podaci. Ovaka analiza pokazuje izvesnu sličnost tih odnosa kod nekih elemenata prelazne grupe, indicirajući izmedju ostaloga, verovatan odnos za plutonium, kada bi se isti nalazio u sastavu zemljišta.

Torium je drugi elemenat aktiniumuve grupe; svi izotopi toriuma su radioaktivni, poluživot najstabilnijeg je vrlo dug ($1.4 \times 10^{10}$ godina), pa se elemenat može za mnoge praktične svrhe smatrati stabilnim.

Postoji više opasnosti radiološkog karaktera pri rudarstvu, preradi rude, metalurgiji i hemiji toriuma i njegovih jedinjenja. Naše istraživanje nije imalo kao neposredan cilj taku vrstu opasnosti. Mi smo pokušali da nadjemo ekološku sliku kretanja toriuma i da onda uporedimo taku sliku sa istima za druge elemente prelazne grupe u nadi da će se naći neke zajedničke crte. Takve zajedničke crte bi sigurno pomogle u proceni opasnosti po stanovništvo od zemljišta jednoliko zagadjenog nekim

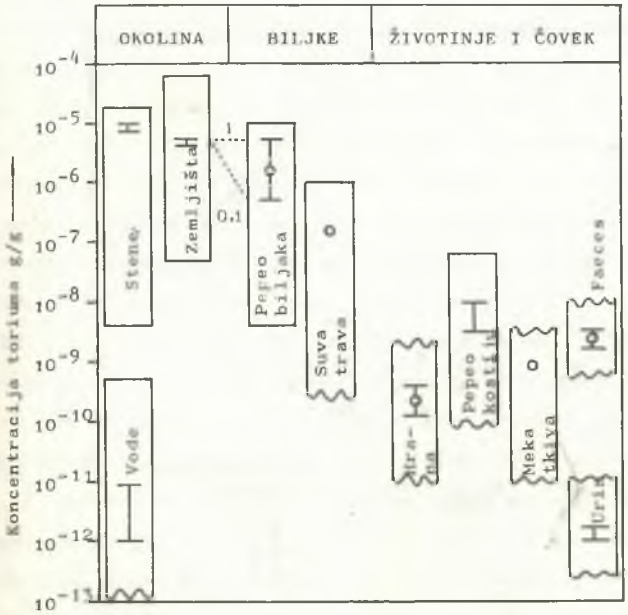
radioaktivnim izotopom razmatranih elemenata.

U oblastima povećane koncentracije torium se pojavljuje u obliku minerala, kao jedini metal ili u zajednici sa retkim zemljama. Taki minerali mogu činiti nalazišta (na pr. monacit) ili biti rasuti i doprinositi samo lokalno povećanom nivou. Rastvorljivost takih minerala je izvanredno mala pa torium sadržan u takim mineralima ne doprinosi primetno svom nivou u biosferi.

Dec toriuma sadržan kao mikrosastojak u normalnim mineralima zemljišta postaje pristupačan biljkama pri rastvaranju takih minerala pod dejstvom korena. Više manje samo ovaj dispergovan deo toriuma je pristupačan ekološkim sistemima. Koncentracije toriuma nadjene u pepelu biljaka bile su 0.1 do 1 od onih u normalnim zemljištima (1), mi smo za dva uzorka trave našli akumulaciju od 0.18 (2). Vrlo je verovatno da su biljke glavni izvor toriuma životinjama i čoveku. Koristeći sve dosadašnje podatke (pregled u (2,3,4)) napravljen je diagram normalnih nivoa u opštoj okolini i biosferi (slika 1.).

Koeficijenat resorpcije toriuma kroz probavni trakt čoveka, koji sledi iz tih podataka (0.001) (5) znatno je različit od onoga koji je prihvaćen za svrhe zaštite (0.0001) (6) i zasnovan na metaboličkim experimentima. Pri nivoima prirodnih koncentracija najveći deo toriuma se deponuje u strukturi kosti.

Pored izračunavanja koeficijénta resorpcije možemo takodje da izračunamo odnos izmedju koncentracija toriuma u prosecnoj kosti odraslih osoba i u prosečnom zemljištu. To se može učiniti i za druge elemente gde su podaci poznati. Slika 2. prikazuje, prema podacima iz literature (7,8), korelaciju koncentracija nekih elemenata u kostima sisara sa istima u zemljištu. Diagonalne linije prikazuju jednake odnose kostur -




Slika 1. Pregled koncentracija torijuma u životnoj okolini i živim bićima.

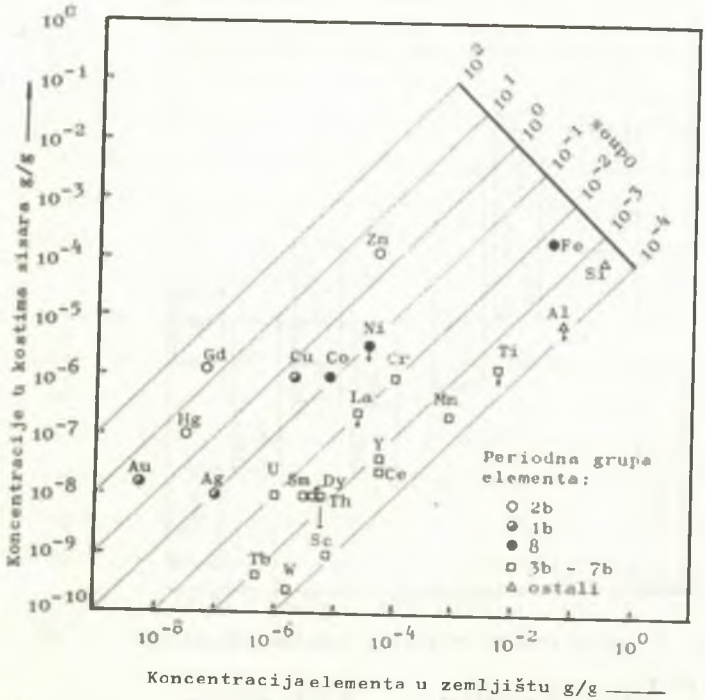
Raspon koncentracija — O Naša merenja

Raspon koncentracija nepotpuno odredjen

Verovatan raspon srednje vrednosti

- zemljište. Prikazani uzorci kostiju ne potiču nažalost sa navedenih zemljišta, niti ne predstavljaju uvek neku srednju vrednost. Pored toga take vrste odredjivanja su često skopčane sa znatnom greškom.

I pored takih ograničenja postoje izvesne zajedničke crte u odnosima koncentracija u kostima sisara i zemljištu. Koncentracije elemenata 1b grupe periodnog sistema (Cu, Ag, Au) u kostima su slične onima u zemljištu, koncentracije elemenata




Slika 2. Odnos koncentracija elemenata u kostima sisara prema koncentracijama u zemljištu.

2b grupe su čak veče u kostima. Svi drugi elementi su diskriminirani; elementi 8. grupe (Fe,Co,Ni) su diskriminirani umereno, dok su prelazni elementi grupa 3b - 7b (Sc, Y, La, Ce, Sm, Tb, Dy, Th, U, Ti, Zr, Cr, W, Mn) kao i Al i Si diskriminirani u velikoj meri. Neki podaci za neke manje rasprostranjene retke zemlje (Lu, Eu, Ho, Yb, Er) pokazuju skoro iste koncentracije u kosti kao i u zemljištu. Uzimajući u obzir vrlo niske koncentracije tih retkih zemalja, kao i to da se radi o relativno ranim odredjivanjima (1953), moguće je sumnjati u njihovu tačnost.

Poznato je da neki od navedenih elemenata imaju odredjenu biološku funkciju (na pr. Fe, Co, Zn, Cu, Mn), drugi su pak štetni (Hg, Cd). Uloga većine elemenata grupa 3b - 7b, gde takodje pripada torium, još nije poznata. Poznato je da koncentracije toriuma u kostima rastu sa starosti (9). Opšta je pretpostavka da se navedeni elementi resorbuju samo zato što organizam nije u potpunosti u stanju da ih diskriminira; njihova depozicija u kosturu je prema tome samo jedan od načina da se isti udalje iz cirkulacije. Depozicija u kosturu se dešava na površini kristala apatita (10), što po mom mišljenju deluje stabilizirajuće na kristale apatita deficitarene u kalcijumu. Drugi autori (11) smatraju da je depozicija aktinida i Y u kosturu uzrokovana reakcijom sa specifičnim proteinom kosti.

Uzevši sve to u obzir, raspon odnosa koncentracija u kosturu i u zemljištu je $10^2$ (od $10^{-2}$ do $10^{-4}$) za većinu elemenata 3b - 7b grupa, kao i za Al i Si. Raspon koncentracija tih elemenata u zemljištu je više nego $10^6$.

Varijacije u prikazanom odnosu ne mogu se, pri sadanjem stanju tačnosti njihovog odredjivanja, povezati sa odredjenim fiziko-hemiskim osobinama elemenata, kao rastvorljivost, sposobnost formiranja kompleksa ili veličina jona. Moguće je da je nešto veća akumulacija urana posledica opšte veće rastvorljivosti njegovih jedinjenja.

Već dosta dugo je poznato da prisustvo Zr i Y utice na raspored depozicije toriuma i plutoniuma (pregled u (2)). To ukazuje na postojanje sličnosti u mehanizmu po kome se elementi 3b - 7b grupa kao i neki drugi deponuju u kosti. Zato postojanje korelacije izmedju koncentracija tih elemenata u kosturu i u zemljištu ne dolazi kao potpuno iznenadjenje. Isto tako moguće je da ti elementi imaju u organizmu istu ili sličnu ulogu,

ukoliko taka uopšte postoji.

Prikazani odnosi izmedju kosti i zemljišta za elemente 3b - 7b grupa razlikuju se manje od 10 puta od njihove geometriske srednje vrednosti od $10^{-3}$. Prema tome izgleda da bi bilo moguće praviti predvidjanje koncentracija tih elemenata u kosturu kada je poznata njihova koncentracija u zemljištu a da pri tome greška predvidjanja bude manja od 10 puta. Takvo predvidjanje bilo bi moguće samo kad se koncentracije u zemljištu bitno ne menjaju u toku dugo vremena, dakle samo kod dugoživecih radioizotopa. Lista takih izotopa data je u tabeli 1.

TABELA BR. 1.

Spisak nekih izotopa elemenata prelazne grupe koji imaju dugo poluvreme raspada

| Izotop | Poluvreme raspada (godina) | Prinos kod fisije (%) |
|---|---|---|
| Transuranski elementi: | | |
| $^{237}Np$ | $2.14 \times 10^{6}$ | - |
| $^{239}Pu$ | $2.44 \times 10^{4}$ | - |
| Produkti fisije: | | |
| $^{93}Zr$ | $1.1 \times 10^{6}$ | 6.5 |
| $^{99}Tc$ | $2.1 \times 10^{5}$ | 6.1 |
| $^{107}Pd$ | $7.5 \times 10^{6}$ | 0.2 |
| $^{144}Ce$ | 0.76 | 4 - 6 |
| $^{144}Nd$ | $1.5 \times 10^{15}$ | 6.1 |
| $^{147}Pm$ | 2.6 | 2.6 |
| $^{147}Sm$ | $6.7 \times 10^{11}$ | 2.6 |
| $^{151}Sm$ | 93 | 0.5 |

Jedan od najinteresantnijih izotopa u tom pogledu je sigurno $^{239}Pu$. Dobar deo iskustva o metabolizmu toga elementa sledi iz laboratoriskih experimenata. Malo je podataka o prenosu ovoga izotopa iz fall-out-a u žive organizme. Postoje indikacije nalaza toga izotopa u uzorcima kostiju normalnih preživara (2). Zagadjenje opšte životne sredine tim elementom je dobro poznato u područjima na kojima su vršene probne nuklearne eksplozije. Nedavni pregled takog područja u Nevadi (12) je zaista pokazao povećanu važnost unošenja toga elementa hranom podzemnih životinja. Kako sledi iz našeg razmatranja, za plutonium se može očekivati da odnos izmedju koncentracija u kosturu i zemljištu bude $10^{-3}$; moguće čak da bi odnos od $10^{-2}$ bio prihvatljiviji, budući da je plutonium sličniji uranu nego toriumu.

U pokušaju da uporedimo našu procenu ekološkog kruga toriuma sa istima drugih elemenata, pokazali smo izvesne sličnosti u odnosu izmedju koncentracija u kosturu i zemljištu za torium i za neke druge elemente. Dalje razmatranje biće moguće tek kada postanu dostupni bolji podaci za koncentracije tih elemenata u opštoj okolini i životinjskim i ljudskim tkivima.

Abstract: An uptake coefficient for thorium was found recently by using the normal average contents of this element in animal and human foods and skeletons. Similarly it is possible to find a relation between the concentrations in the general environment (soils) and in the skeletons. Then we compare the relation for thorium with the relations for other elements of the transition group, for which data are available. Such an analysis indicates some similarity of these relations for some elements of the transition group, indicating between others a likely relation for plutonium, providing this element would be contained in the soil.

REFERENCE:


1. Verkhovskaya, I.N.; Vavilov, P.P. and Maslov, V.I., "Radiological concentration processes" (Aberg, B. and Hungate, F.S. Edts.) 313, (1967) Pergamon Press.
2. Gvozdanović, D.: Ph.D. Thesis, University of Leeds, (1970).
3. Gvozdanović, D.: 2-nd Congress of the I.R.P.A.; paper No 159, Abstr.: Health Phys. 19., 124, (1970).
4. Gvozdanović, D. : Podneto časopisu "Health Phys."
5. Gvozdanović, D. : Podneto časopisu "Health Phys."
6. I.C.R.P. Committee II, Health Physics, 3, 1, (1960).
7. Bowen, H.J.M.: "Trace elements in biochemistry" 39 i 72, Academic Press, London & N.Y. (1966).
8. Underwood, E.J.:"Trace elements in human and animal nutrition" Academic Press, N.Y. & London (1962).
9. Lucas,Jr, H.F.; Edgington, D.N. and Markum, F,: Health Phys. 19. 739, (1970).
10. Jee, W.S.S. and Arnold, J.S. : Health Phys. 8, 709, (1962).
11. Herring, G.M.; Vaughan, J. and Williamson, M. : Health Phys. 8. 717, (1962).
12. Romney, E.M.; Mork, H.M. and Larson, K.H.: Health Phys. 19, 487, (1970).

VI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25.do 28 april 1972.

Kalendarov Z., Teodosievski G.
Republički zavod za zdravstvena zaštita, Skopje

# ISPITUVANJE NA PRIRODNATA GAMA RADIOAKTIVNOST VO OKOLINATA NA RUDNICI I BANSKO-KLIMATSKI LEČILIŠTA NA TERITORIJATA NA SR MAKEDONIJA

Vo okolinata na 12 rudnika i 9 bansko klimatski lečilišta izvršeni se okolu 2oo merenja na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost i dobienite rezultati gi kompletiraat podatocite za nivoto na taka narečeniot gama fon. t.e do oformuvanje na kartata so izodozni povrvnini na teritorijata na SR Makedonija.

Ovoj trud ima za cel ponatamošno sledenje-ispituvanje na prirodnata gama radioaktivnost vo okolinata na rudnici i bansko klimatski lečilišta,kade na visinata na ovoj fon pokraj gama emiteri od atmosferata ima i udel i sodržinata na ovie emiteri vo sostavot na rudnite naslagi koi se eksploatiraat i mineralnite vodi vo bansko klimatskite lečilišta.

Ovie ispituvanja ni davaat možnost za podetalno sogleduvanje i potpolnuvanje na kartata so izodozni povrvnini na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost na teritorijata na SR Makdeonija.

Merenjata se vršeni vo tek na 1971 god. vo leten i esenski suv period na visočina od eden metar nad okolinata na rudnici i bansko klimatski lečilišta so scintilacionen dozimetar NE 1701.

Odreduvajki ja najverojatnata jačina na ekspozicionata doza za populacijata od prirodnata gama radioaktivnost se uslovi interes da bide odredena i vo okolinata na rudnici i bansko klimatski lečilista.

## a) RUDNICI

Vo okolinata na 12 rudnika izvršeni se vkupno 100 merenja na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost.Srednite aritmetički vrednosti na rezultatite od ovie

merenja se dadeni vo tabela 1.

| RUDNIK | Sredna vrednost | Vkup.merenja |
|---|---|---|
| TAJMIŠTE | 22,5 | 10 |
| ORIZARI | 19,0 | 10 |
| CER | 20,0 | 10 |
| DAMJAN | 25,0 | 10 |
| LOJANE | 17,8 | 10 |
| RADUŠA | 21,5 | 10 |
| RABROVO | 15,6 | 10 |
| CRNIČINO | 22,0 | 10 |
| ZLETOVO | 35,0 | 10 |
| SASA | 32,5 | 10 |
| BOGOSLOVEC | 18,5 | 5 |
| ZA TALK | 16,2 | 5 |

Od iznesenite podatoci vo tabelata 1. može da se konstatira da najvisoki vrednosti se pojavuvat vo okolinata na rudnicite za olovo i cink Zletovo i Sasa-od 32,5 - 35,0 ur/h,a najniska vrednost vo okolinata na rudnikot Rabrovo - 15,6 ur/h.Razgleduvajki gi najdenite sredni vrednosti za jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost može da se najde najverovatnata jačina na ekspozicionata doza za populacijata vo okolinata na rudnicite koja iznesuva - 22,1 ur/h.

b).Bansko-klimatski lečilišta.

Izvršeni se 100 merenja na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost vo okolinata na 9 bansko - klimatski lečilišta na teritorijata na SR Makedonija.Srednite aritmetički vrednosti na rezultatite od ovie merenja se dadeni vo tabela 2.

| Bansko-klimatski lečilišta | Sredna vrednost | Vkup.merenja |
|---|---|---|
| DEBARSKA BANJA | 42,5 | 10 |
| KOSOVRASTI | 43,0 | 10 |
| KEŽOVICA | 51,5 | 10 |
| BANSKO | 34,6 | 10 |
| NEGORCI | 18,0 | 10 |

| | | |
|---|---|---|
| KUMANOVSKA BANJA | 15,3 | 10 |
| KATLANOVSKA BANJA | 17,8 | 10 |
| MEDŽITLIJA | 26,2 | 15 |
| VOLKOVO | 15,0 | 15 |

Analizirajki gi najdenite vrednosti na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost vo okolinata na bansko-klimatskite lečilišta može da se zabeleži deka vo Debarska, Kosovrasti,Kežovica i Bansko najdenite vrednosti se dosta visoko .skoro dvojno odošto vo ostanatite mereni mesta.Vsušnost tie pretstavuvat radioaktivni izvori bidejki imat vrednosti povisoko od 40 Mache-ovi edinici,i kako takvi se koristat za lekuvanje.

Ispituvanjata na prirodnata gama radioaktivnos prodolžuva i ovaa godina da se ispituva i toa na patištata od I i II red,sostaveni od asfalt i kocka da se vidi-utvrdi visinata na prirodnata gama radioaktivnost vo kompletiranje na kartata na prirodnata radioaktivnost so izodozni povrvnini na SR Makedonija.

Literatura:


1. M.Sterle: Konfiguracija terena i dozimetrija prirodne gama radioaktivnosti.III.Jugoslovenski simpozium o radiološkoj zaštiti.B.Luka,23-26.X.1967.

2. R.Radovanović;D.Hajduković: Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na teritoriji SR Srbije.Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti II.28-30 maj 1969.

3.R.Radovanović,M.Sterle: Nivo prirodnog gama fona u većim gradovima u SFRJ.V.Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti.Bled,6-9.X.1970 god.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Ivan Kobal, Janez Kristan
Univerza u Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# MERENJE NISKIH KONCENTRACIJA $^{222}$Rn U VODI

U radu su opisane dve metode za određivanje niskih koncentracija Rn-222 u vodi pomoću scintilacionih ćelija. Po prvi se metodi radon iz vode produva nekim inertnim gasom u više scintilacionih ćelija, a po drugoj produvani gas se vodi preko U-cevi hlađene tekućim azotom; radon se kondenzira a posle puni u scintilacionu ćeliju.

## UVOD

Po jednom od načina za određivanje koncentracije radona u vodi staklena posuda, nazvana vodna ćelija (slika 3 ) se napuni ispitivanom vodom, zatim se voda produva nekim inertnim gasom u kalibriranu scintilacionu ćeliju i iz α-aktivnosti scintilacione ćelije dobije koncentracija radona. Za neku scintilacionu ćeliju efikasnost produvavanja zavisi od dimenzija i oblika scintilacione ćelije i vodne ćelije pa i od visine vode u vodnoj ćeliji. Količinu uzorka treba odrediti prema koncentraciji radona i osetljivosti mernoga sistema. Za merenje koncentracija većih od 100 pCi/l može se upotrebiti vodna ćelija sa zapreminom od 16 ml. U ovom primeru produvavanjem vode već u prvoj scintilacionoj ćeliji sakupi se 98 % radona. Za koncentracije između 1 i 100 pCi/l izradili smo vodne ćelije sa zapreminom od 600 ml. Kod njih u prvu scintilacionu ćeliju sakupi se oko 45 % od ukupnog radona, pa je potrebno: 1.) upotrebiti više scintilacionih ćelija ili 2.) radon najpre koncentrirati a posle puniti ga u scintilacionu ćeliju. Primenili smo obe metode i međusobno ih uporedili.

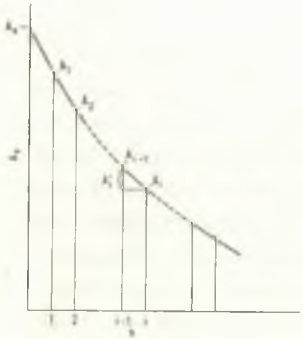
TEORETSKI DEO

1.) Izduvavanje radona iz vode može se matematički opisati jednačbom:

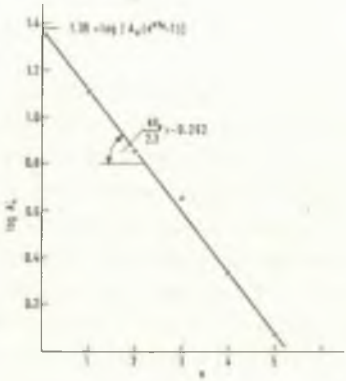
$$A = A_o . e^{-kV}$$

gde $A_o$ znači aktivnost radona u vodi pre početka produvavanja, A - aktivnost posle produvanja zapremine V inertnog gasa i k - konstantu proporcionalnosti.

Ako produvamo kroz vodu dovoljnu zapreminu inertnog gasa, tako da aktivnost A padne sporo na nulu i pri tome upotrebimo više scintilacionih ćelija, početna aktivnost radona u vodi, $A_o$, jednaka je zbiru aktivnosti svih upotrebljenih scintilacionih ćelija. Ova metoda poznata je iz literature (1); mi smo od nje odstupili samo u pogledu matematičke obrade, tako da smo umesto zbira aktivnosti upotrebili ekstrapolaciju.



Slika 1



Slika 2

Slika 1: opadanje aktivnosti u uzorku usled produvavanja

Slika 2: eksperimentalni podaci u semilogaritamskom diagramu

Ako u svaku scintilacionu ćeliju produvamo zapreminu $V_o$ inertnog gasa, onda je rezidualna aktivnost radona u uzorku ($A_n$) nakon upotrebe različitog broja scintilacionih ćelija (n) data diagramom na slici 1. Iz slike se vidi, da važe ove relacije:

$$A_i = A_{i-1} - A_i = A_o . e^{-kV_o(i-1)} - A_o . e^{-kV_o . 1}$$

i dalje:

$$A_i' = A_o(e^{kV_o} - 1).e^{-kV_o.i}$$

gde su $A_{i-1}$ i $A_i$ rezidualne aktivnosti nakon produvavanja uzorka u i-1 odnosno i scintilacionih ćelija, a $A_i'$ - aktivnost radona u i-toj scintilacionoj ćeliji.

Logaritmiranjem gornjeg izraza za n scintilacionih ćelija dobije se:

$$\ln A_n' = \ln (A_o(e^{kV_o} - 1)) - kV_o.n$$

Što znači u diagramu $\ln A_n'$ : n pravu sa nagibom $-kV_o$ i odsečkom na ordinati $\ln (A_o(\exp kV_o - 1))$. Ekstrapolacijom ove prave na vrednost n = 0, dobije se tako posredno aktivnost radona u uzorku, $A_o$. Broj upotrebljenih scintilacionih ćelija (n) mora biti najmanje 5, da bi mogli pouzdano konstruirati pravu.

2.) Za koncentriranje radona iz većih uzoraka, sve do pre nekoliko godina, izključivo se upotrebljavala adsorpcija radona na aktivnom uglju (2,3,4), a u poslednje vreme (5) pojavljuje se i kondenzacija radona tekućim azotom. Pošto je za desorpciju radona s uglja potrebno grejanje na 400 do 800 °C, čini nam se kondenzacija praktičnija pa smo je primenili kod naših merenja, s tim da smo metodu i aparaturu malo izmenili.

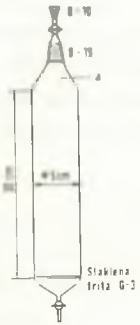
EKSPERIMENTALNI DEO

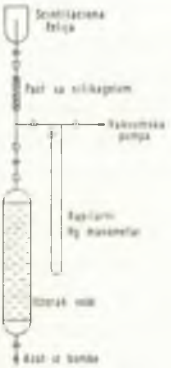
Scintilacione ćelije i brojač koje smo upotrebljavali za merenje α-aktivnosti, izrađeni su na našem institutu (6).

1.) Aparatura za merenje koncentracije radona u vodi upotrebom više scintilacionih ćelija, u koje je sakupljan produvani gas, prikazana je na slici 4. Zapremina scintilacionih ćelija 75 ml, a vodnih ćelija 600 ml; sve cevi su kapilarne, prečnika 1,5 mm. Kao inertni gas upotrebljavali smo azot iz bombe. Čitav postupak sličan je onome kod standardizacije scintilacionih ćelija (6), s razlikom da smo u ovom radu iz istog uzorka vode produvani gas sakupili u više scintilacionih ćelija.

Metodu smo testrali standardnim rastvorom radium klorida, koji smo zatvorili za određeno vreme u vodnu ćeliju, a zatim poznatu količinu radona, nastalu radioaktivnom raspadom u tom vremenu,

produvali redom u pet scintilacionih ćelija. Rezultati jednog od ovih merenja dati su grafički na slici 2. Nagib prave iznosi 0,262, što znači, da već u prvu scintilacionu ćeliju sakupimo oko 45 % radona iz uzorka. Ova vrednost dobije se, kada se vodna ćelija napuni uzorkom do oznake "a" na slici 3. Iz sečišta prave sa ordi-



Slika 3 Slika 4

Slika 3: vodna ćelija za sakupljanje uzoraka vode

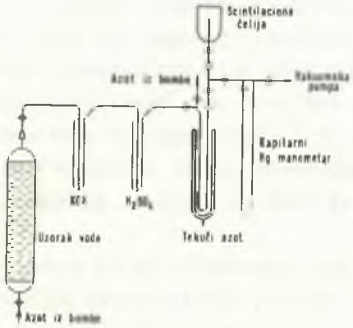
Slika 4: aparatura za produvavanje uzoraka vode inertnim gasom

natom dobije se vrednost $A_0$= 28 pCi međutim prava vrednost iznosi 27 pCi, što predstavlja razliku od 3 %. Kada se pažljivo radi, uvek se dobiju vrednosti, koje odstupaju od pravih za 5 do 10 %. Ali odmah treba napomenuti, da u slučaju, kad nisu uslovi produvavanja u sve ćelije praktično isti, dolazi do grešaka, koje iznose i do 40 %.

Najniža aktivnost, koja se našim scintilacionim ćelijama može meriti greškom od 10 %, jeste 0,5 pCi. To znači, da peta scintilaciona ćelija ne sme imati aktivnost manju od 0,5 pCi. U slučaju nagiba krive od 0,262 (slika 2) to bi značilo, da $A_0$ treba da bude oko 10 pCi, što kod vodnih ćelija sa zapreminom od 600 ml daje

koncentraciju radona od 15 - 20 pCi/l.

2.) Aparatura za koncentriranje radona iz većih uzoraka vode prikazana je na slici 5. Vodne ćelije i scintilacione ćelije iste su kao kod prve metode. Bitni deo aparature jeste U-cev prečnika 5 mm, koju hladimo tekućim azotom i služi za kondenzaciju radona. U svrhu povećanja kontaktne površine U-cev je napunjena staklenim kuglicama. Vakuumska pumpa služi za produvavanje azota kroz uzorak. Produvani gas ide najpre kroz zasićeni rastvor KOH i koncentrirovanu $H_2SO_4$, da se oslobodi $CO_2$ odnosno vlage, a zatim ide kroz U-cev, gde se radon kondenzira, a inertni gas uvuče u pumpu. Nakon produ-




Slika 5: aparatura za koncentriranje radona

vavanja, U-cev izključimo iz ostalog sistema, da bi je priključili na evakuiranu scintilacionu ćeliju. Kada se U-cev zagrije do sobne temperature, onda je produvamo azotom iz bombe, a produvani gas sa radonom hvatamo u scintilacionu ćeliju (slika 5).

Ako je dužina U-cevi veća od 15 cm, a protok azota ne suviše veliki (manji od 0,1 l/min), kondenzacija radona je potpuna. To smo utvrdili tako, da smo produvani gas hvatali u scintilacionu ćeliju, koja je pre toga zajedno sa sistemom U-cevi bila evakuirana. Pro-

tok gasa bio je isti kao pri eksperimentu. Nakon punjenja aktivnost scintilacione ćelije bila je u granicama osnovne radioaktivnosti.

Dalje smo utvrdili, da nema nikakvih gubitaka radona, samo ako je zapremina produvanog gasa bila dovoljno velika. Iz vodne ćelije smo produvali poznatu količinu radona i posle merenja aktivnosti scintilacione ćelije uverili smo se, da je sav radon prešao u scintilacionu ćeliju. Kod vodnih ćelija sa zapreminom od 600 ml zapremina produvanog gasa treba da bude oko 1 litar, što uzme 30 do 40 minuta vremena.

Kod ove metode čitava količina radona iz uzorka sakupljena je u jednoj scintilacionoj ćeliji, što znači za zapreminu uzorka od 600 ml najnižu koncentraciju radona, koja se može meriti greškom od 10 %, oko 1 pCi/l.

ZAKLJUČAK

Upoređenje dveju metoda za merenje niskih koncentracija $^{222}Rn$ u vodi pokazuje, da prednost ima druga, to jest metoda koncentriranja radona. Kod ove metode za jedan uzorak potrebna je jedna scintilaciona ćelija, a kod prve pet. Osetljivost druge metode jeste 1 pCi/l, a prve 20 pCi/l. Osim toga kod prve metode moguće su velike greške zbog nejednakih uslova produvavanja, a kod druge jedino je potrebno, da se produva dovoljna zapremina azota kroz uzorak vode.

Ove činjenice su nam sugerirale, da ne primenimo prvu metodu, a da upotrebimo drugu. Po toj metodi vršimo kontrolu koncentracije radona u tekućim vodama u okolini rudnika urana u Žirovskom vrhu. A za vode u rudniku upotrebljavamo vodne ćelije sa zapreminom 16 ml. Jedino u slučaju, kad treba brzo i približno utvrditi koncentraciju radona u vodi, upotrebljavamo metodu produvavanja u više scintilacionih ćelija, s tim da upotrebimo samo prvu scintilacionu ćeliju uz pretpostavku, da je u njoj oko 45 % celokupne aktivnosti radona.

ABSTRACT

Two methods are described for the determination of $^{222}Rn$ concentration in water by means of scintillation cells. In one the bubbled gas is filled into a number of scintillation cells, in

in the other the radon is concentrated from the bubbled gas by condensation and then filled in one scintillation cell. We considered the second method to be more simple and accurate.

BIBLIOGRAFIJA

1.) Raghavayya M., Proc.Reg.Sem.Bombay 1968, SM-114/17, 227 (1968)
2.) Lucas H.F., Rev.Scient.Instr. 28,9 (1957)
3.) Hursh J.B., Nucleonics 12, 62 (1954)
4.) Dyck W., Smith U., Quart.Colo.Sch.Mines 64, 223 (1969)
5.) Höhle R., Schuh U., Proc.II.Symp.Health Phys.Pecs, Hungary, 105 (1966)
6.) Kristan J.et al.,Rad.V.simp.Jugosl.drust.zašt.zrač., Bled 1970, Nr/4/06
7.) Brojač broj 19-01 NIJS, Ljubljana

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Janez Kristan, Ivan Kobal, Meta Ančik
Univerza u Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"
Tone Sedovšek
Geološki zavod Ljubljana

# KONTROLA KONCENTRACIJE $^{222}$Rn I NJEGOVIH KRATKOŽIVEĆIH POTOMAKA U RUDNIKU URANA U ŽIROVSKOM VRHU

U ovom radu su opisani rezultati merenja u rudniku urana u Žirovskom vrhu u mesecu januaru i februaru 1971. godine. Merili smo koncentraciju Rn-222 u vazduhu i vodi, koncentraciju radonovih kratkoživećih potomaka u vazduhi, i protok vazduha. Merenja su pokazala, da je sadašnji sistem ventilacije dovoljno efikasan, da drži koncentracije ovih radionuklida ispod maksimalno dozvoljenih vrednosti.

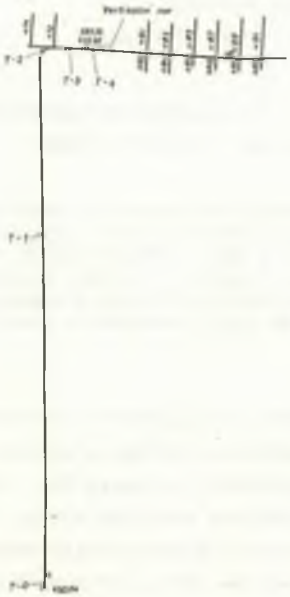
## UVOD

U mesecu januaru i februaru 1971. godine u rudniku urana u Žirovskom vrhu smo merili koncentraciju radona u vazduhu i vodi, te koncentraciju radonovih kratkoživećih potomaka RaA, RaB i RaC u vazduhu uz istovremeno merenje protoka vazdušne struje. Jedan deo tih merenja bio je posvećen praćenju koncentracije radona u vazduhu i vodi na određenim mernim mestima duž glavnog hodnika, a drugi merenju koncentracije radona i njegovih kratkoživećih potomaka u vazduhu jednog bočnog hodnika, koji je bio neko vreme zatvoren a posle ventiliran. Cilj ovih merenja bio je da se utvrdi, dali sistem ventilacije u rudniku odgovara sadašnjem opsegu rudarskih radova.

## SISTEM VENTILACIJE I KANALIZACIJA VODE

Na slici 1 prikazan je plan dela rudnika, u kojem Geološki zavod iz Ljubljane vrši rudarska i geološka istraživanja. Sistem ventilacije u rudniku prikazan je na slici 2. Glavni ventilator (snage

500 $m^3$/min) smešten je kod ulaza u horizont 580, a pomoćni (100 $m^3$/min) u donjem delu vertikalnog rova. Oba ventilatora stvaraju vazdušnu struju, kako je prikazano strelicama na slici 2. Osim toga na cev pomoćnog ventilatora priključene su cevi, koje vode u bočne hodnike i služe za ventiliranje pojedinih radilišta.

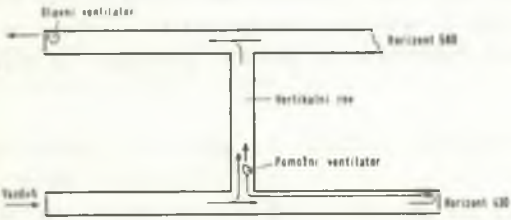


Slika 1: plan horizonta 430 u rudniku urana u Žirovskom vrhu

Kanalizacija vode izvedena je tako, da se voda u rudniku sakuplja u otvoreni kanal, koji ide duž glavnog hodnika u horizontu 430 i izlazi napolje kod ulaza u horizont. Za vreme naših merenja protok vode bio je praktično stalan i iznosio je kod ulaza u orizont 430 1600 l/min.

METODA RADA

Koncentraciju radona u vazduhu i vodi smo određivali pomoću scintilacionih ćelija, koje su bile već opisane (1). Scintilacionu ćeliju napunimo uzorkom vazduha gumenom ručnom pumpom, kojom vazduh produvamo kroz scintilacionu ćeliju. Uzorak vode nalijemo u posebnu posudu, nazvanu vodna ćelija, zapremine 16 ml, i produvamo ga inertnim gasom u evakuiranu scintilacionu ćeliju (2). α-aktivnost scintilacionih ćelija smo merili tri sata nakon punjenja. Ta aktivnost odgovarala je koncentraciji radona u vazduhu odnosno vodi.




Slika 2: sistem ventilacije u rudniku urana u Žirovskom vrhu

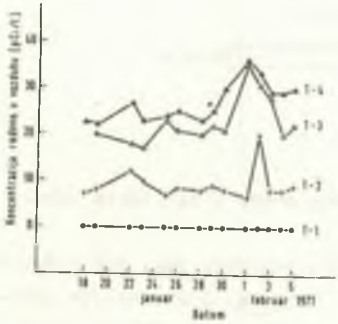
Koncentraciju radonovih kratkoživećih potomaka RaA, RaB i RaC u vazduhu smo merili metodom Kuznetza i Thomasa. U obe metode određenu količinu vazduha pomoću pumpe propustimo kroz filtar papir i merimo α-aktivnost filtra. Kod Kuznetzove metode α-aktivnost izmeri se u vremenu od 40 do 90 minuti nakon završetka filtriranja i dobije se direktno broj"working level"-a, no.WL (3,4). Thomasovom metodom (5) određuju se koncentracije pojedinih potomaka a α-aktivnost se počne meriti već dva minuta posle završetka filtriranja. α-aktivnost filtara smo merili pomoću scintilacionih pločica prečnika 60 mm i debljine 1 mm, koje smo izradili iz pleksi stakla i prevukli ih tankim slojem ZnS aktiviranog srebrom. Ove pločice smo kalibrirali tako, da smo na istom mestu u neventiliranom hodniku izmerili koncentraciju radona i Thomasovom metodom koncentraciju RaA i pri tome pretpostavljali, da su zbog radioak-

tivne ravnoteže međusobno jednaki.

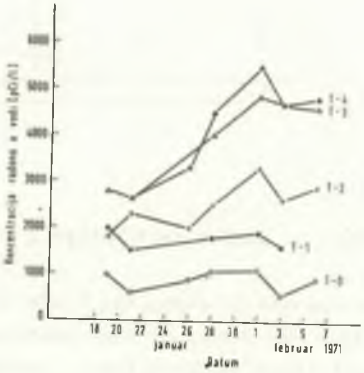
Za pumpanje vazduha kroz filtar smo upotrebljavali prenosnu pumpu (Gelman battery air sampler). Kao filtar služio nam je fiberglas papir. Za merenje α-aktivnosti upotrebljavali smo prenosni brojač IJS-GV-2. Brzinu vazduha i time posredno protok merili smo pomoću anemometra Casella London, No f 5537.

MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U VAZDUHU I VODI DUŽ GLAVNOG HODNIKA

Na mernim mestma T-0, T-1, T-2, T-3, i T-4 duž glavnog hodnika, koji su označeni na slici 1, merili smo koncentraciju radona u vazduhu i vodi i protok vazduha u vremenu od 18. januara do 6. februara 1971. godine. Rezultati su grafički prikazani na slikama 3 i 4.



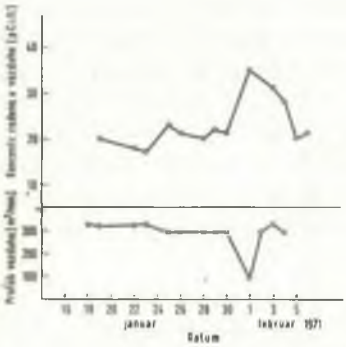

Slika 3: radon u vazduhu




Slika 4: radon u vodi

Slika 5 daje istovremeni prikaz protoka vazduha i koncentracije radona u vazduhu na mernom mestu T-3.

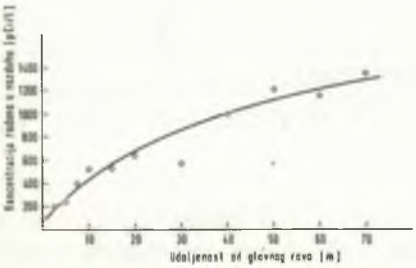
Oko 1. februarja došlo je do delimičnog sužavanja vertikalnog rova, što je oslabilo ventilaciju. Smanjenjem protoka vazduha (slika 5) odmah je došlo do povećanja koncentracije radona u vazduhu i vodi. Vrednost "0" na diagramu 3 znači naravnu radioaktivnost u vazduhu u okolini rudnika.




Slika 5: ovisnost koncentracije radona u vazduhu od protoka vazduha na mernom mestu T-3

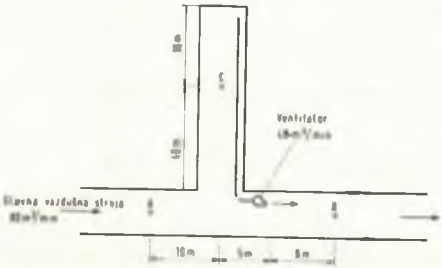
MERENJE KONCENTRACIJE RADONA I RADONOVIH KRATKOŽIVEĆIH POTOMAKA U VAZDUHU BOČNOG HODNIKA H - 83

Hodnik H-83 bio je pre naših merenja zatvoren tri meseci. Posle otvaranja hodnika izmerili smo koncentraciju radona u vazduhu hodnika na raznim udaljenostima od glavnog hodnika. Razultati merenja grafički su prikazani na slici . Iz njh se vidi, da koncentracija radona brzo raste sa udaljenošću od glavnog hodnika iako je bočni hodnik otvoren prema glavnom, ventiliranom, hodniku.

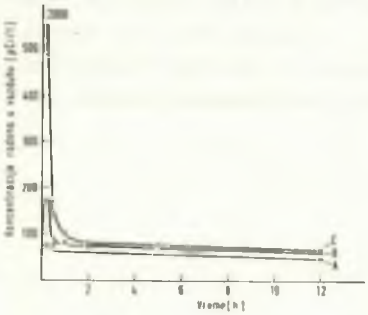


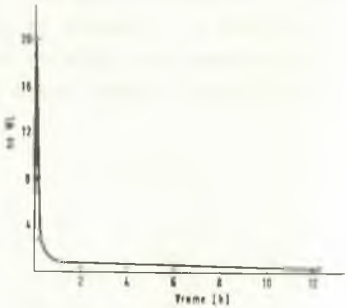

Slika 6: koncentracija radona u vazduhu bočnog hodnika H-83 na raznim udaljenostima od glavnog hodnika

Zatim smo u hodnik H-83 namestili manji ventilator, uključili ga i pratili smanjenje koncentracije radona i njegovih potomaka u vazduhu. Koncentraciju radona smo merili na mestima A, B i C, a koncentraciju potomaka samo na mestu C (slika 7). Rezultati su prikazani na slikama 8 i 9. Iz ovih se slika vidi, da koncentracije




Slika 7: shematski prikaz bočnog hodnika H-83




Slika 9

Slika 8: koncentracija radona u vazduhu hodnika H-83 za vreme ventiliranja

Slika 9: koncentracija radonovih potomaka u vazduhu hodnika H-83 za vreme ventiliranja

radona i njegovih potomaka u neventiliranom bočnom hodniku brzo opadaju nakon uključenja ventilatora i već posle dvočasovnog ventiliranja dostignu minimalne vrednosti, koje su malo veće od koncentracija u glavnom hodniku. Pošto smo vazduh iz hodnika H-83 crpali u glavni hodnik, na početku se je malo povećala koncentracija radona na mestu B, a na mestu A ostala praktično nepromenjena (slika 8). Zbog stalne difuzije radona iz stena u hodniku H-83 i nakon 12-časovnog ventiliranja koncentracija radona na mestu C malo je bila veća kao na mestu B, a ova opet veća kao na mestu A.

## ZAKLJUČAK

Rezultati merenja pokazali su, da je za sadašnji opseg radova u rudniku urana u Žirovskom vrhu ventilacioni sistem u stanju, da održava koncentracije radona i njegovih kratkoživećih potomaka RaA, RaB i RaC u vazduhu u željenim granicama. Ipak je potrebno skretati posebnu pažnju na rad ventilatora kao i na otvore, kroz koje prolazi vazduh. Kod bilo kakve promene ventilacije odmah je potrebno kontrolirati koncentracije radona i njegovih potomaka u vazduhu, i ako potrebno zabraniti ulaz rudara u rudnik.

Ako se u nekom bočnom hodniku obustave radovi, najbolje je da se on zatvori, mada kontaminacija vazdušne struje u glavnom hodniku i pri otvorenom bočnom hodniku neće biti velika. Time se spreči rudarima ulaz u bočni hodnik, u kome može koncentracija radona već na prvim metrima da više puta prevaziđe maksimalnu dozvoljenu vrednost.

Osim ovih merenja u rudniku urana u Žirovskom vrhu vrši se stalna kontrola koncentracije radona u vazduhu, a jednom mesečno i koncentracije radonovih kratkoživećih potomaka u vazduhu. Merenje koncentracije radona u vodama pojedinih izvora u rudniku kao i u vanjskim vodama u neposrednoj okolini rudnika vrše se jednom mesečno.


## ABSTRACT

Some results of field measurements in the uranium mine Žirovski vrh are described. The measurements of the $^{222}Rn$ concentrations in the air and water and the measurements of the radon daughters RaA, RaB, RaC concentrations in the mine atmosphere showed that the ventilation in the mine was sufficient to keep theese concentrations bellow their maximum permissible values.

BIBLIOGRAFIJA

1.) Kristan J. et al., Rad.V simp.Jug.društ.zast.zrač.
Bled 1970, Nr/4/06 (1970)

2.) Kobal I., Kristan J., Rad.VI simp.Jug.društ.zašt.zrač.
Ohrid 1972,

3.) Kuznetz H.L., Quarterly 17, 85 (1956)

4.) Hajduković D., Rad.IV simp.Jug.društ.zašt.zrač.
Baško Polje 1969, 2, 14 (1969)

5.) Thomas J.W., Health Phys. 19, 691 (1970)

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid, 25. do 28. aprila 1972.

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

# SPECIFIČNA GAMA KONSTANTA $^{226}$Ra U RAVNOTEŽI SA PRODUKTIMA RASPADA

Vrlo složeni spektar gama zračenja koje biva emitovano pri raspadu $^{226}$Ra, koji je u ravnoteži sa potomcima, kompletno je proanaliziran. Korišćenjem dobro poznatih vrednosti energija,za najintenzivnije linije u spektru i nekih linija osnovnog fona (1460,9 $^{40}$K i 2614,47 ThC"), odredjene su energije svih ostalih gama linija. Izračunati su takodje, relativni i apsolutni intenziteti ukupno 126 diskretnih gama linija i dati sa definisanim maksimalnim greškama.

Korišćenjem najnovijih literaturnih podataka za koeficijente apsorpcije energije gama zračenja u vazduhu, izračunate su parcijalne, grupne i totalna specifična gama konstanta.Za totalnu gama konstantu dobijena je vrednost: (0,894 + 0,040)Rh$^{-1}$Ci$^{-1}$ m$^{2}$. Na osnovu ovog podatka, za standardno pakovane radijumske izvore,posle korekcije za apsorpciju u 0,5 mmPt i za razliku aktivnosti od 1 Ci i u 1 g radijuma, dobija se vrednost od (0,807±0,036) Rh$^{-1}$g$^{-1}$ m$^{2}$.

## 1. U v o d

Spektar gama zračenja $^{226}$Ra (u ravnoteži sa produktima raspada), ili pak samo spektre osnovnih gama emitera u njegovom radioaktivnom nizu, analizirao je do sada veliki broj autora/1-27/.Ovaj spektar je toliko komplikovan, da je praktično svako poboljšanje merne tehnike i usavršavanje metoda merenja dovodilo do otkrića novih linija.Tako na primer, dok se u radovima iz 1930. godine/4,5/, navode podaci za samo desetak gama linija, dotle u najnovijim referencama/26,27/ je otkriveno i opisano preko 120 diskretnih gama linija. Značajan napredak učinjen je u zadnjih nekoliko godina, od kada se u gama spektrometriji otpočelo sa intenzivnim korišćenjem visoko rezolucionih Ge/Li/ - detektora/21,23-27/. To je jedan od razloga zbog koga smo se mi, raspolažući sa kvalitetnim poluprovodničkim spektrometrom, odlučili da analiziramo spektar $^{226}$Ra i na osnovu dobijenih karakteristika odredimo specifičnu gama konstantu.

Specifičnu gama konstantu $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada do sada je odredjivalo niz autora, bilo merenjem raznim tehnikama i metodama/28-37/, bilo izračunavanjima/38,39/ na osnovu spektralnih karakteristika. U tabeli XII, dati su neki od literaturnih podataka za specifičnu gama konstantu. Kako se većina radijumskih izvora, namenjenih za medicinske i druge svrhe, standardno pakuje u sudiće od platine debljine 0,5 mm, to se svi eksperimentalni podaci za specifičnu gama konstantu daju za takve izvore. Da bi se ovi podaci mogli uporedjivati sa računskim, dobijenim na osnovu prinosa gama linija u spektru, potrebno je izvršiti korekciju za samoapsorpciju. Za tu svrhu smo se poslužili analizom Shalek-a i Stovall-a/40/ koja je u saglasnosti sa ranijom procenom Aglinceva i dr/37/, da 0,5 mm platine, apsorbujući gama zračenje radijuma i njegovih produkata raspada, redukuje specifičnu gama konstantu za 9,25%.

Uporedjivanjem numeričkih podataka za specifičnu gama konstantu, datih u tabeli XII, može se zapaziti da je dostignuta velika preciznost u eksperimentalnim podacima/29,35,37/, oko 1%, ali se istovremeno primećuje uočljivo odstupanje računskih vrednosti od eksperimentalnih. Detaljnijom analizom podataka na osnovu kojih su izračunate gama konstante, koje daju Gusev /38/ i Gorškov/39/, može se zaključiti da osnovni uzroci odstupanja leže u nedovoljno tačnim i nekompletnim podacima o prinosima gama linija u spektru radijuma, koji su korišćeni u proračunu. To je upravo i ukazalo na potrebu podrobnije analize gama spektara radijumskih izvora sa ciljem tačnijeg odredjivanja prinosa diskretnih gama linija, što je i postavljeno kao zadatak u ovom radu.

## 2. Spektar gama zračenja $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada

Spektar gama zračenja $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada meren je na poluprovodničkom Ge/Li/-detektoru rezolucije 3,2 KeV na energijama Co-60. Detaljniji podaci o aparaturi i postupku merenja dati su u radu/41/. Ovde ćemo reći samo toliko da je u merenjima korišćen posebno pakovan izvor radijuma u aluminijumu debljine 0,25 mm, koji je na naš zahtev izradila firma AMERSHAM. Preimućstva ovog izvora su u tome što su se mogli zanemariti samoapsorpcija i uticaj na pogoršanje ukupne rezolucije gama spektrometra. Trajanje eksperimenta bilo je različito za pojedine delove spektra, a kretalo se od nekoliko časova do nekoliko stotina časova. Vreme snimanja podešavano je tako da se kod svih pikova, čiji je prinos po raspadu veći od 0,5%, dostigne statistika bolja od $10^4$ odbroja pod pikom.

Na slikama 1,2 i 3 prikazan je u delovima kompletno snimljeni spektar iz jedne serije merenja.

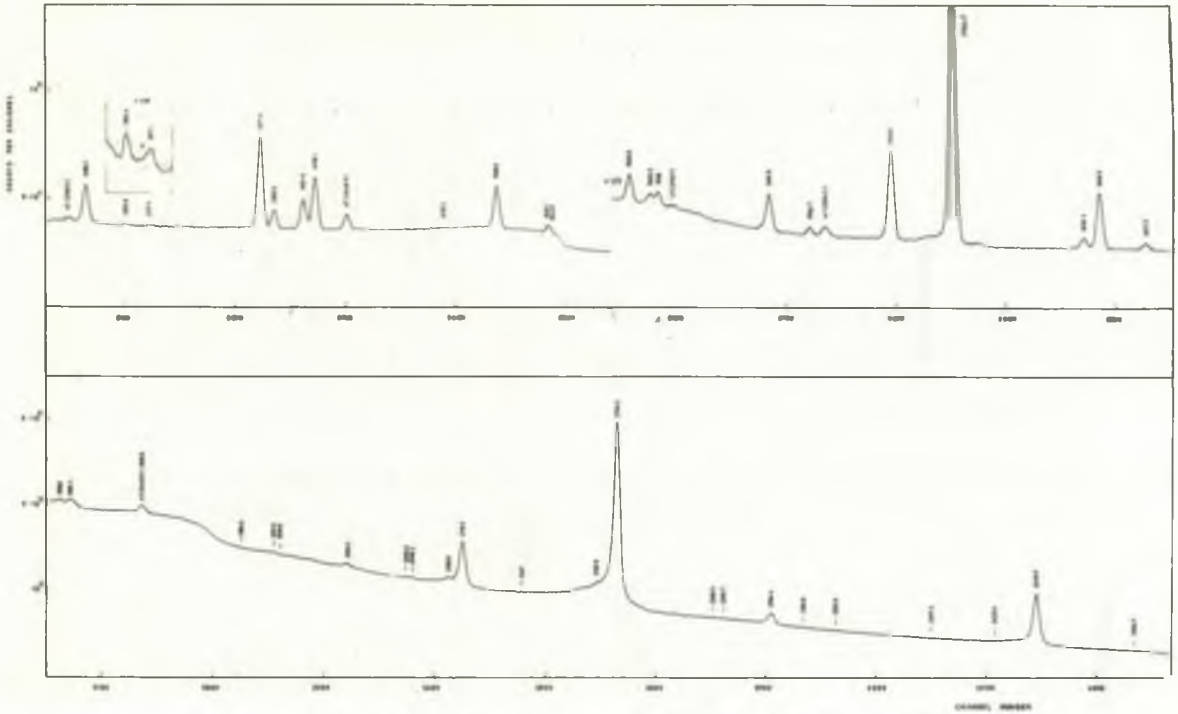


Fig. 3. Gamma-ray spectrum of sodium, in equilibrium with its decay products, in the energy region from 1250 to 2620 keV

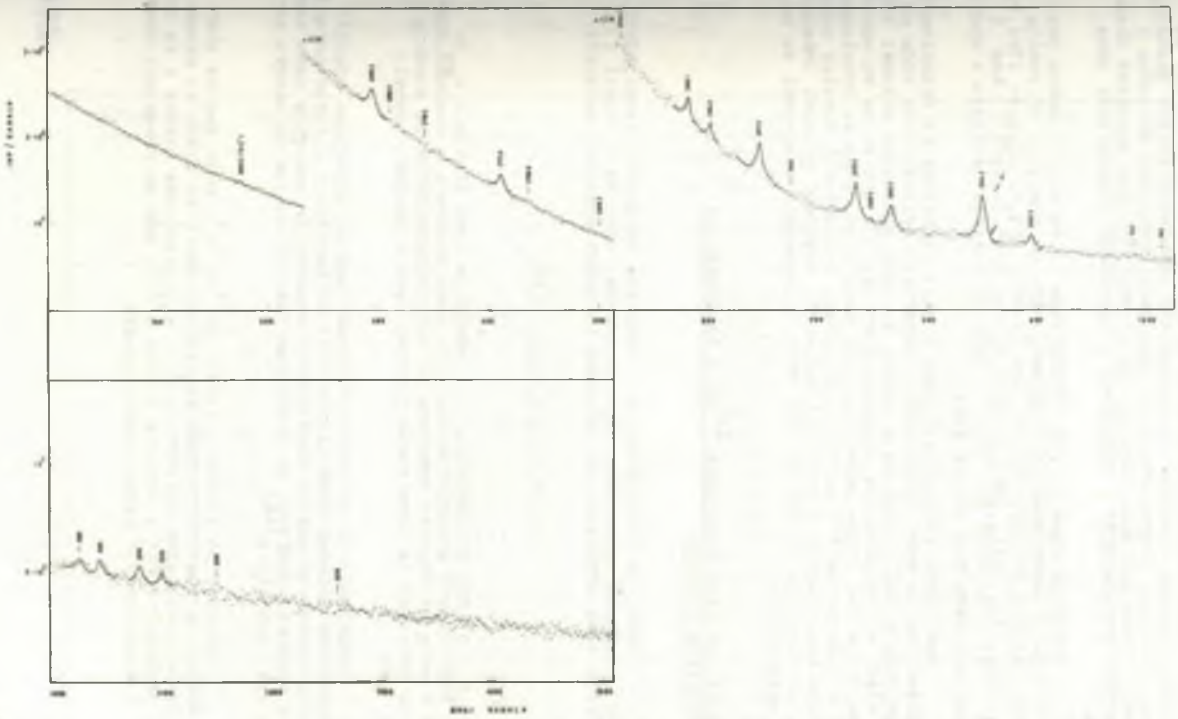


Fig. 1. Espectro gama característico, a coincidencia de procedencia cósmica, a intervalos espaciados de 2500 de 5000 keV

U toku celokupnog rada na spektru $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada izvršene su ukupno tri kompletne serije merenja. Svi tako dobijeni eksperimentalni rezultati obradjeni su ručno i mašinski, prema postupku koji je dat u radu/41/. Kao rezultat obrade dobijene su energije i relativni i apsolutni intenziteti gama linija.

Energije gama linija odredjivane su na osnovu dobro poznatih linija u samom spektru radijuma, čije su energije od ranije poznate: 241,92; 295,22; 351,99; 609,37/11/; 768,4; 1120,4; 1764,7; (1253,7-e1; 742,7-e2); 2204,3 (1693,3; e1; 1182,3-e2)/27/, kao i 1460,9 ($^{40}K$) i 2614,47 KeV (ThC"), koje se takodje javljaju u spektru radijuma samo kao linije fona.

Apsolutni intenziteti gama linija, dobijeni iz relativnih normalizacijom na sumu relativnih intenziteta prelaza koji vode na osnovno stanje RaC´, dati su u tabeli I. Naši apsolutni prinosi dobro se slažu sa rezultatima Lingeman-a et al./27/ što se ne bi moglo reći za druge dve grupe podataka, koji potiču od grupa sa Dzhelepov-om/15/ i Lederer-om/40/ na čelu. Rezultati Lederer-a i ostalih predstavljaju kompilaciju u kojoj su delimično usvojeni prinosi Dzhelepov-a, za energije od 609 do 1400 KeV, a preostale vrednosti su takodje vrlo bliske.

## 3. Specifična gama konstanta $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada

Podaci za izračunavanje i dobijene vrednosti parcijalnih, grupnih i totalne specifične gama konstante, dàti su u tabeli I. Specifična gama konstanta je računata po dobro poznatoj relaciji:

$$\Gamma = 19,53 \sum_i n_i (h\nu)_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i$$

gde je: n - prinos po raspadu, hν - energija gama linije i $\mu_{en}/\rho$ - maseni koeficijent apsorpcije energije gama zračenja u vazduhu. Konstanta u gornjoj formuli dobijena je pod predpostavkom da srednja energija potrebna za formiranje jonskog para u vazduhu iznosi: W = 33,7 eV.

Prethodno je prikazan postupak kako su odredjene energija i apsolutni prinosi gama linija koji su korišćeni u izračunavanju. Numerički podaci za maseni koeficijent apsorpcije energije gama zračenja u vazduhu, dobijeni su grafičkom interpolacijom na osnovu podataka J.H. Hubbell-a/44/.

Vrednost od (0,894 ± 0,040) $Rh^{-1}Ci^{-1}m^{2}$, koju smo na ovaj način dobili za specifičnu gama konstantu, dobro se slaže sa eksperimentalnim rezultatom Aglincev-a/37/, a u granicama greške i sa podacima Mayneord-a/29/ i Attix-a i Ritz-a/35/, dok su vrednosti Guseva/38/ i Gorškova/39/ izvan domena greške.

Tabela I. Podaci za izračunavanje i konačne vrednosti parcijalnih grupnih i totalne specifične gama konstante $^{226}Ra$ u ravnoteži sa produktima raspada

| Grupa linija | Energija (KeV) | Prinos po raspadu % | Maseni koef. apsorpcije energije u vazd. /$cm^2$/gr/ | Specifična gama konstanta /$Rh^{-1}Ci^{-1}m^2$/x10 | Doprinos ukupnoj sp.gama konstanti /%/ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 186,2 ± 0,2 | 4,0 ± 0,3 | 0,0264 | 0,038 ± 0,003 | 0,42 |
| | 196,0 ± 0,6 | 0,04± 0,01 | 0,0267 | 0,001 | 0,01 |
| | 241,92 | 7,5 ± 0,4 | 0,0279 | 0,100 ± 0,005 | 1,12 |
| | 258,6 ± 0,3 | 0,5 ± 0,04 | 0,0283 | 0,007 ± 0,001 | 0,08 |
| | 274,5 ± 0,6 | 0,4 ± 0,05 | 0,0285 | 0,006 ± 0,001 | 0,07 |
| | 281,0 ± 0,7 | 0,08± 0,02 | 0,02852 | 0,001 ± 0,0003 | 0,01 |
| | 286,7 ± 0,7 | 0,03± 0,02 | 0,0286 | 0,001 | 0,01 |
| | 295,22 | 18,5 ± 0,9 | 0,0287 | 0,306 ± 0,015 | 3,42 |
| | 304 ± 1 | 0,06± 0,03 | 0,0288 | 0,001 ± 0,0005 | 0,01 |
| | 309 ± 1 | 0,03± 0,02 | 0,0289 | 0,001 | 0,01 |
| | 316 ± 1 | 0,06± 0,02 | 0,02895 | 0,001 ± 0,0003 | 0,01 |
| | 324 ± 1 | 0,04± 0,02 | 0,0290 | 0,001 ± 0,0005 | 0,01 |
| | 335 ± 1 | 0,08± 0,03 | 0,02915 | 0,002 ± 0,001 | 0,02 |
| | 351,99± | 36,7 ± 1,8 | 0,0292 | 0,737 ± 0,036 | 8,24 |
| | 386,8 ± 0,9 | 0,34± 0,08 | 0,0294 | 0,008 ± 0,002 | 0,09 |
| | 388,6 ± 0,9 | 0,41± 0,08 | 0,0294 | 0,009 ± 0,002 | 0,10 |
| | 396,5 ± 0,7 | 0,04± 0,01 | 0,02945 | 0,001 ± 0,0003 | 0,01 |
| I | 406,2 ± 0,5 | 0,12± 0,04 | 0,0295 | 0,003 ± 0,001 | 0,03 |
| | 426,7 ± 0,6 | 0,04± 0,03 | 0,02955 | 0,001 ± 0,0007 | 0,01 |
| | 455,3 ± 0,4 | 0,28± 0,07 | 0,02957 | 0,007 ± 0,002 | 0,08 |
| | 462,2 ± 0,4 | 0,16± 0,06 | 0,02958 | 0,004 ± 0,001 | 0,04 |
| | 470,3 ± 0,5 | 0,12± 0,04 | 0,0296 | 0,003 ± 0,0005 | 0,03 |
| | 474,3 ± 0,5 | 0,08± 0,03 | 0,02962 | 0,002 ± 0,001 | 0,02 |
| | 480,8 ± 0,3 | 0,27± 0,08 | 0,02964 | 0,008 ± 0,002 | 0,09 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 487,1 ± 0,3 | 0,38 ± 0,05 | 0,02965 | 0,11 ± 0,002 | 0,12 |
| | 510 ± 0,9 | 0,08 ± 0,03 | 0,02965 | 0,002± 0,0007 | 0,02 |
| | 534 ± 0,4 | 0,19 ± 0,06 | 0,02958 | 0,006± 0,002 | 0,07 |
| | 542,7 ± 0,5 | 0,08 ± 0,03 | 0,02955 | 0,002± 0,0005 | 0,02 |
| | 546,6 ± 0,7 | 0,03 ± 0,02 | 0,02953 | 0,001± 0,0007 | 0,01 |
| | 572,3 ± 0,7 | 0,07 ± 0,03 | 0,02951 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| | 580,4 ± 0,4 | 0,28 ± 0,06 | 0,0295 | 0,009± 0,002 | 0,10 |
| | 609,37± | 43,5 ± 2,9 | 0,02948 | 1,526± 0,102 | 17,07 |
| | | | | 2,805± 0,155 | 31,37 |
| | 616,2 ± 0,7 | 0,06 ± 0,03 | 0,02947 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| | 633,4 ± 0,6 | 0,05 ± 0,02 | 0,02944 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| | 639 ± 1 | 0,09 ± 0,04 | 0,02943 | 0,003± 0,002 | 0,03 |
| | 648,8 ± 0,7 | 0,05 ± 0,03 | 0,02942 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| | 664,8 ± 0,3 | 1,7 ± 0,1 | 0,0294 | 0,065± 0,004 | 0,73 |
| | 682,3 ± 0,6 | 0,07 ± 0,03 | 0,0293 | 0,003± 0,001 | 0,03 |
| | 698,5 ± 0,9 | 0,03 ± 0,02 | 0,02926 | 0,001± 0,0007 | 0,01 |
| | 702,5 ± 0,4 | 0,57 ± 0,05 | 0,02925 | 0,023± 0,002 | 0,26 |
| | 711,1 ± 0,6 | 0,04 ± 0,02 | 0,02923 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| | 719,8 ± 0,4 | 0,40 ± 0,05 | 0,02918 | 0,016± 0,002 | 0,18 |
| | 734 ± 1 | 0,04 ± 0,02 | 0,02915 | 0,002± 0,001 | 0,02 |
| II | 752,9 ± 0,4 | 0,11 ± 0,04 | 0,0291 | 0,005± 0,002 | 0,06 |
| | 768,4 | 4,8 ± 0,2 | 0,02905 | 0,209± 0,009 | 2,34 |
| | 785,1 ± 0,3 | 1,1 ± 0,05 | 0,02895 | 0,049± 0,002 | 0,55 |
| | 806,6 ± 0,3 | 1,3 ± 0,05 | 0,0288 | 0,059± 0,002 | 0,66 |
| | 821,9 ± 0,4 | 0,12 ± 0,04 | 0,02874 | 0,006± 0,002 | 0,07 |
| | 826,4 ± 0,4 | 0,10 ± 0,05 | 0,02873 | 0,005± 0,003 | 0,06 |
| | 839,5 ± 0,3 | 0,52 ± 0,05 | 0,0287 | 0,024± 0,002 | 0,27 |
| | 905 ± 1 | 0,05 ± 0,03 | 0,0283 | 0,003± 0,002 | 0,03 |
| | 934,8 ± 0,3 | 3,2 ± 0,1 | 0,0282 | 0,165± 0,005 | 1,85 |
| | 964,7 ± 0,3 | 0,38 ± 0,05 | 0,02795 | 0,020± 0,003 | 0,22 |
| | 1032,5 ± 0,5 | 0,06 ± 0,02 | 0,0276 | 0,003± 0,001 | 0,03 |
| | 1052,5 ± 0,4 | 0,34 ± 0,04 | 0,0275 | 0,019± 0,002 | 0,21 |
| | 1070,3 ± 0,4 | 0,28 ± 0,05 | 0,02745 | 0,016± 0,003 | 0,18 |
| | 1103,7 ± 0,4 | 0,15 ± 0,04 | 0,0273 | 0,009± 0,003 | 0,10 |

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| | 1120,4 | 16,1 ± 0,5 |
| III | 1133,6 ± 0,3 | 0,28 ± 0,04 |
| | 1154,9 ± 0,3 | 1,6 ± 0,1 |
| | 1207,6 ± 0,3 | 0,42 ± 0,05 |
| | 1237,7 ± 0,2 | 6,0 ± 0,2 |
| | 1280,2 ± 0,3 | 1,5 ± 0,05 |
| | 1303,4 ± 0,5 | 0,08 ± 0,03 |
| | 1317,1 ± 0,5 | 0,04 ± 0,02 |
| | 1377,6 ± 0,3 | 4,2 ± 0,1 |
| | 1385,5 ± 0,3 | 0,74 ± 0,04 |
| | 1401,6 ± 0,3 | 1,3 ± 0,05 |
| | 1408,1 ± 0,2 | 2,5 ± 0,1 |
| | 1479 ± 1 | 0,04 ± 0,02 |
| | 1509,8 ± 0,3 | 2,2 ± 0,05 |
| | 1539,1 ± 0,4 | 0,57 ± 0,05 |
| | 1543,8 ± 0,5 | 0,33 ± 0,03 |
| | 1583,8 ± 0,3 | 0,76 ± 0,05 |
| | 1595,5 ± 0,4 | 0,32 ± 0,04 |
| | 1599,9 ± 0,4 | 0,33 ± 0,05 |
| | 1661,9 ± 0,3 | 1,09 ± 0,04 |
| | 1684,7 ± 0,4 | 0,21 ± 0,04 |
| | 1729,9 ± 0,2 | 2,9 ± 0,1 |
| | 1764,6 | 16,6 ± 0,3 |
| | 1782,0 ± 0,8 | 0,013 ± 0,005 |

| 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|
| 0,02715 | 0,957 ± 0,030 | 10,70 |
| | 1,670 ± 0,075 | 18,68 |
| 0,0271 | 0,017 ± 0,002 | 0,19 |
| 0,0270 | 0,097 ± 0,006 | 1,08 |
| 0,0267 | 0,026 ± 0,003 | 0,29 |
| 0,0266 | 0,386 ± 0,013 | 4,32 |
| 0,02635 | 0,099 ± 0,003 | 1,11 |
| 0,02625 | 0,005 ± 0,003 | 0,06 |
| 0,0262 | 0,003 ± 0,002 | 0,03 |
| 0,02597 | 0,294 ± 0,007 | 0,28 |
| 0,02585 | 0,052 ± 0,003 | 0,58 |
| 0,0258 | 0,092 ± 0,004 | 1,03 |
| 0,02577 | 0,177 ± 0,007 | 1,98 |
| 0,0255 | 0,003 ± 0,002 | 0,03 |
| 0,0253 | 0,164 ± 0,004 | 1,83 |
| 0,02526 | 0,043 ± 0,004 | 0,48 |
| 0,0252 | 0,025 ± 0,003 | 0,28 |
| 0,02505 | 0,059 ± 0,004 | 0,66 |
| 0,02498 | 0,025 ± 0,003 | 0,28 |
| 0,0250 | 0,026 ± 0,004 | 0,29 |
| 0,0247 | 0,087 ± 0,003 | 0,97 |
| 0,02462 | 0,017 ± 0,003 | 0,19 |
| 0,02449 | 0,240 ± 0,008 | 2,68 |
| 0,0243 | 1,390 ± 0,026 | 15,55 |
| | 3,327 ± 0,110 | 37,21 |
| 0,02425 | 0,001 ± 0,0004 | 0,01 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1839,3 ± 0,4 | 0,33 ± 0,05 | 0,02405 | 0,029 ± 0,004 | 0,32 |
| | 1848,5 ± 0,3 | 2,1 ± 0,1 | 0,0240 | 0,182 ± 0,009 | 2,04 |
| | 1873,7 ± 0,4 | 0,20 ± 0,03 | 0,02392 | 0,018 ± 0,003 | 0,20 |
| | 1890,1 ± 0,6 | 0,06 ± 0,02 | 0,02385 | 0,005 ± 0,002 | 0,06 |
| | 1896,4 ± 0,5 | 0,10 ± 0,03 | 0,0238 | 0,009 ± 0,003 | 0,10 |
| | 1936,5 ± 0,6 | 0,04 ± 0,03 | 0,02372 | 0,003 ± 0,002 | 0,03 |
| | 1984,5 ± 0,6 | | 0,0235 | | |
| | 2011,0 ± 0,7 | 0,03 ± 0,01 | 0,0234 | 0,003 ± 0,001 | 0,03 |
| IV | 2015,0 ± 0,8 | 0,01 ± 0,005 | 0,02338 | 0,001 ± 0,005 | 0,01 |
| | 2052,7 ± 0,5 | 0,05 ± 0,02 | 0,02325 | 0,006 ± 0,002 | 0,07 |
| | 2084,5 ± 0,5 | 0,01 ± 0,005 | 0,02318 | 0,001 ± 0,0005 | 0,01 |
| | 2089,2 ± 0,5 | 0,02 ± 0,01 | 0,02317 | 0,002 ± 0,001 | 0,02 |
| | 2109,8 ± 0,5 | 0,07 ± 0,03 | 0,02305 | 0,007 ± 0,003 | 0,08 |
| | 2118,3 ± 0,3 | 1,25 ± 0,05 | 0,0230 | 0,119 ± 0,005 | 1,33 |
| | 2148,0 ± 0,2 | 0,005 ± 0,002 | 0,02285 | 0,001 | 0,01 |
| | 2192,9 ± 0,5 | 0,05 ± 0,02 | 0,02278 | 0,005 ± 0,002 | 0,06 |
| | 2204,3 | 5,2 ± 0,3 | 0,02274 | 0,509 ± 0,029 | 5,69 |
| | 2260,5 ± 1,2 | 0,005 | 0,02255 | 0,001 | 0,01 |
| | 2265,7 ± 1,2 | 0,005 | 0,02254 | 0,001 | 0,01 |
| | 2294,4 ± 0,4 | 0,33 ± 0,01 | 0,02248 | 0,033 ± 0,001 | 0,37 |
| | 2313,8 ± 0,8 | 0,008 ± 0,004 | 0,02245 | 0,001 ± 0,0005 | 0,01 |
| | 2332,0 ± 0,8 | 0,017 ± 0,005 | 0,02228 | 0,002 ± 0,0006 | 0,02 |
| | 2377,2 ± 0,8 | 0,005 ± 0,003 | 0,0222 | 0,001 ± 0,0006 | 0,01 |
| | 2423,6 ± 0,9 | 0,005 ± 0,002 | 0,0221 | 0,001 ± 0,0004 | 0,01 |
| | 2448,0 ± 0,3 | 1,72 ± 0,08 | 0,0220 | 0,181 ± 0,009 | 2,02 |
| | | | | 1,119 ± 0,055 | 12,51 |
| | 2504,7 ± 0,5 | 0,008 ± 0,001 | 0,02178 | 0,001 ± 0,0002 | 0,01 |
| | 2595,5 ± 0,5 | 0,033 ± 0,005 | 0,02135 | 0,004 ± 0,001 | 0,04 |
| | 2699,8 ± 0,8 | 0,003 ± 0,001 | 0,0213 | 0,001 | 0,01 |
| | 2719,3 ± 1,2 | 0,002 ± 0,001 | 0,0212 | 0,001 | 0,01 |
| | 2771,0 ± 0,5 | 0,028 ± 0,004 | 0,02105 | 0,003 ± 0,0005 | 0,03 |
| | 2786,9 ± 0,8 | 0,006 ± 0,001 | 0,0210 | 0,001 ± 0,0003 | 0,01 |
| | 2828,2 ± 0,9 | 0,003 ± 0,001 | 0,02085 | 0,001 | 0,01 |
| | 2880,1 ± 0,5 | 0,010 ± 0,003 | 0,02076 | 0,001 ± 0,0003 | 0,01 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| V | 2921,5 ± 0,4 | 0,015 ± 0,003 | 0,02068 | 0,002 ± 0,0004 | 0,02 |
| | 2940,0 ± 1,5 | 0,002 ± 0,001 | 0,02065 | 0,0005 ± | 0,01 |
| | 2978,9 ± 0,5 | 0,016 ± 0,002 | 0,02051 | 0,002 ± 0,0003 | 0,02 |
| | 2988,5 ± 0,9 | 0,001 ± 0,0005 | 0,0205 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3000,0 ± 0,6 | 0,009 ± 0,001 | 0,0205 | 0,001 ± 0,0001 | 0,01 |
| | 3054,3 ± 0,4 | 0,022 ± 0,001 | 0,02038 | 0,003 ± 0,0002 | 0,03 |
| | 3082,5 ± 0,7 | 0,005 ± 0,001 | 0,0203 | 0,001 ± 0,0002 | 0,01 |
| | 3143 | 0,001 ± 0,0005 | 0,02024 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3162 | 0,001 | 0,02016 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3185 | 0,0015 ± 0,0005 | 0,02012 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3195 | 0,0018 ± 0,0005 | 0,02009 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3221 | 0,001 | 0,02006 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3231 | 0,001 | 0,02004 | 0,0005 | 0,01 |
| | 3265 | - | 0,01995 | - | - |
| | 3335 | - | 0,0198 | - | - |
| | | | | 0,020 ± 0,004 | 0,20 |
| | Ukupna specifična gama konstanta | | | 8,94 ± 0,40 | 100,0 |

Ako se uporedi greška sa kojom je data naša vrednost specifične gama konstante, ± 4,5%, sa greškama drugih autora, može se zapaziti da je naša greška dva puta veća od greške Aglinceva/37/, odnosno više od pet puta veća od greške Attix-a i Ritz-a/35/. Medjutim, potrebno je odmah naglasiti da se u našem slučaju radi o maksimalnoj greški, čija verovatna vrednost sigurno nije veća od 70% maksimalne. Sa druge strane može se posumnjati u korektnost greške Attix-a i Ritz-a/35/, čija vrednost od samo ± 0,6%, je praktično teško ostvariva. Realno gledajući, sasvim je prihvatljiva greška Aglinceva/37/ od ± 2%, koja je data na osnovu detaljne analize.

Da bi smo naš podatak za specifičnu gama konstantu uporedili sa vrednošću koju je preporučila Medjunarodna komisija za radiološke jedinice /ICRU/ /41/, za standardno pakovane radijumske izvore, potrebno je da izvršimo korekciju za apsorpciju gama zračenja u 0,5 mm Pt, kao i za razliku aktivnosti od 1Ci i u 1g radijuma u ravnoteži sa produktima raspada. Prethodno je rečeno da se usled apsorpcije gama zračenja radijuma u zidu od platine, debljine 0,5 mm, specifična gama konstanta redukuje za 9,25%, dok aktivnost 1g radijuma u ravnoteži sa produktima raspada iznosi 0,9946Ci. Posle ovih korekcija naš podatak za totalnu specifičnu gama konstantu, standardno pakovanih radijumskih izvora glasi: /0,807 ± 0,036/ $Rh^{-1}g^{-1}m^2$, što je manje od vrednosti koju je preporučila ICRU, (0,825 $Rh^{-1}g^{-1}m^2$), za oko 2%.

Na osnovu našeg izračunatog podatka, kao i eksperimentalnog rezultata koji su dali Aglicev i drugi/37/, moglo bi se zaključiti da je realna vrednost specifične gama konstante radijuma manja za 1 do 2%, od veličine koju je preporučila medjunarodna komisija za radiološke jedinice /ICRU/ /41/.

Autor izražava svoju zahvalnost Dr.V.Ajdačiću, Dr.B.Laloviću i B.Petroviću za omogućavanje korišćena kvalitetna Ge/Li/-detektora; Mr. I.Slaviću i Mr.S.Krčevincu za pomoć pri mašinskoj obradi gama spektara i Z.Mininčiću i Z.Zupancu za tehničku pomoć u eksperimentalnom radu i izradu crteža.

Ninković M.M.

Specific Gamma Ray Constant and Gamma Spectrum of $^{226}Ra$ in equilibrium with its decay Products

Abstract: The photon spectrum from decay of $^{226}Ra$ in equilibrium with its decay products was measured with a Ge(Li)-counter. Using the published data on the mass-energy absorption coeficient of air, total specific gamma ray constant was calculated and obtained value of (0,894 ± 0,040) $Rh^{-1}Ci^{-1}m^2$.

*Literatura*


1. O.von Baeyer,O.Hahn, L.Meitner, Phys.ZS, 12, 1099, (1911).
2. E.Rutherford, H.Robinson, Phyl.Mag., 26, 717, (1913).
3. C.Ellis,G.Aston, Proc.Roy.Soc., A105, 165, (1924).
4. C.Ellis. G.Aston, Proc.Roy,Soc., A129, 180,(1930).
5. D.Skobelzyn, Z.Physik, 65, 773,(1930).
6. J.Itah, Y.Watase,Phys.Math. Soc.Japan, 20, 142, (1938).
7. K.Siegbahn, Arkiv f. Mat.Astr.och.Fysik, 30A, 20, (1944).
8. G.Latyshev,Revs,Mod.Phys. 19, (1947).
9. K.C.Mann, M.J.Ozeroff. Can. J.Res., 27A, 164, (1949).
10. J.Cork, C.Branyan, A.Staddard, H.Keller, J.LeBlanc, W.Childs, Phys.Rev. 83. 681, (1951).
11. D.E. Muller, A.C.Hayt, D.J.Klein, J.W.M. DuMond, Phys.Rev.88, 775, (1952).
12. M.Mladjenović, A.Hedgran, Arc.för Eys., 8, 49, (1954).
13. M.Mladjenović, H.Slätis, Arc.för Eys. 8, 65, (1954).
14. K.O.Nielson, O.B.Nielson, M.A.Waggoner, Nucl.Phys., 2, 476, (1957).
15. B.S.Dzhelepov, N.N.Zhukovski, S.A.Shestopavlova, I.F.Uchevatkin, Nucl.Phys., 8, 250, (1958).
16. B.S.Dzhelepov, S.A.Shestopavlova, I.F.Uchevatkin, Nucl. Phys., 5, 413, (1958).
17. U.Hauser, Z.Physik 150, 593 (1959).
18. C.Mayer-Baricke, Z.Naturforsch., 14a, 609, (1959).
19. G.Lührs, C.Mayer-Boricke, Z.Naturforsch, 15a, 939, (1960).
20. V.D.Vitman, B.S.Dzelepov, A.A. Karan, Izvest.Akad.Nauk SSSR, Ser.Fiz., 25, 201, (1961).
21. G.T.Ewan, A.J.Tavendale, Can.J.Phys.42,2286, (1964).
22. H.Hultzsch und G.Lührs, Z.für Physik, 190, 378, (1966).
23. H.T.Buschmann und K.H.Lauterjung, Z.für Physik, 207, 411, (1967).
24. H.Maria, Compt. Rend. 265B, 1138 (13 nov. 1967).
25. C. Ythier, H.Maria, G.Ardisson, Compt.Rend., 267B, 1109, (1968).
26. W.Louppe und G.Lührs, Z.Physik, 219, 169, (1969).
27. E.W.A. Lingeman, J.Konijn, P.Polak, A.H.Wapstra, Nucl.Phys. A133, 630, (1969).
28. S.A. Eve, Phil. Mag., (6), 27, 394, (1914).
29. V.W.Mayneord, E.J. Roberts, Brit.J.Radiol. 7, 158, (1934).
30. O.Glasser, L.Rovner, Am. J.Roentgenol. Radium Therapy, 36, 94, (1936).
31. W.Friedrich, Am.J. Roentgenol. Radium Therapy, 40, 69, (1938).
32. C.W.G. Kaye, W.Binks, Am. J.Roentgenol. Radium Therapy, 40, 80, (1938).
33. C.G.Laurence, Am. J.Roentgenol. Radium Therapy, 40, 92, (1938).
34. R.Paterson, M.H.Parker, Brit.J.Radiol. 11, 252 and 313, (1938).
35. F.H.Attix, H.V.Ritz, J.Res.Natl.Bur. Std, 59, 293, (1957).
36. C.Garrett. Can J. Phys. 36, 149, (1958).
37. K.K. Aglincev, G.P. Ostromuhova, E.A.Holnova, Izmeriteljnaja tehnika, 12, 40, (1960).

38. N.G.Gusev, V.P. Maškovič, B.V. Verbickij, Radioaktivniji izotopi kak gamma-izlučateli, Atomizdat, Moskva, (1964).
39. G.V. Goreškov, Pronikajuščije izlučenija radioaktivnih istočnikov, izd. "Nauka", Leningrad, (1967), str. 338.
40. R.S. Shalek, M. Stovall, Radiation dosimetry, Vol. III (Eds. F.H.Attix, E.Tochilin), Acad.Press, New York, (1969), p. 748.
41. M. Ninković, Disertacija, Univerzitet u Beogradu, (1971).
42. M.C. Lederer, J.M. Hollander and I.Perlman, Table of Isotopes, Sixth edition, London, J. Wiley and Sons, Inc., (1967).

VI SIMPOZIUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

NOVOSEL-RADOVIĆ VJERA
Institut za metalurgiju Sisak

# ANALIZA PRAŠINE LIVNICA X-ZRAKAMA

Opisana je jedna od brojnih mogućnosti primjene x-zraka u praksi na što brže rješavanje problema vezanih uz oboljenje poznato pod imenom silikoza. Uzorci za analizu sakupljeni su Hexhlet aparatom. Snimanje uzoraka izvršeno je metodom filma u maloj Debey Scherrer kameri $CoK_{\alpha}$ radijacijom.

Jedan od najakutnijih problema u pogledu zagadjenosti na području željezara predstavljaju Livnice, zbog pojave silikoze. Na suzbijanju silikoze, kao i na rješavanju niza problema vezanih uz nju, radi se pri svim većim željezarama u svijetu. Kod toga glavna pažnja obraćena je na identifikaciju uzročnika silikoze. Za njegovu identifikaciju upotrebljavane su standardne kemijske i mineraloške metode (1,2,3,4). Ove metode ubrzo su se pokazale kao nezadovoljavajuće, jer nisu mogle točno identificirati komponente - uzročnika silikoze u česticama prašine Livnica. Prema literaturi (5,6) kemijskim metodama dolazilo se do prevelikih pogrešaka kod analize slobodnog silicium dioksida - $SiO_2$, a mineraloškim metodama nisu se mogle pravilno odrediti vrste prisutnih silikata, slobodni $SiO_2$ i njegove modifikacije tridimit i kristobalit u česticama veličine ispod 10 mikrona, dok se zna (7) da čestice veličine 2 - 5 mikrona predstavljaju u stvari najveću opasnost za pojavu silikoze.

Da bi se izbjegli nedostaci upotrijebljenih metoda u početku kao dopuna upotrebljavanim analizama služila je metoda x-zraka (8,9,10). Usavršavanjem ove metode kao i uredjaja na kojima se ona izvodi, metoda x-zraka dobiva prvenstvo zbog

- potrebe male količine uzorka za analizu,
- ne uništavanja uzorka za vrijeme analize,

- dobivanja karakterističnog rendgenograma uzorka sastavljenog iz Debyevskih prstenova različitog intenziteta, koji odgovaraju pojedinim komponentama snimljenog uzorka.

Analiza uzoraka prašine

Za analizu su upotrijebljeni reprezentativni uzorci sakupljeni Hexhlet aparatom (11), kojeg je brzina usisa zraka u jedinici vremena jednaka količini zraka koju udiše čovjek za vrijeme normalnog rada. Uzorci sakupljeni Hexhlet aparatom sačinjavaju čestice prašine ispod 7 mikrona, odnosno samo one koje se udišu.

Sakupljanje uzoraka prašine vršeno je na svim akutnim mjestima Livnice te su se sakupljeni uzorci medjusobno razlikovali po količini i sastavu, što će kasnije pokazati rezultati analize.

Od sakupljenih uzoraka prašine za analizu upotrijebljeno je 1 - 2 mg uzorka. Svi uzorci snimani su metodom filma u maloj Phylipsovoj kameri (Ø 57,3 mm) po metodi Straumanis, na strukturnom rendgenu Philips Norelco, primjenom $CoK_{\alpha}$ zračenja.

U svrhu interpretacije snimljenih rendgenograma uzoraka odredjen je medjuplošni razmak "d" u Å metodom mjerenja i računanja medjuplošnog razmaka "d". Pomoću izračunanih "d" vrijednosti Hanawalt indeksa i ASTM kartica (12,13) odredjen je kvalitativni sastav pojedinog uzorka prašine obzirom na komponente koje ga sačinjavaju.

Od velikog broja uzoraka zbog ograničenosti prostora navodimo samo analize nekih najkarakterističnijih uzoraka, kod kojih su se pojavile razlike u analiziranim komponentama, dok rezultati ostalih poslužili su nam u donošenju općeg zaključka o sastavu prašine, a koji glasi da čestice prašine ispod 7 mikrona veličine čine uglavnom ilit, kaolinit i kvarc, dok metalno žejezo, grafit i željezni karbid su popratne komponente vrlo malih koncentracija, čija pojava u uzorku ovisi o mjestu uzimanja uzorka. Uz ovo važno je utvrditi da nije kvarc uvijek glavna komponenta koja sačinjava prašinu, već je on potisnut na drugo mjesto prisutnošću ostalih silikata kao što je kaolinit i ilit. Istina veće koncentracije kvarca primjećene su u uzorcima prašine uzimanima u blizini mjesta čišćenja odljevaka.

- Uzorak 1

Rendgenogram uzorka 1

Prisutne komponente:

1. K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-$H_2O$ Ilit
2. $SiO_2$ Kvarc
3. $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Kaolinit
4. Fe metalno u maloj koncentraciji

- Uzorak 2

Rendgenogram uzorka 2

Prisutne komponente:

1. K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-$H_2O$ Ilit
2. $SiO_2$ Kvarc
3. $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Kaolinit
4. Fe-C Željezni karbid
5. Fe metalno
6. C - grafit

- Uzorak 3

Rendgenogram uzorka 3

Prisutne komponente:

1. K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-$H_2O$ Ilit
2. $SiO_2$ Kvarc
3. $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Kaolinit

- Uzorak 4

Rendgenogram uzorka 4

Prisutne komponente:

1. $SiO_2$ Kvarc
2. K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-$H_2O$ Ilit
3. $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Kaolinit

Kako za utvrdjivanje opasnosti od silikoze nije dovoljno samo utvrditi prisustvo slobodnog $SiO_2$ već i njegovu koncentraciju (da se vidi da li ona prelazi dozvljenu dozu) u Institutu za metalurgiju Sisak (14) razradjena je metoda za kvantitativnu analizu slobodnog $SiO_2$ upotrebom x-zraka na osnovu koje je odredjena koncentracija prisutnog slobodnog $SiO_2$ u nekim sakupljenim uzorcima, tabela 1.

Tab. 1:

Kvantitativna analiza slobodnog $SiO_2$ u uzorcima prašine livnice metodom x-zraka

| Uzorak | Vrijeme uzimanja | Ukupno prašine ispod 7 mikrona, mg/m$^3$ | % $SiO_2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 7,86 | 27,55 |
| 2 | 5 | 4,01 | 21,34 |
| 3 | 5 | 8,7 | 31,7 |
| 4 | 5 | 23,42 | 55,77 |
| 5 | 5 | 11,75 | 15,10 |
| 6 | 5 | 3,12 | 43,34 |

Ovdje treba odmah napomenuti da rezultati u tabeli 1 ne mogu biti odlučujući u donošenju odluke o pojavi silikoze, jer se prilikom sakupljanja uzoraka nije obratila pažnja u potpunosti na ostale faktore (ventilacija, godišnje doba, odredjivani materijal) osim na mjesto, a koji takodjer znatno utiču na promjenu koncentracije slobodnog $SiO_2$.

Bez obzira na ovo, ipak dobivenim rezultatom rada možemo biti zadovoljni, jer dobiveni rezultati analize opravdavaju mogućnost primjene metode x-zraka i na područje analize prašine livnica, zbog svoje jednostavnosti i brzine izvodjenja.

SUMMARY

THE AIM OF THIS WAS TO INVESTIGATE THE POSSIBILITY ANALYSIS FOUNDRY DUST RESPIRABLE SIZE WITH X-RAY ANALYSIS.

LITERATURA

1. Faust G.T., United State Department of the Interior Bureau Mines, R.I. 3503, 1940.
2. Foster W.D., Schrenk H.H., United States Department of the Interior Bureau Mines, R.I. 3368, 1938.
3. Mocke C.E., J. Indust. Hyg. and Toxicol 19, 299, 1936.
4. Line W.R., Aradine P.W., Indust. and Engin. Chem. 9, 60, 1937.
5. Clark G.L., Loravger W.F., Bodwar S.J., Anal. Chem. 9, 26, 1954.
6. Higgins B.I., Dewell P., B.C.I.R.A. Journal 8, 425, 1960.
7. Hamlin L.E., Indust. Med. 19, 216, 1948.
8. Sproull W.T., X-Ray in Practice, ed. 1, New York, McGrow-Hill Book Company Inc., 1946.
9. Gross S.T., Martin D.E., Indust. and Engin. Chem., 16, 95, 1944.
10. Klug H.P., Alexander L., Kummer E., Hyg. and Toxicol, 30, 166, 1948.
11. Instruction Leaflet 3089/AC, CF Casela and Co Ltd - London

12. Berby A., X-Ray Powder Data for ore Minerals, Geological Society of America, New York, 1962.

13. Klug H.P., Alexander L., X-Ray Diffraction Procedures, John Wiley, New York, 1962.

14. Novosel-Radović Vjera, Kvantitativna analiza kvarca u industrijskoj prašini, Institut za metalurgiju, Sisak, 1968.

VI SIMPOZIUM JUGOSLAVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid, 25-28 april 1972 godine

NOVAK J.,VELKOV K., INSTITUT ZA RADIOLOGIJA I ONKOLOGIJA.
TEODOSIEVSKI G.,KALENDAROV Z.,REPUBLIČKI ZAVOD ZA ZDRAVSTVENA ZAŠTITA, SKOPJE.

# UPOREDJENJE GEOGRAFSKE RASPROSTRANJENOSTI MALIGNIH TUMORA I PRIRODNE GAMA RADIOAKTIVNOSTI U SR MAKEDONIJI.

U 30 većih naseljenih mjesta se uporedjuje prirodna radioaktivnost sa geografskom rasprostranjenošću malignoma.Iako nema signifikantnih razlika,ipak se primjećuje da u područjima sa povečanom radioaktivnošću postoji tendenca porasta malignih obolenja i do 37%. U reonima sa prosječnim vrijednostima prirodnog radioaktiviteta ili manjim, ali sa izrazito većim brojem malignoma, kao u Ohridu i Resnu, učestalost obolenja se odnosi na veći broj karcinoma kože i usana. Uzrok tome je najvjerovatnije veći broj sunčanih dana i veća izloženost ultravioletnim zracima.

Poslednjih decenija medicinska nauka ulaže velike napore da objasni uzroke i epidemiologiju malignih tumora, sa ciljem da nađe put ka efikasnijoj terapiji i profilaksi. Na pojavu malignoma utiču mnogi biološki, fizikalni i hemijski faktori. Od dosadašnjih proučavanja eksperimentalne onkologije dominiraju dvije hipoteze: jedna je virusna teorija, a druga, više empirijska, smatra, da malignomi nastaju dugotrajnim nadražajem karcinogenih materija i energija medju koje spada i ionizirajuće zračenje.

Polazeći od toga, željeli smo razmotriti da li razlike u prirodnoj radioaktivnosti pojedinih mjesta republike imaju bilo kakav odraz na broj obolelih od zloćudnih tumora.

## Način rada i materijal

U sklopu mjerenja jačine ekspozicione doze prirodne gama radioaktivnosti, koja su sprovodjena na teritoriji čitave SFR Jugoslavije, Republički zavod za zdravstvenu zaštitu u Skopju je od 1966 godine vršio mjerenja u svim općinama i većim

naseljenim mjestima u SR Makedoniji. Mjerenja su vršena sa vazdušno ekvivalentnom ionizacionom komorom,G.M.brojačem Radia-test i scintilacionim dozimetrom NE 1701, po jedinstvenoj metodologiji za čitavu SFR Jugoslaviju.

Na visinu prirodnog gama fona, pokraj emitera iz atmosfere i lokalnog zemljišta utiče i vrsta materijala od kog su sagradjeni objekti za stanovanje i rad. Zbog toga su brojna mjerenja uradjena u visini od jednog metra iznad površine zemlje, asfalta,kaldrme, kocke, betona, zelenih površina,kao i u kućama iz drveta, kamena cigle i betona. Ukupno 663 mjernih tačaka je bilo raspredjeno u čitavoj republici u kvadratima zemljišta sa stranama od po 15 km. Osim toga u toku sušnog ljetnog i jesenskog perioda 1970 godine izvršena su dodatna mjerenja prirodne gama radioaktivnosti ulica i postojećih objekata u 30 većih naseljenih mjesta u SR Makedoniji.

Što se tiče broja bolesnika, nismo se mogli služiti podacima republičkog registra za rak, jer se permanentna evidencija bolesnika vodi tek od 1969 godine. Najkompletnije podatke o kretanju malignih obolenja za poslednju deceniju ima Institut za radiologiju i onkologiju u Skopju. U vremenu od 1961 do 1970 godine u toj ustanovi je lečeno 4.021 bolesnika sa različitom lokalizacijom malignoma. Uzeti su u obzir samo oni bolesnici koji žive na teritoriji SR Makedonije. Za svaki tumor, kao n.pr. za rak dojke, rak jednjaka, želuca, debelog crijeva, kože itd. sračunat je broj obolenja na 1000 stanovnika za svako veće mjesto u SR Makedoniji.

Rezultati

Na tabeli br.1 iznešeni su samo cjelokupni, prosječni rezultati za svih 30 naseljenih mjesta u kojima su vršena mjerenja nivoa prirodnog gama fona. Prikazane su srednje vrijednosti radioaktivnosti na ulicama i cestama, iako je n.pr. na cestama sa kaldrmom radioaktivnost dvostruko veća nego na asfaltu. Isto tako su unešene prosječne vrijednosti radioaktivnosti u stambenim i radnim objektima, izražene u mikro-rentgenima na sat. Poslednja rubrika u tabeli pokazuje broj oboljenih od malignih tumora na 1000 stanovnika.

Tabela 1.

EKSPOZICIONA DOZA PRIRODNE GAMA RADIOAKTIVNOSTI NA ULICAMA I U ZGRADAMA VEĆIH NASELJENIH MJESTA U SRM IZRAŽENA U mikro-r/h, U POREDJENJU SA BROJEM OBOLJELIH OD RAKA NA 1000 STANOVNIKA

| Mesto | ulice mikro r/h | objekti mikro r/h | prosjek mikro r/h | broj maligNoma u °/oo |
|---|---|---|---|---|
| Skopje | 12,1 | 11,7 | 11,9 | 2,5 |
| Tetovo | 9,5 | 11,4 | 1o,4 | 1,8 |
| Gostivar | 7,9 | 1o,5 | 9,2 | 1,5 |
| Debar | 12,9 | 13,7 | 13,3 | 1,7 |
| Ohrid | 12,o | 13,3 | 12,6 | 3,1 |
| Struga | 11,9 | 13,4 | 12,6 | 2,o |
| Resen | 13,6 | 12,9 | 13,2 | 3,3 |
| Bitola | 15,8 | 2o,2 | 18,o | 2,9 |
| Kičevo | 14,2 | 15,2 | 14,7 | 2,3 |
| Maked.Brod | 17,8 | 15,9 | 16,8 | 2,3 |
| Prilep | 15,6 | 18,2 | 16,9 | 3,o |
| Kruševo | 15,7 | 19,9 | 17,8 | 2,9 |
| Kavadarci | 14,4 | 15,7 | 14,8 | 3,2 |
| Negotino | 14,2 | 14,8 | 14,5 | 2,6 |
| Valandovo | 1o,3 | 13,o | 11,6 | 2,o |
| Gevgelija | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 2,7 |
| Strumica | 12,3 | 13,5 | 12,9 | 2,1 |
| Radoviš | 14,6 | 14,7 | 14,6 | 1,3 |
| Štip | 1o,6 | 12,o | 11,3 | 2,9 |
| Sv.Nikole | 8,1 | 1o,o | 9,o | 2,5 |
| Kočani | 12,4 | 14,5 | 13,4 | 2,4 |
| Vinica | 12,9 | 14,4 | 13,6 | 1,1 |
| Delčevo | 1o,7 | 1o,8 | 1o,7 | 2,1 |
| Pehčevo | 9,9 | 9,6 | 9,7 | - |
| Berovo | 9,7 | 7,6 | 8,6 | 2,4 |
| Probištip | 19,2 | 26,1 | 22,6 | 2,9 |
| Kratovo | 17,2 | 19,6 | 18,4 | 3,o |
| Kr.Palanka | 12,o | 12,5 | 12,2 | 2,3 |
| Kumanovo | 12,o | 12,5 | 12,2 | 2,3 |
| Titov Veles | 11,6 | 12,2 | 11,9 | 3,o |
| Prosjek | 12,6 | 13,9 | 13,2 | 2,4 |

Komárno
Ex. Poľnohos.
Sereď
Galanta
Šaľa
Nitra
Zlaté Moravce
Topoľčany
Levice
Šurany
Nové Zámky
Vráble
Šahy
Rimavská Sobota
Revúca
Lučenec
Veľký Krtíš
Rožňava
Košice
Trebišov
Sobrance
Michalovce
Spišská Nová Ves
Poprad
Prešov
Bardejov
Humenné
Stropkov
Svidník
Medzilaborce
Vranov
Gelnica
Rimavská Sobota
Revúca
Lučenec
Veľký Krtíš
Rožňava
Košice
Trebišov
Sobrance
Michalovce
Spišská Nová Ves
Poprad
Prešov
Bardejov
Humenné
Stropkov
Svidník
Medzilaborce
Vranov
Gelnica

Prosječne vrijednosti govore da je najvjerovatnija jačina ekspozicione doze koju prima stanovništvo od prirodne gama radioaktivnosti 13,2 mikro rentgena na sat. Ta ekspoziciona doza je gotovo jednaka dozi sračunatoj za čitavo stanovništvo SFRJ od 12,95 mikro r/h ili 113,5 mili rentgena godišnje.

Izmjerene vrijednosti u Bitola, Probištipu, Kratovu, Kruševu, Prilepu i Makedonskom Brodu su izrazito veće od prosječnih. Ta mjesta spadaju u onih 11,5 % naseljenja Jugoslavije za koje je karakteristična povečana ekspoziciona doza od 17 - 35 mikro r/h.

Uporedjujući radioaktivni gama fon u spomenutih 3o naseljenih mjesta sa geografskom rasprostranjenošču oboljenih od malignoma, uočljivo je da je u većini općina, u kojima je prirodni radioaktivni fon povećan, i broj ljudi sa malignim oboljenjima veći. Ako se analiziraju podaci navedeni u tabeli i geografskoj karti, pada u oči da je od šest mjesta sa povečanom prirodnom radioaktivnošču od 2o - 3o %, u približno istom procentu povećan i broj malignih obolenja u pet mjesta:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bitola. | Prir.radioakt. | 18 | mikro r/h | oboljelih | ima | 2,9 °/oo |
| Probištip | " " | 22,6 | " | " | " | 2,9 °/oo |
| Kratovo | " " | 18,4 | " | " | "b | 3,o °/oo |
| Kruševo | " " | 17,8 | " | " | " | 2,9 °/oo |
| Prilep | " " | 17, | " | " | " | 3,o °/oo |

Samo u jednom mjestu sa povišenim nivoom prirodnog gama fona, u Makedonskom Brodu, broj malignoma se je kretao u okviru prosječnih vrijednosti. U gornju grupu mjesta bi se moglo ubrojiti i Kavadarce, sa nešto povišenim gama fonom od 14,8 mikro r/h, a izrazito povišenim brojem malignoma od 3,2 pro mile. Za čitavu Makedoniju sračunali smo prosječnu učestalost malignih obolenja sa 2,4 na svakih looo stanovnika.

Sa tim podacima se slažu i rezultati dobiveni u nekim općinama sa smanjenom prirodnom gama radioaktivnošču, gdje je i broj malignoma manji kao n.pr :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gostivar | prir.radioakt. | 9,2 | mikro r/h | broj oboljelih | | 1,5 °/00 |
| Tetovo | " " | 1o,4 | " | " | " | 1,8 °/oo |

Medjutim, postoje i regioni sa smanjenom ili prosječnom prirodnom radioaktivnošću, a u kojima je broj malignih oboljenja veći i od onih mjesta u kojima je radioaktivnost veća od prosjeka. To su tri mjesta: Ohrid, sa priodnim gama fonom od 12,6 mikro r/h, a sa učestalošću malignoma 3,1 °/oo, Resen sa 13,2 mikro r/h i 3,3 °/oo obolenja i T.Veles sa 11,9 mikro r/h i 3,o °/oo oboljelih.

Povišeni broj oboljelih u Ohridu i Resnu se odnosi na učestale slučajeve karcinoma kože i usana. U analiziranju uzroka nadje se da Ohrid i Resen, kome pripada i Prespanski bazen, imaju veći broj sunčanih dana od ostalih mjesta. Tako n.pr. u Štipu je, za poslednjih lo godina bilo prosječno 72 sunčanih dana, u Skopju 74, a u Ohridu 89 ! Osim toga u Ohridu i Prespi je snop ultravioletnih zraka snažniji i zbog refleksije sunčanih zraka od jezerskih voda.

Sva druga mjesta pokazuju prosječne vrijednosti.

Zaključak

Razlike u nivou prirodnog gama fona u pojedinim mjestima SR Makedonije variraju u rasponu od 8,6 mikro r/h do 22,6 mikro r/h, sa prosječnom vrijednosti od 13,2 mikro r/h.

Uočljivo je da maligna obolenja ne pokazuju ekstremne vrijednosti u pojedinim mjestima, ali da odstupaju od prosjeka i do 45 %. Njihova učestalost se kreće od 1,1 do 3,3 pro mile, sa prosječnom vrijednošću 2,4 oboljelih na looo stanovnika,

Iako nema signifikantnih razlika, ipak se primjećuje da u područjima sa povećanom radioaktivnosti postoji tendencija porasta malignih obolenja. Od šest općina sa povećanom prirodnom gama radioaktivnosti u pet od njih je broj malignoma veći od prosječnih do 25 %.

U reonima sa prosječnim vrijednostima prirodnog radioaktiviteta ili manjim, ali sa izrazito većim brojem malignoma, kao u Ohridu i Resnu, učestalost obolenja se odnosi na veći broj karcinoma kože i usana. Uzrok tome je najverovatnije veći broj sunčanih dana i veća izloženost ultravioletnim zrakama.

Literatura

1. Djuričić I.: Medicina rada. Medicinska knjiga ,Bgd-Zgb,1966.

2. Sterle M.:Konfiguracija terena i dozimetrija prirodne gama radioaktivnosti. III.Jug.simpozij o radiol.zaštiti. Banja Luka 1967.

3. Radovanović R.,Hajduković D.: Jačina ekspozicione doze prir. gama zračenja na teritoriji SR Srbije. Zbornik radova IV Jug. sipozija o radiol. zaštiti. Baške Vode 1969.

4. Radovanović R.,Sterle M.:Izloženost stanovništva SFRJ prirodnom gama zračenju. IMRRZ -07-3723 juni 1970.

5. Niggli H F.: Strahlenwirkung und Millieu. Urban u. Schwarzenberg, München, 1962

6. Swedjemark G.A.: Strahlenbiologie. Handbuch der medizinischen Radiologie. Band II/1 Springer, Berlin 1966.

7. Žarković G.: Preventivna medicina. Ves.Masleša,Sarajevo,1959.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Patić D., Smiljanić R.
Institut za nuklearne nauke "Borís Kidrič" - Vinča

# ELIMINACIJA PERIODIČNE KOMPONENTE PRI ANALIZI REZULTATA MERENJA KONCENTRACIJA RADIOAKTIVNIH AEROSOLA

## REZIME

Analizirana je zavisnost koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola od temperaturskog gradijenta kao parametra termičke stabilnosti vazduha. Formirani su vremenski redovi na način koji omogućava eliminaciju dvadesetčetvoročasovne periodične komponente, kako bi se povećala pouzdanost izračunatih koeficijenata korelacije. Zadovoljavajući rezultati dobijeni su za period kada postoji temperaturska inverzija u ptizemnom sloju vazduha (##m-4m).

## UVOD

U procesu rasprostiranja radioaktivnih aerosola bitnu ulogu imaju turbulentne osobine atmosfere. I ako turbulentna kretanja u atmosferi spadaju u red haotičnih kretanja, uslovljenih brojnim faktorima koji imaju mnoge osobine slučajnosti u sebi , ona ipak pokazuju osobine izvesne statističke uredjenosti. Ove osobine nametnule su potrebu stvaranja poluempirijske statističke teorije turbulentnosti, u kojoj posebno mesto ima metod traženja statističkih karakteristika procesa koji smo i mi koristili pri obradi eksperimentalnih podataka. Promene koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola u toku vremena rasmatrane su kao slučajni procesi koji na složen način zavise od meteoroloških uslova.

Pri prvom pokušaju ovakve obrade rezultata korišćene su tročasovne klizeće srednje vrednosti globalne beta aktivnosti prirodno radioaktivnih aerosola i meteoroloških parametara[1].

Dobijene korelacione funkcije veze nedvosmisleno ukazuju na postojanje dvadesetčetvoročasovne periodične komponente u ovako formiranim vremenskim redovima. Kako prisustvo periodične komponente u izvesnoj meri maskira zakonitosti slučajne funkcije potrebno je izvršiti eliminaciju ove komponente.

## ANALIZA REZULTATA

Za analizu rezultata korišćene su eksperimentalne vrednosti dobijene za period od 1.maja do 30.juna 1969. godine sa punkta lociranog u Vinči. Ispitivana je zavisnost koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola od temperaturskog gradijenta+. Da bi se eliminisala periodična komponenta pri formiranju vremenskih redova vrednosti slučajno promenljive uzimane su uvek na istom delu periode ciklusa. Ova periodična komponenta mogla je biti odstranjena i formiranjem vremenskog reda od vrednosti usrednjenih za dvadeset četiri časa, medjutim ovakvim usrednjavanjem izvestan broj informacija bio bi izgubljen , a to smo želeli da izbegnemo.(2).

Rezultati naših ranijih analiza pokazali su da izmedju temperaturskog gradijenta i koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola postoji korelacija sa pomeranjem u fazi za četiri sata(1). Zbog toga je pri formiranju vremenskih redova izvršeno pomeranje gradijenta temperature za ovaj vremenski interval.

Da bi se dobile informacije o uticaju promenljivih uslova stabilnosti prizemnog sloja na koncentracije radioaktivnih aerosola u toku dvadeset četiri časa, nije unapred izabran neki odredjeni sat za analizu, već je formirano ukupno dvanaest vremenskih redova od vrednosti za odredjeni sat svakog dana u izabranom šestomesečnom periodu usrednjavanja.

U tabeli br.1 prikazane su srednje šestomesečne vrednosti koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola, gradijenta temperature i učestanosti inverzija za svaki analizirani sat. Na osnovu vrednosti iznetih u tabeli može se izvršiti podela posmatranih vremenskih redova na redove koji opisuju procese u inverznom, prelaznom i konvektivnom periodu.

+Temperaturski gradijent meren je za sloj debljine 40m(44m-4m).

Primena korelacione teorije slučajnih procesa prvenstveno je zahtevala proveru stacionarnosti formiranih vremenskih redova. Testiranjem metodom trenda dobili smo da su vremenski redovi za koncentracije i temperaturske gradijente u inverznom periodu stacionarni[3]. Već i sama učestanost inverzija za ovaj period (95%) ukazuje na dobre uslove termičke stabilnosti ispitivanog sloja vazduha, što svakako uslovljava stacionarnost.

Tabela br.1

| Koncentracije prirodno radioaktivnih aerosola+ | | Temperaturski gradijent++ | | |
|---|---|---|---|---|
| Analizirani sat | Srednja vrednost | Analizirani sat | Srednja vrednost | Učestanost inverzije |
| 1 | 337 | 21 | 1,3 | 96% |
| 3 | 371 | 23 | 1,3 | 97% |
| 5 | 391 | 1 | 1,4 | 98% |
| 7 | 376 | 3 | 1,3 | 96% |
| 9 | 255 | 5 | 1,2 | 96% |
| 11 | 180 | 7 | 0,4 | 71% |
| 13 | 127 | 9 | -0,5 | 20% |
| 15 | 101 | 11 | -0,9 | 8% |
| 17 | 111 | 13 | -1,0 | 4% |
| 19 | 156 | 15 | -1,0 | 7% |
| 21 | 226 | 17 | 0,3 | 27% |
| 23 | 303 | 19 | 0,7 | 88% |

U uslovima veoma slabe inverzije vremenski redovi gradijenta temperature nemaju osobine stacionarnosti. To je, ustvari, prelazni period iz inverznog u konvektivni period i obratno, kada dolazi do narušavanja prethodno ostvarenih termičkih uslova.

Provera stacionarnosti u konvektivnim uslovima ukazuje na nestacionarnost promene temperature sa visinom i koncentracija.

Radi karakterisanja procesa u raznim uslovima stabilnosti analizirane su autokorelacione funkcije - $B(\tau)$ i korelacione

+Koncentracije prirodno radioaktivnih aerosola izražene su u relativnim jedinicama

++Temperaturski gradijent izražen je u $^{o}C/40m$

funkcije veze - $B_A(\tau)$. Ove funkcije definisane su izrazima:

$$B(\tau) = \overline{[x(t)-\bar{x}][x(t+\tau)-\bar{x}]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$B_{\gamma A}(\tau) = \overline{[\gamma(t)-\bar{\gamma}][A(t+\tau)-\bar{A}]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

gde x(t) u jednačini (1) predstavlja analiziranu vremensku funkciju.

U inverznom periodu tok autokorelacionih funkcija ukazuje na nepostojanje periodične komponente u analiziranim vremenskim redovima / sl.1 (a,b,c,d) i sl.2 (c)/. Neravnomeran tok ovih funkcija za veće vrednosti posledica je relativno malog obima skupa, usled čega se slučajna odstupanja od toka funkcije ne mogu da izglade. Vrednosti autokorelacionih funkcija za $\tau = 1$ ukazuju na umerenu unutrašnju koreliranost uzastopnih članova posmatranih vremenskih redova / $0,30 < r(1) < 0,50$ / što znači da je stepen zavisnosti koncentracije beta radioaktivnih aerosola od temperaturskog gradijenta, nešto manji nego što to pokazuju izračunati koeficijenti korelacije.

Vrednosti koeficijenata uzajamne korelacije za $\tau = 0$ ukazuju na značajnu koreliranost skupova prikazanih na sl.1 (b,c,d) i umerenu koreliranost skupova koji su prikazani na sl.1 (a).

U prelaznom periodu korelacione funkcije veze imaju izrazito nepravilan tok /sl.2(f,h)/, što ukazuje na narušavanje veze izmedju koncentracija i gradijenta temperature.

Karakteristične su autokorelacione funkcije i korelacione funkcije veze u konvektivnom periodu. Autokorelacione funkcije potvrdjuju nestacionarnost vremenskih redova vezanih za ovaj period. Tok funkcije uzajamne korelacije /sl.2(g)/ ukazuje na nepostojanje veze izmedju gradijenta temperature i koncentracije.

## ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se preciznije odrede koeficijenti korelacije izmedju faktora stabilnosti prizemnog sloja i koncentracije aerosola, eliminacijom dvadesetčetvoročasovne periodične komponente. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je primenjeni postupak dao zadovoljavajuće rezultate u periodu inverzije. U prelaznom periodu i u periodu konvekcije nestacionarnost dobijenih vremenskih redova onemogućila je nalaženje potrebnih karakteristika. Smatramo da bi za ove periode bilo po-

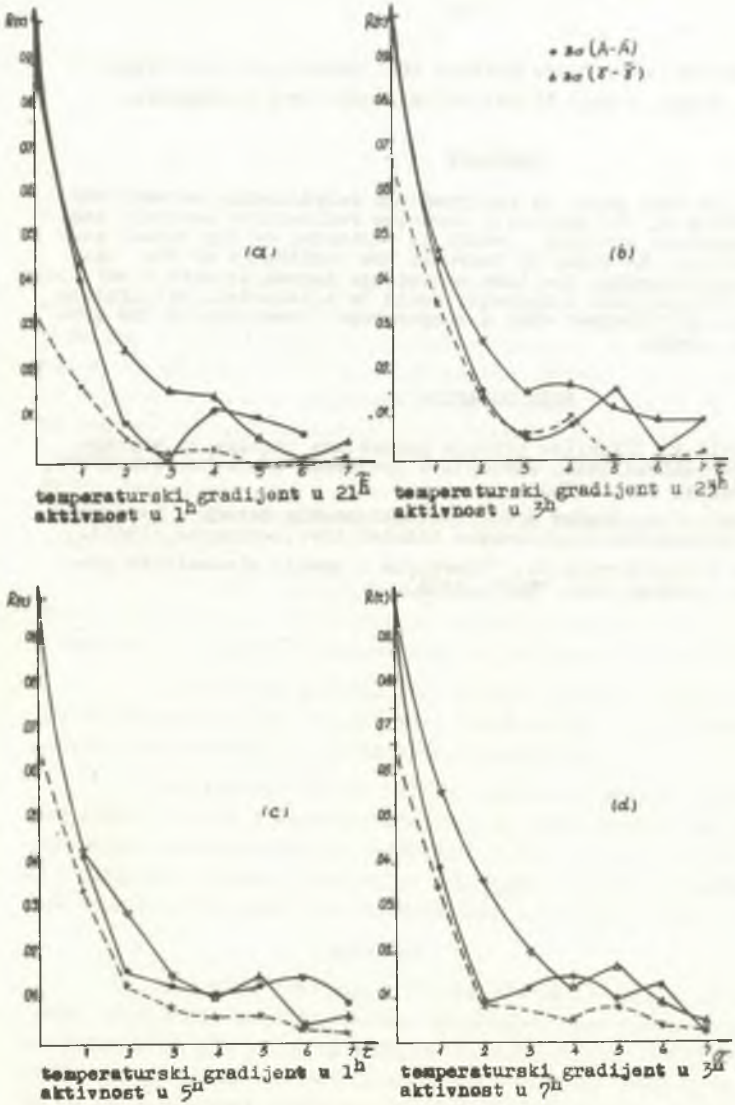
trebno ispitati neke druge faktore koji karakterišu stabilnost prizemnog sloja, a koji bi uključivali veći broj parametara.


## ABSTRACT

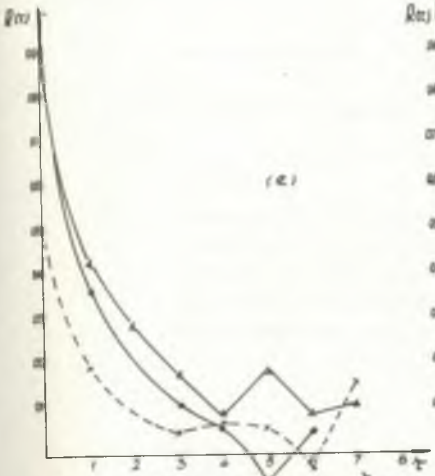
In this paper is analysed the relationship between the concentration of the naturally occuring radioactive aerosols and the themperature gradient , which is parameter of the termal stability of air. In order to increase the confidence of the calculated coefficients, the time series are formed in such a way that the 24h periodic components could be eliminated. Satisfactory results are obtained when a temperature inversion in the ground layer exists.


## BIBLIOGRAFIJA

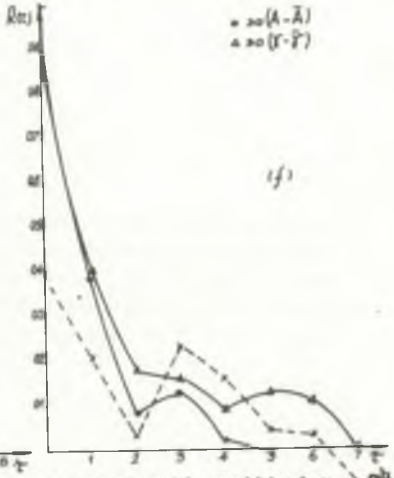

1. Smiljanić R., "Analize uticaja parametara okoline na koncentracije radioaktivnih aerosola u prizemnim slojevima atmosfere, magistarski rad,(1972).
2. Panovskii G.A.,Braier G.V.,"Statisticheskie metody v meteorologii,Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo,Leningrad,(1967).
3. Bendat J.S.,PiersolA.G., "Izmerenie i analiz sluchainykh processov, Izdatel'stvo "Mir",(1971).



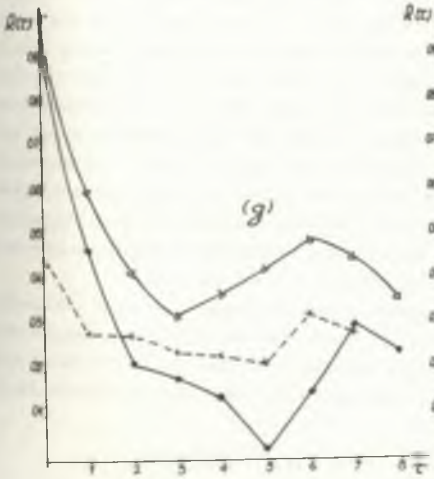

Sl.1. Autokorelacione funkcije za (A-$\bar{A}$) i (T-$\bar{T}$) /puna linija/; korelacione funkcije veze /isprekidana linija/



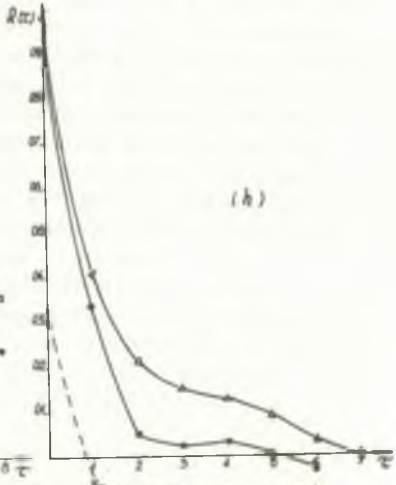

temperaturski gradijent u $5^h$
aktivnost u $9^h$




temperaturski gradijent u $7^h$
aktivnost u $11^h$




temperaturski gradijent u $13^h$
aktivnost u $17^h$




temperaturski gradijent u $19^h$
aktivnost u $23^h$

Sl.2. Autokorelacione funkcije za $(A-\bar{A})$ i $(T-\bar{T})$ /pune linije/; korelacione funkcije veze /isprekidane linije/

# RADIOEKOLOGIJA $K^{40}$ U DUNAVU

Radosavljević R, Tasovac T, Zarić

ABSTRAKT

Ponašanje $K^{40}$ u reci posmatrano je sa stanovišta biogeohemijskih migracionih procesa. Izučavani su prostorna i vremenska distribucija, promene nivoa pod uticajem voda različitog elektrolitskog sastava, apsorpciono-desorpcione karakteristike materijala dna, odnos $Cs^{137}$ i $K^{40}$ i dr.

## UVOD

O $K^{40}$ kao radioekološkom faktoru se relativno malo zna/1/. Posebno nedostaju podaci o njegovom ponašanju u akvatičnom ekosistemu i to sa stanovišta migracionih procesa. Za kvalitativnu i kvantitativnu procenu tih procesa neophodno je poznavati brojne parametre, posebno biogeohemijske, od kojih su geološka osnova tla sa geografskim, geomorfološkim, klimatskim, hidrološkim i biocenološkim karakteristikama, osnovni elementi za definisanje polja biogeohemijskih migracionih procesa, recirkulaciju hidrosfere i intenziteta migracije kao faktora čovekovih aktivnosti. Vremenska i prostorna distribucija migranta dalji su značajan parametar procesa. Medju elementima funkcionalnih kategorija procesa migracije posebno mesto dobijaju hemijska individualnost datog migranta, vodni režim sistema, biološki lanac migracije, sorpciono-desorpcioni mehanizmi transfera migranta u profilu posmatranog sistema, mehaničko premošenje vodnom strujom u vodotoku i dr./2/.

U slučaju $K^{40}$ u Dunavu izučavani su njegova prostorna i vremenska distribucija, neki elementi funkcionalnih kategorija zavisno od strukturnih, kao što su promene nivoa $K^{40}$ u reci pod uticajem voda različitog elektrolitskog sastava uključujući i padavine, zatim desorpciono-apsorpcione karakteristike materijala dna, odnos $Cs^{137}$ i $K^{40}$, i dr.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati višegodišnjih istraživanja ponašanja $K^{40}$ u padavinama, dunavskoj vodi i pojedinim delovima akvatičnog ekosistema dati su u u tablicama 1-3, i dijagramima 1-7. Prikazani rezultati dobiveni su primenom

gama-spektrometrijske, plamenospektrofotometrijske i hemijske analize. Detalji o uzimanju, pripremanju i obradi uzoraka za analizu publikovani su ranije/3-6/.

Tablica 1 daje pregled promena deponovane količine $K^{40}$ padavinama na teritoriji Instituta Boris Kidrič u Vinči u periodu 1964-1967.g., a dijagram 1 odnos specifične aktivnosti $K^{40}$ i visine padavina.

T A B L I C A 1

Pregled promena sadržaja $K^{40}$ u padavinama za period 1964-1967.g.

pCi/ $m^2$

| Godina | min | max | srednja |
|---|---|---|---|
| 1964 | 11 | 197 | 72 |
| 1965 | 5 | 162 | 66 |
| 1966 | 21 | 291 | 94 |
| 1967 | 17 | 277 | 1o6 |

Iz rezultata prikazanih u tablici 1 i dijagramu 1, vidi se da deponovane količine $K^{40}$ variraju u širokim granicama. Odnose specifične aktivnosti $K^{40}$ i visine padavina karakteriše hiperbolična relacija. Izrazita hiperbolična zavisnost i utvrdjeni "prolećni efekat" za $K^{40}$ u padavinama mogu da indiciraju da deponovani $K^{40}$ potiče iz stratosfere. Ovo nije u skladu sa podacima u literaturi, jer se njegovo poreklo objašnjava najčešće uticajem podloge i nekim čovekovim aktivnostima/7,8/. Izmedju deponovane količine i sadržaja $K^{40}$ u Dunavu nepostoji korelacija. Jasnija slika o genezi $K^{40}$ u Dunavu može se dobiti preko hidrogeohemijskog parametra, tj. poredjenjem odnosa Na i K /srednjih godišnjih/ u Dunavu, Savi i nekim podzemnim vodama /potok Mlaka sa izvorištem u ispitivanom regionu/ sa srednim godišnjim protocima, odnosno vodostajima / tablica 2/ i na osnovu krivih distribucije $K^{40}$ u vodi / dijagrami 2-4 /.

Na dijagramu 2 su date empirijske krive kumulativnih verovatnoća pojavljivanja pojedinih nivoa $K^{40}$ u dunavskoj vodi za period 1966 -1969.g /na bazi svakodnevnih osmatranja/, koji slede log-normalni zakon distribucije, a na dijagramu 3 i 4 medjusobne odnose $K^{40}$ u Dunavu i Savi i sešici Boleši čiji koeficijenti korelacije se kreću od o,98 do o,94.

T A B L I C A 2

Odnosi Na i K u Dunavu, Savi i potoku Mlaka

/srednje godišnje vrednosti/

Na/K

| Reka | Godina | 1966 | 1967 | 1968 |
|---|---|---|---|---|
| DUNAV | $m^3$/sec | 6380 | 5961 | 4976 |
| | Na/K | 1,74 | 2,00 | 2.38 |
| SAVA | H/cm/ | 302 | 234 | 180 |
| | Na/K | 1.80 | 2.01 | 2.56 |
| Potok MLAKA | $m^3$/sec | - | - | - |
| | Na/K | 3,95 | 3.90 | - |

T A B L I C A 3

Odnos $K^{40}$ u Dunavu i Savi, i Dunavu i Boleđici

| Godina | Odnosi | |
|---|---|---|
| | $\frac{K_D^{40}}{K_S^{40}}$ | $\frac{K_D^{40}}{K_B^{40}}$ |
| 1966 | 1,37 | 0,85 |
| 1967 | 1,3 7 | 0,77 |
| 1968 | 1,31 | 0,70 |

Konstantnost odnosa $K^{40}$ u Dunavu i Savi u periodu 1966-1968.g /tablica 3/ i karakter krivih datih na dijagramu 2, ukazuju da procesi migracije $K^{40}$ imaju zakonit tok i da je hidrološki režim u celini jedan od bitnih faktora u tome.

Studije desorpcije $K^{40}$ materijala dna/9/ i ispitivanje ponašanja drugih radionuklida u sistemu: voda-suspendovani nanos- materijal dna-živi svet- $K^{40}$ u Dunavu pokazali su da su kategorije funkcionalnih zavisnosti

s obzirom na hemijske karakteristike migranta i dr.,značajne/ lo /.Ovo se takodje može videti i iz rezultata datih na dijagramima 5 i 6./ Dijagram 5 predstavlja odnos $K^{40}$ i $Cs^{137}$ u dunavskoj vodi u periodu 1961-1967.g,srednje polugodišnje i tromesečne vrednosti,a dijagram 6 isti odnos u materijalu dna/.

Posmatrani odnosi predstavljaju čvrstu osnovu za razumevanje pojedinih mehanizama u radioekološkom ciklusu,proširuju osnovu za kompleksno modeliranje procesa u reci i predstavljaju bazu za definisanje nivoa aproksimacija kod razmatranja tokova ekoloških promena u sistemu.

Uticaj $K^{40}$ na nivoe ukupne beta radioaktivnosti u reci prikazan je na dijagramu 7.Beta radioaktivnost $K^{40}$ u ukupnoj beta radioaktivnosti dunavske vode učestvuje sa lo - 9o %. Intenziteti pojavljivanja pojedinih nivoa $K^{40}$ /dijagram 2/ takodje su kategorije u čijoj osnovi leži zakonit proces,pa merenje beta radioaktivnosti kao ekološkog faktora značajno za praćenje promena nekih globalnih procesa na osnovu kojih se može suditi o narušavanju ravnoteže u sistemu/11/,ponašanju pojedinih komponenti u reci, stepenu zagadjenja i dr.

## Z A K L J U Č A K

Kompleksna istraživanja $K^{40}$ u Dunavu ukazuju da je dinamika njegovih promena bitno vezana za hidrološki režim sistema u celini.U pogledu porekla može se reći da je njegovo prisustvo uslovljeno čitavim ekološkim ciklusom pri čemu je biogeohemijska osnova značajan parametar reonizacije sistema u smislu definisanja intenziteta i polja migracije.Prisustvo funkcionalnih zavisnosti,konstantnost odnosa $K^{40}$ u ispitivanom sistemu i utvrdjeni opsezi promena čine vrlo dobru osnovu za modeliranje ekološkog i radioekološkog procesa u ciklusu promena koje treba očekivati zbog regulacije čitavog sliva reke,povećanog zagadjivanja i dr.,pri čemu se odredjeni koeficijenti migracije mogu uzeti kao konstantne vrednosti.

## L I T E R A T U R A


1.- Grodzinskii,D.M.,Estestvenaya radioaktivnost' rastenii i pošv, Kiev 1965

2.- Anohin,V.L., Metody radioekologičesskih issledovanii,Atomizdat,Moskva 1971

3.- Radosavljević,R. i dr.,Kretanje radioaktivnosti,koja potiče od $K^{40}$,u padavinama i vodama na teritoriji Vinče,Tehnika 6,1965,str.1o53

4.- Tasovac T. und Radosavljević R.,Die $K^{40}$ Radioaktivitat des Donauwassers im Gebiet von Vinča,SIL,XII.Arbeitstagung Donauforschung 22 September- 2 Octobar 1969,Beograd

5.- Petrović G.,et. al., A Contribution to the Hydrochemical investigation of the Danube at Vinča,km 1144,near Beograd, Arch. Hydrobiol./Suppl.XXXVI,Donauforschung IV,71-84,1969

6.- Tasovac T.,and Radosavljević R.,Uptake of Fallout Radioactivity by Plants... Symposium de Radioecologie,Cadarache,Sept 1969,Vol. II, pp. 983-999

7.- Junge C.E.,Air Chemistry and Radioactivity,Accademic Press,London 1963

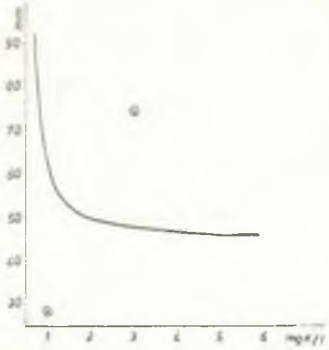
8.- Peroov L.A.,Prirodnaya Radioactivnost' Biosfery,Atomizdat,Moskva 1964

9.- Nanna N.A., Capture $Co^{60}$ on the Bed Material of the Danube River,IBK-1012, April 1971

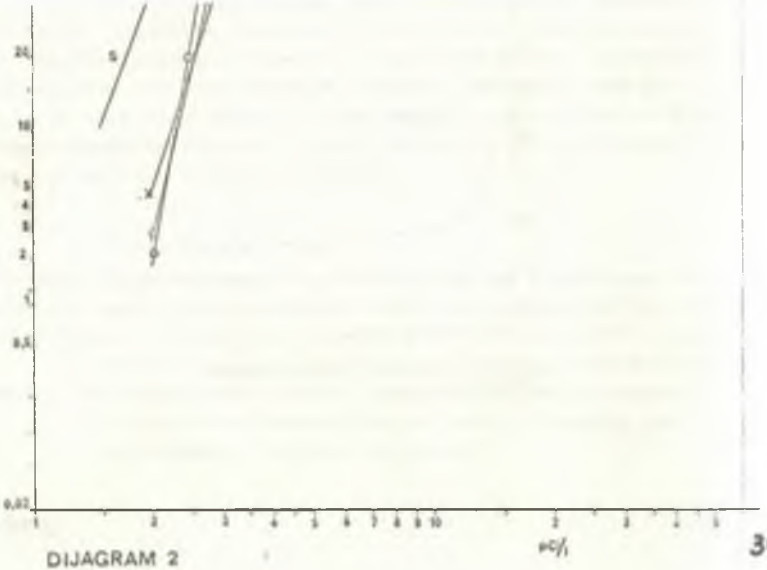
10.- Radosavljević R.,and Tasovac T.,Capture of $Co^{60}$ by suspended particles in the Danube,Actes du Symposium International de Radioecologie,Cadarache 8-12 Sept. 1969,Vol. I,pp.83

11.- Tasovac T und Radosavljević R.,Die Verteilung der Gesamt-Beta-Radioaktivität auf die Flüsige Phase und die suspendierten Teilchen im Donauwasser,Arch.Hydrobiologie/Supp.XXXVI / Donauforschung IV/,92-97,1969

Saradnicima V.Vujović.M.Kovačeviću i D.Djordjeviću najsrdačnije se zahvaljujemo za svesrdno zalaganje tokom ispitivanja i pripreme rezultata za objavljivanje.

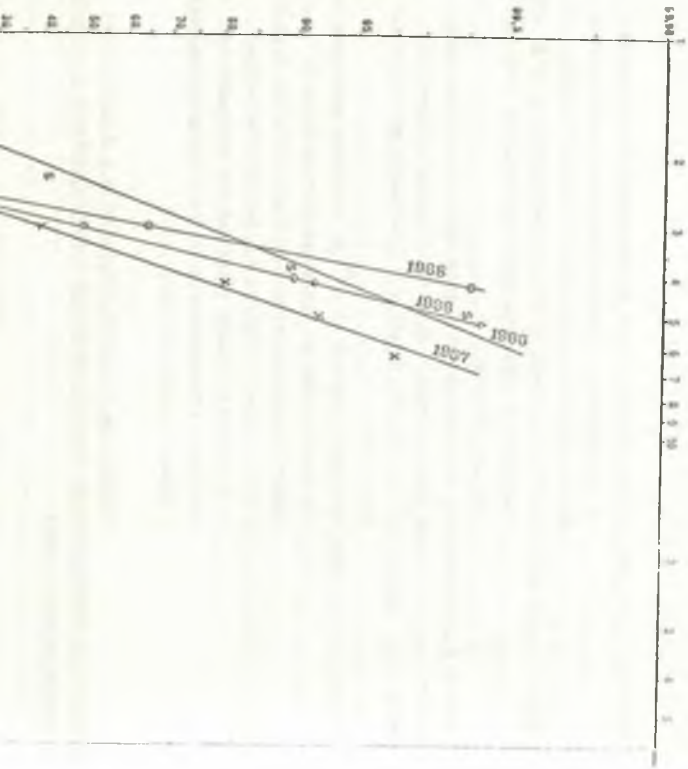


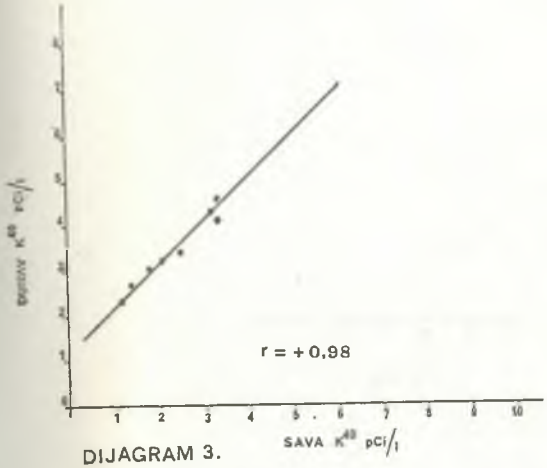
*Dijagram 1 — Relacija između specifične koncentracije i visine padavina*



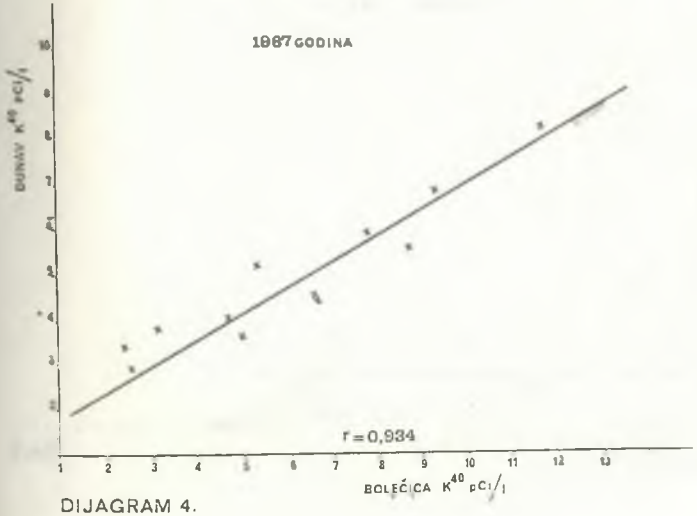
DIJAGRAM 2

KUMULATIVE WAHRSCHEINLICHKEIT





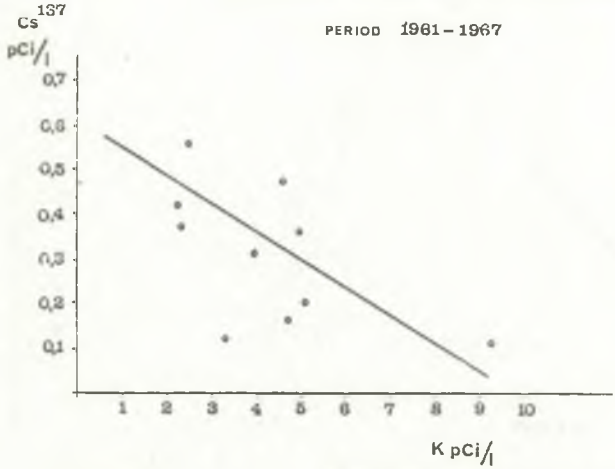

DIJAGRAM 3.




DIJAGRAM 4.

ODNOS $K^{40}$ : $Cs^{137}$ U DUNAVSKOJ VODI

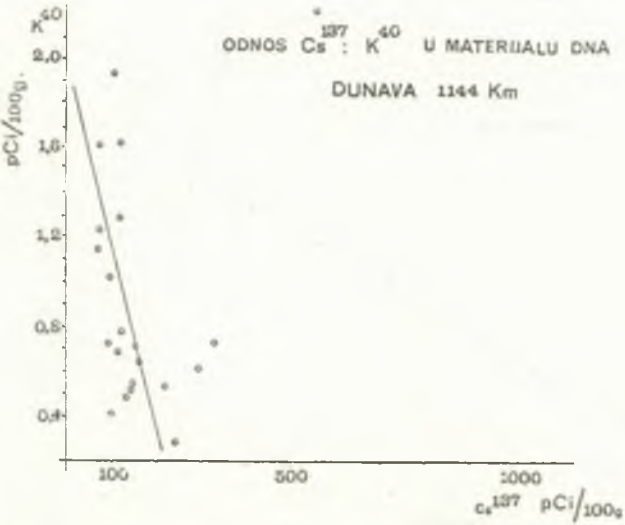
PERIOD 1961 – 1967




DIJAGRAM 5.

ODNOS $Cs^{137}$ : $K^{40}$ U MATERIJALU DNA

DUNAVA 1144 Km




DIJAGRAM 6.

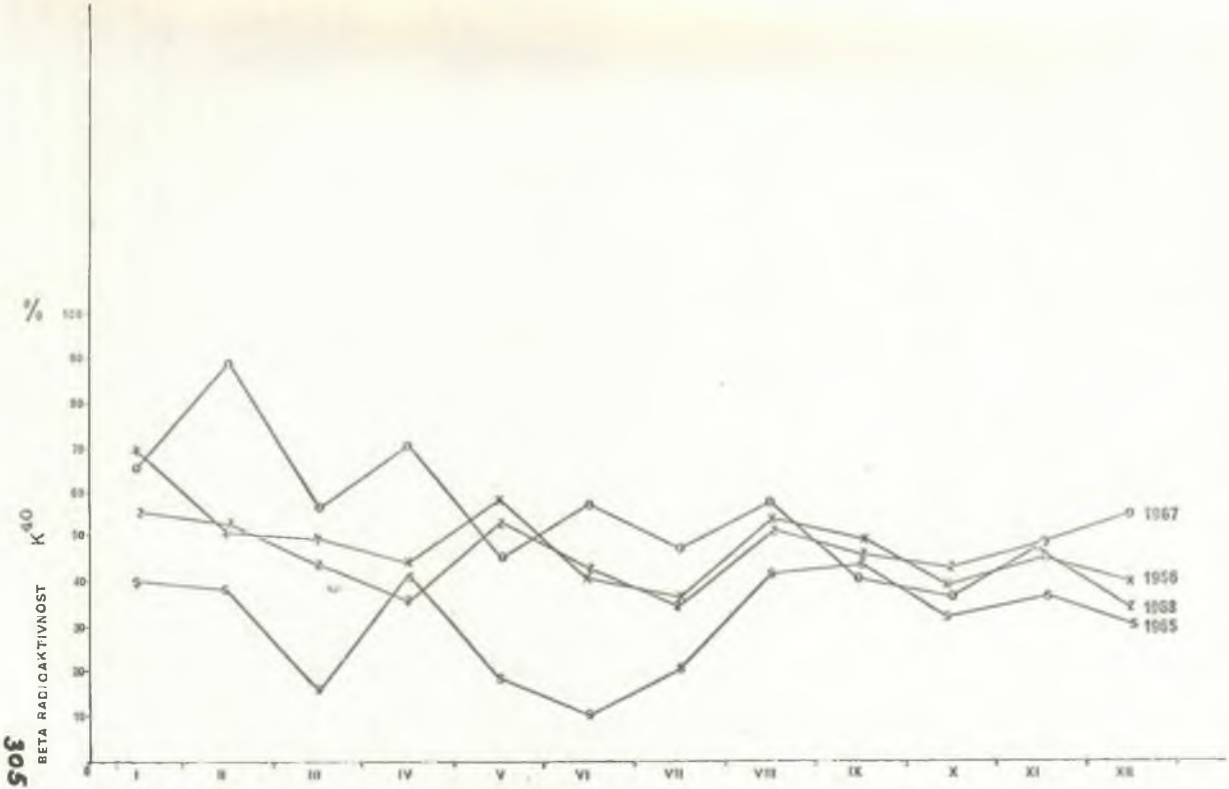

%
BETA RADIOAKTIVNOST $K^{40}$
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
1967
1966
1968
1965

DIAGRAM 7.

VI simpozij Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

A.Sliepčević, D.Srdoč
Institut "Rudjer Bošković", 41001 Zagreb, POB 1016

# MJERENJE KONCENTRACIJE TRICIJA U POVRŠINSKIM VODAMA

Opisan je uređaj za mjerenje koncentracije tricija u uzorcima vode. Mjerenje se osniva na detekciji raspada tricijevih atoma pomoću proporcionalnog brojača. Uzorak vode reducira se do elementarnog vodika pomoću Mg strugotina, zatim se s inaktivnim $CO_2$ sintetizira metan koji se koristi u proporcionalnom brojaču. Brojač volumena 1,13 l može se napuniti do 5 atm pretlaka. Smanjenje osnovnog zračenja postiže se s antikoincidentnim zaštitnim brojačem i oklopom od oko 3 tone olova. Izmjereni su uzorci tzv. "mrtve vode" koja ne sadrži tricij, a uređaj je namijenjen za rutinsko mjerenje zagađenosti oborinskih i površinskih voda.

Proučavanje tricija u prirodi možemo podijeliti u dvije epohe: epohu prije termonuklearnih eksplozija, tj. epohu kozmičkog tricija i epohu sintetskog tricija, tj. poslije termonuklearnih eksplozija /nakon 1954.god./. Uzorci sakupljeni prije 1954. god. sadrže prirodni tricij, a od 1954. godine prirodni je tricij potpuno maskiran sintetskim.

Tricij je radioaktivni izotop vodika mase 3, poluživota 12,26 godina, srednjeg života 18 godina, koji se raspada uz emisiju beta čestica maksimalne energije 18 KeV-a odnosno srednje energije 5,69 KeV pri čemu prelazi u stabilan izotop helija mase 3. Na osnovu činjenice da helija mase 3 ima u atmosferi 1 ppm na cjelokupni atmosferski helij, dok ga u ukupnom heliju stijena i plinskih izvora na Zemlji ima 10 puta manje, pretpostavljalo se da je koz-

mičkog porijekla što je otkrićem radioaktivnosti tricija bilo i potvrđeno. Prirodni tricij otkrili su u vodi Grosse, Johnston, Wolfgang i Libby 1951. godine /1/.

. Prirodni tricij nastaje u atmosferi interakcijom kozmičkih zraka s jezgrama dušika. Glavni produkt interakcije neutrona s dušikovim atomima je ugljik koji nastane reakcijom $^{14}_{7}N/n,p/^{14}_{6}C$, za koju je udarni presjek $1,7 \cdot 10^{-24} cm^2$. Udarni presjek za reakcije u kojoj nastaje tricij iznosi $10^{-26} cm^2$ /2/ i te reakcije zahtijevaju neutrone većih energija. Produkcija ovisi o geografskoj širini i o Sunčevoj aktivnosti. Brzina produkcije približno je 0,25 T atoma/ $/cm^2 \cdot s$ /3/. Dio prirodnog tricija je izvan zemaljskog porijekla i potječe ili iz solarne emisije 0,4 T atoma/$cm^2 \cdot s$ /4/ ili od solarnih protona 0,20 T atoma/$cm^2 \cdot s$ /3/. Srednja globalna produkcija iznosi 0,45 T atoma/$cm^2 \cdot s$ /5/. Tricij nastaje u najvišim slojevima atmosfere između 10 i 15 km visine. Preko 99 % tricija oksidira u vodu zajedno s ostalim vodikovim atomima i postepeno dospijeva na Zemljinu površinu kao HTO u oborinama i atmosferskoj vlazi. Čim vodena para uđe u troposferu, tricij što ga ona sadrži ulazi u hidrološki ciklus. Dio vode što padne u obliku oborina otječe površinom u obliku rijeka, dio se isparavanjem vrati u atmosferu, a dio odlazi u podzemne vode. U troposferskoj vlazi prirodni tricij javlja se u omjeru $4-10 \cdot 10^{-18}$ tricijevih atoma na jedan vodikov atom. Koncentracija tricija izražava se u tricijevim jedinicama /T.j./. Jedna tricijeva jedinica predstavlja omjer jednog tricijevog atoma prema $10^{18}$ vodikovih atoma. 1 T.j. odgovara aktivnosti od 7,2 raspada u minuti po litri vode.

S organiziranim mjerenjem tricija širom svijeta započelo se poslije prvih termonuklearnih eksplozija kada se uvidjelo da bi sintetski tricij mogao biti dobro oružje u rukama hidrologa, oceanologa i meteorologa budući da se njegova koncentracija u vodi toliko povećala da u većini slučajeva nije bilo potrebno izotopno obogaćivanje. Na sreću postoji dovoljno velik broj mjerenja koncentracije tricija prije 1954. god. koja daju kompletnu sliku raspodjele koncentracije prirodnog tricija /6/.

Vodikove bombe proizvele su tricija u daleko većim količinama od ukupne količine prirodnog tricija na Zemljinoj površini. Maksimalna koncentracija tricija na Zemlji postignuta je 1963. godine kada je u kontinentalnoj kiši poprimila vrijednost od 6.500 T.j. U maritimnoj kiši koncentracija je uvijek manja /u gornjem

slučaju iznosila je cca 2.000 T.j./ jer se razrjeđuje isparenom vodom oceana. Koncentracija tricija u oborinskim vodama pokazuje cikličke promjene s maksimumom u rano ljeto kada je najveća izmjena zračnih masa između stratosfere i troposfere.

Specifična aktivnost prirodnih voda vrlo je niska i zato je za njeno mjerenje potrebna osjetljiva tehnika mjerenja. Zbog male energije i malog dometa beta čestica što ih tricij emitira uzorak se uvijek unaša u detektor. Uzorak se može mjeriti tekućim scintilacionim brojačem /7-13/ pri čemu se tricij iz uzorka ugrađuje u molekule otapala da bi se dobila potrebna osjetljivost. Druga metoda mjerenja koristi plin koji se dobije iz uzorka i miješa s radnim plinom te mjeri s Geiger - Müllerovim ili proporcionalnim brojačem. Za mjerenje je pogodno upotrijebiti plin koji ima mali tlak para pri temperaturi tekućeg zraka jer se s njim lako manipulira u vakuumskom uređaju i lako ga se čisti višestrukim smrzavanjem i evakuiranjem. Za punjenje plinskih brojača uzorci vode prevode se u vodik ili ugljikovodike.

| Plin | Metoda pripreme |
|---|---|
| vodik | /a/ $HTO + Zn\ /400^{o}C/ \rightarrow HT + ZnO$ |
| | /b/ $HTO + Mg\ /600^{o}C/ \rightarrow HT + MgO$ |
| etan | /a/ $HT + C_2H_4 \xrightarrow{Pd} C_2H_5T$ |
| | /b/ $2\ HT + C_2H_2 \xrightarrow{Pd} C_2H_4T_2$ |
| metan | $2\ HTO + CO_2 + 4\ Zn \xrightarrow{Ru} CH_2T_2 + 4\ ZnO$ |
| propan | $2\ HT + C_3H_4 \xrightarrow{Pd} C_3H_6T_2$ |
| acetilen | $2\ HTO + CaC_2 \rightarrow C_2HT + Ca/O_2HT/$ |

U Geigerovom području dobri rezultati dobiveni su upotrebom smjesa vodik - etilen /13/, vodik - eter /13/ vodik-etilen-argon /1,14,15/, vodik-propan /16/, vodik-toluen /17,18/. U proporcionalnim brojačima najviše se upotrebljava etilen pri čemu se dio etilena priprema iz vodika uzorka, a do potrebnog tlaka nadopunjuje se inaktivnim čistim etilenom iz boce. Ima laboratorija koji u proporcionalnom brojaču koriste smjese vodik-argon-metan /12/ ili etan--etilen /17,19/ ili pak etan /20/ ili vodik /21/.

Za jedno mjerenje potrebno je od 0,1-5 grama vode što ovisi o osjetljivosti uređaja. Uzorci vode sakupljaju se u staklenim bočicama. Polietilenske boce treba izbjegavati jer su porozne i

uzorci iz nje isparavaju. Broj otkucaja uzorka ovisi o masi plina koja se uvodi u brojač i o koncentraciji tricija. Prema tome treba koristiti pri umjerenoj koncentraciji veliki brojač, a pri upotrebi malog brojača primijeniti višestruko obogaćivanje. Povećanje koncentracije tricija određeno je osjetljivošću uređaja i primjenjuje se pri mjerenju koncentracija manjih od 50 T.j. Na taj način može se mjeriti aktivnost uzorka od samo jedne tricijeve jedinice. Postoji više metoda povećanja koncentracije tricija odnosno izotopnog obogaćivanja: termička difuzija /12, 22, 23, 24/,elektroliza /12, 13, 16, 17, 18, 25, 26, 27/, plinska kromatografija /28/ i frakcionirana destilacija /29, 30/. Najčešće se koriste prve dvije metode. Uređaj za termičku difuziju sastoji se od dvije vertikalne koncentrične cijevi unutarnje tople i vanjske hladne. U prstenastom međuprostoru nalazi se smjesa plinova koja je podložna termičkoj difuziji i konvekciji. Teže molekule plina sakupljaju se pri dnu aparature, a lakše pri vrhu. Pri povećanju koncentracije tricija metodom elektrolize uzorku se doda lužine. Budući da se vodik razvija daleko brže od tricija, tricij zaostaje u preostalom elektrolitu. U nekim slučajevima polazi se od 1 litre kišnice da bi se na kraju dobio 1 ml uzorka. Višestrukom elektrolizom moguće je postići tisuću puta veću koncentraciju /4,14/.

Za dobivanje konačnog rezultata starosti potrebno je mjeriti standardni uzorak, koji se nabavlja u nekom centru za standarde kao što su MAAE, NBS, Euratom, i osnovno zračenje zašto je potrebna potpuno neaktivna voda. Danas su još potpuno neaktivne vode juvenilne podzemne vode koje su se akumulirale prije termonuklearnih eksplozija i vode dobivene otapanje arktičkih i antarktičkih ledenih naslaga prije 1954. godine, te na kraju i staro vino koje je pripremljeno prije termonuklearnih pokusa. U našem laboratoriju za mjerenje niskih aktivnosti koji je jedini te vrste u zemlji, koristi se proporcionalni brojač koji se puni metanom. Za jedno mjerenje potrebno je oko 10 ml uzorka vode. Uzorci se uzimaju iz rijeke Save kod Podsuseda. Uzorak se grije u metalnoj posudi /sl. 1-1/, a nastala vodena para prevodi se u vodik pomoću magnezijevih strugotina ugrijanih na 600°C /sl.1-2/. Redukcija kompletnog uzorka vode traje oko pola sata. Nastali vodik se apsorbira u klopki /sl. 1-7/ u kojoj se nalazi molekularno sito na temperaturi tekućeg dušika. Kada je redukcija završena što se vidi po nestanku vode u posudi, odvoji se peć od klopke s molekularnim sitom i uklo-

ni tekući dušik. Vodik prelazi iz sita u konvertor /sl. 1-5/. Brzina otpuštanja vodika iz klopke pospješuje se grijanjem sita plamenikom. Kada se sav vodik razvije i tlak mu se ustali, otčita se tlak. Višak vodika se ispumpa, izmjeri i zabilježi potrebna količina. Kada se sav vodik prebaci u konvertor doda se potrebna količina potpuno neaktivnog $CO_2$. Kao katalizator služi rutenij koji se grije na 475°C. Tijekom cca pola sata odvija se reakcija

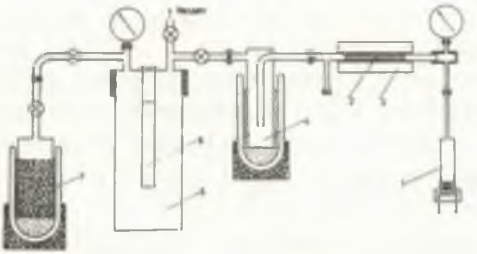
$$4\ H_2 + CO_2 \xrightarrow[475^{o}C]{Ru} CH_4 + 2\ H_2O$$

Nastali metan sakupi se i pročišćava u kolonama punjenim kalijevom lužinom i magnezijevim perkloratom da bi se očistio od eventualnih tragova vode, vodika i ugljičnog dioksida. Prolazom kroz bakrene strugotine ugrijane na 650°C pročišćava se od sumpornih spojeva, dušikovih oksida i kisika. Uzorci plina stoje prije mjerenja dva tjedna, da bi se raspali atomi radona ukoliko ih plin sadrži. Svaki uzorak se mjeri dva puta po cca 3000 min u razmaku od dva tjedna. Uzorci se mjere proporcionalnim brojačem /31/ koji radi na naponu od 4150 V, a punjen je na tlak od 3 atm. Rad brojača provjerava se mjerenjem platoa s $^{226}Ra$. Signali iz proporcionalnog brojača vode se preko nabojski osjetljivog pretpojačala u linearno nepreuzbudivo pojačalo /sl. 2/, a odatle u diskriminator impulsa s promjenljivim pragom. Formirani impulsi iz diskriminatora vode se u antikoincidentni sklop u koji se vode i pojačani impulsi iz zaštitnog GM brojača, koji blokiraju izlaz u slučaju koincidencije impulsa iz centralnog i antikoincidentnog brojača. Preostali impulsi automatski se otkucavaju na pisaču svakih 20 minuta. Podaci se dalje obrađuju na elektronskom računaru CAE 90-40.

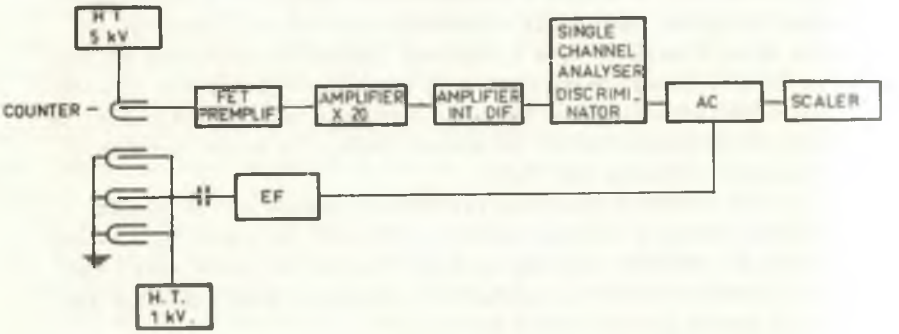
Za dobivanje konačnog rezultata potrebno je još mjeriti standardni uzorak i osnovno zračenje. Mjerenja se ponavljaju svakih 10 dana. Za mjerenje osnovnog zračenja koristi se mrtva voda koja je nabavljena iz Odjela za izotopnu hidrologiju MAAE u Beču, a kao standard uzorak jačine 8250 ± 165 T.j.

Ugljični dioksid kojim se nadopunjava uzorak tricija dobija se tretiranjem mramora s 25 % solnom kiselinom ili pak spaljivanjem lignita, antracita ili petrolkoksa. Nastali $CO_2$ prevodi se u metan i njime se puni brojač. Mjerenjem je utvrđeno da je plin priređen iz nabrojenih uzoraka potpuno neaktivan /tabl.1/.

Mjerenjima prirodnog metana iz različitih bušotina /Stru-



Sl.1. Uređaj za pripremu metana iz uzorka vode
1 - metalna posuda s uzorkom vode;
2 - Mg-strugotine; 3 - električna peć;
4 - klopka s tekućim dušikom; 5 - konvertor; 6 - Ru-katalizator; 7 - molekularno sito za apsorpciju vodika.




Sl.2. Elektronički uređaj za mjerenje aktivnosti uzorka.

žec, Lendava, Lipovljani/, utvrđeno je da su svi uzorci neaktivni te prema tome ne sadrže tricij /tabl. 2/.

TAB. br. 1

Mjerenja aktivnosti metana sintetiziranog iz mramora, fosilnih goriva i prirodnog ugljičnog dioksida

| Uzorak | Datum | Otk/min |
|---|---|---|
| mramor Carrara | 24. 3. 1971. | 6,52 ± 0,05 |
| antracit Njemačka | 23. 4. 1971. | 6,12 ± 0,04 |
| lignit Livanjsko polje | 2. 6. 1971. | 5,65 ± 0,05 |
| petrolkoks rafinerija Rijeka | 1. 9. 1971. | 5,95 ± 0,05 |
| ugljični dioksid Rogaška Slatina | 15. 8. 1971. | 5,88 ± 0,05 |

TAB. br. 2

Mjerenja aktivnosti prirodnog metana

| | | |
|---|---|---|
| Lipovljani | 7. 6. 1971. | 5,46 ± 0,05 |
| Lendava | 24.11. 1971. | 5,69 ± 0,04 |
| Stružec | 11.12. 1971. | 6,04 ± 0,05 |

A method for tritium concentration measurement in water is described. The internal gas sample counting using the proportional counter in anticoncidence with the guard counter has heen applied. Methane synthetyzed from inactive $CO_2$ and hydrogen from the water sample are used for counter filling. The counting gas preparation as well as the proportional counter system have heen briefly described. Counter background has been determined hy measuring samples of "dead water".

Bibliografija

1. Grosse A.V. et al., Science, 113, 1 /1951/.
2. Cornog R. et al., Phys. Rev., 59, 1046 /1941/.
3. Lal D. et al., Tellus, 13, 85 /1961/.
4. Flamm et al., UCLA Rpt Nr. 258 /1960/.
5. Oeschger H. et al., EGIG - 1957 - 1960. Report 5.
6. Suess H.E., Ann.Rev.Nucl. Sci., 8, 243 /1958/.
7. Tamers M., Proceedings of the Symposium de Vienna, 303 /1961/.

8. Reeder H.O. et al., Report TEI-839 /1963/.
9. Burt A.K. et al., AERE Report 4638, Harwell /1964/.
10. Boyce I.C. et al., Tritium in the Phys.and Biol.Sciences, 1, 231, IAEA, Vienna /1962/.
11. Kaufman W.J. et al., Tritium in the Phys.and Biol. Sciences, 1, 249, IAEA, Vienna /1962/.
12. Ehhalt D. et al., World Wide Survey of Hydrogen and Oxygen Isotopes in Precipitation, Panel held at the IAEA Headquarters in Vienna /1964/.
13. Carlston C.W. et al., Tritium in the Phys.and Biol, Sciences, 1, 71, IAEA, Vienna /1962/.
14. Brown R.M. et al., Canad J.Chem. 34, 220 /1956/.
15. Buttlar H. et al., Tritium in the Phys.and Biol., Sciences, 1, 325, IAEA, Vienna /1962/.
16. Östlund H.G., Tritium in the Phys. and Biol, Sciences, 1, 333, IAEA, Vienna /1962/.
17. Allen R.A. et al., Nucl. Instr. Meth., 45, 61 /1966/.
18. Gat J.R. et al., Tritium in the Phys. and Biol. Sciences, 1, 41, Vienna /1962/.
19. Cameron J.F. et al., Proc.of the Sixth Inter.Conf.Radiocarbon and Tritium Dating, Rpt CONF-650652, 454, Pullman, /1965/.
20. Bainbridge A.E. et al., Science, 134, 552 /1961/.
21. Verhagen B.Th.et al., National Conference on Nuclear Energy 1963: Application of Isotopes and Radiation, Pretoria, str.109.
22. Gonsior B., Z.angew. Phys., 13, 545 /1961/.
23. Verhagen B.Th. et al., Third United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, May /1964/.
24. Ravoire J. et al., Proc.of Symposium on Radioactive Dating and Methods of Low Level Counting, IAEA, Vienna, 639 /1967/.
25. Östlund H.G. et al., Tritium in the Phys. and Biol, Sciences, 1, 95, Vienna /1962/.
26. Kaufman S. et al., Phys, Rev., 93, 1337 /1954/.
27. IAEA Laboratory Report Vienna May /1967/.
28. Crespi M.B.A. et al.,Int.J.Appl.Rad.Isotopes 15, 569, /1964/.
29. Dostrovsky I. et al., Proceedings of a Conference held at Northwestern University 1 st.Ed.London, Pergamon, 283 /1957/.
30. Smith D.B. et al., Tritium in the Phys.and Biol, Sciences, 1, 105, IAEA, Vienna /1962/.
31. Srdoč D. et al., Rad 349, XII, 109 /1971/ JAZU Zagreb.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Petar Strohal i Olga Jelisavčić
Centar za istraživanje mora, Institut "Rudjer Bošković",Rovinj

# RADIOKONTAMINACIJA JADRANSKOG MORA

Jadransko more, a napose njegov sjeverni dio, predstavlja uvalu Mediterana, koja je pod jakim utjecajem kontinentalnih voda. Ovo se posebno odnosi na njegov sjeverni dio, gdje dubina mora ne prelazi 40 metara. Upravo u tu uvalu sjeverno-talijanske rijeke donose veće količine raznih zagadjivača. Zbog toga se u odredjena godišnja doba mogu uočiti i porasti nivoa zagadjivača u sjevernom Jadranu. Sjeverno-talijanske rijeke donose pored ostalog i radionuklide, koji su rezultat atmosferskih padavina na području sjeverne Italije te južnih Alpa. Upravo zbog toga se u području sjevernog Jadrana može uočiti i jači porast radioaktivnosti u kasnije proljeće kada dolazi do otapanja snijega u Alpama. Kao jedan od izvora radiozagadjenja sjevernog Jadrana može se takodjer pretpostaviti i nuklearna postrojenja u sjevernoj Italiji. Medjutim do sada nisu utvrdjena zagadjenja koja bi bila rezultat rada takovih postrojenja.

Iako je koncentracija pojedinih radionuklida, koji dolaze u sjeverni Jadran rijekama, relativno veoma niska i ne bi joj trebalo posvećivati veću pažnju, ipak treba uzeti u obzir radioekološke procese u moru, te procese kod interakcije slatkih i slanih voda. Pokazano je (1), da su procesi koncentri-

ranja pojedinih radionuklida u organizmima mora veoma intenzivni. Zbog toga potrebno je redovito praćenje i kontrola nivoa radioaktivnosti pojedinih areala, a i odredjenih organizama koji žive u tim područjima. Posebna se pažnja posvećuje onim organizmima, koji se bilo direktno koriste kao ljudska hrana ili su jedna od karika u biološkom hranidbenom lancu tih organizama.

Radioekološka istraživanja ovog tipa provode se u Centru za istraživanje mora Instituta "Rudjer Bošković" u Rovinju posljednjih osam godina. Osim redovite rutinske kontrole (monitoring), vrše se i laboratorijska istraživanja procesa inkorporacije pojedinin radionuklida u tipične predstavnike organizama sjevernog Jadrana, istražuje se mehanizam tih interakcija, fizičko-kemijski procesi koji utiču na takove procese, ispituje se elementarni sastav pojedinih organizama sa svrhom da se može predskazati u koje organizme će se akumulirati pojedini radionuklidi u danim uslovima i u kojoj mjeri. Osim u Rovinju slična se radioekološka ispitivanja u sjevernom Jadranu vrše i u Italiji (2,3).

Monitoring mjerenja vršena su na više stotina uzoraka organizama godišnje, koji su bili sakupljani na nekoliko standardnih stanica. Vršena je kontrola predstavnika gotovo svih grupa organizama. Svi uzorci bili su tretirani na isti način: nakon identifikacije i čišćenja, uzorci su bili sušeni na 105°C, a zatim oprezno mineralizirani u peći kod temperatura od 450°C. Tako dobiveni materijal bio je usitnjen, homogeniziran i kontroliran na ukupnu beta radioaktivnost. Svi oni uzorci koji su imali povišenu beta radioaktivnost, a koja nije pripadala K-40, bili su posebno analizirani na gama radioaktivnost. Ova mjerenja vršila su se pomoću 3 x 3 inča NaJ(Tl) scintilacionog kristala ili pomoću 30 $cm^3$ poluvodičkog Li-Ge kristala, koji su bili priključeni na 400-kanalni analizator.

Rezultati ovih višegodišnjih ispitivanja ukazuju da je prisutan relativno nizak nivo radiokontaminacije, te da se najviši nivo nalazio povremeno u planktonskim uzorcima.

Analiza fitoplanktonske populacije u sjevernom Jadranu, može nam poslužiti kod tumačenja vrijednosti nivoa radioaktivnosti u ispitivanim planktonskim uzorcima. Ovaj areal je zastupljen uglavnom dijatomeama, koje često čine 96% od ukupnog broja fitoplanktonskih stanica. Ukupni broj stanica varira u toku godine, a u cvatu dostiže do 6 x $10^9$ stanica/$m^3$. Najbrojnija skupina poslije dijatomea u ljetnim mjesecima su peridinee, ali brojčano se ne mogu usporediti sa dijatomeama. Vjerujemo da prisustvo ove skupine ne utječe na povišenu akumulaciju radioaktivnosti.

Aktivnost sadržana u bentosnim algama raznih skupina varira u toku godine. Analizirane su vrste sa raznih staništa (priobalne, dubinske, sa pjeskovitog i muljevitog dna, sa staništa gdje je povećan dotok slatkih voda).

Beskičmenjaci koji žive u litoralnom i sublitoralnom pojasu (sesilni, semisesilni, vagilni) intenzivno akumuliraju radioaktivne otpatke, pa su zato bili podvrgnuti mjesečnim kontrolama. Kod ovih organizama radioaktivni otpaci dolaze u organizam filtracijom vode preko škrga ili preko gastrointestinalnog trakta. Kod nekih predstavnika molusaka sa razvijenom ljušturom analizirani su samo meki dijelovi, jer ljušture obično nisu aktivne (Gibbula adriatica, Patella coerulea, Mytilus galloprovincialis). U ljetnim mjesecima naglašen je porast ukupne beta aktivnosti.

Od nektonskih organizama analizirana je plava riba. Ove kontrole nisu bile kontinuirane preko cijele godine, pošto se srdela i skuša love povremeno.

Rezultati ukazuju na prisustvo radionuklida Ce-14 i Zr-95+Nb-95. Ovi radionuklidi su fisioni produkti i najvjerojatnije

su došli u područje sjevernog Jadrana putem oborina. Pretpostavlja se da su oni posljedica nuklearnih eksplozija. Osim spomenutih radioaktivnosti u nekolicini uzoraka bili su primjećeni i tragovi radionuklida Co-60, Ru-106 i Mn-54.

Nivo radiokontaminacije bio je manji od 100 pikokirija pojedinih radionuklida (Ce-144 i Zr-95), a bio je pretežno zamiječen kod planktonskih uzoraka, te kod algi i beskičmenjaka. Želimo takodjer istaći, da spomenute radioaktivnosti pripadaju radionuklidima onih elemenata koji u uslovima morske vode podliježu procesima hidrolize. Zato se i mehanizam površinske sorpcije može pretpostaviti kao najvjerojatniji.

Izgradnjom nuklearnih elektrana na području sa kojeg otpaci mogu doći u sjeverni Jadran zahtijeva i veću pažnju interakciji radionuklida koji se mogu naći u otpadnim vodama takovih nuklearnih postrojenja. Zato smo i vršili odredjivanja koncentracijskih faktora za takove radionuklide u više reprezentativnih uzoraka (4,5). Ustanovljeno je npr. da Microcosmus sulcatus ima koncentracijski faktor za kobalt 1350, dok je taj faktor za cink kod njega, kao i kod Phallusie mammilate 940. Još je veći koncentracijski faktor za željezo za oba ova organizma (40.000 odnosno 18.000). Kod Adocie Grosse i Ircinie Dendroides odredjeni su koncentracijski faktori 24.600 i 58.000 za europij, 6.500 i 4.000 za željezo, 1.100 i 700 za cer te 1.230 i 500 za cink. Čitav niz sistematskih mjerenja koncentracijskih faktora koje se vrši u našim laboratorijima omogućava nam bolje poznavanje radioekološke situacije u tom području.

Zaključno možemo naglasiti, da su dosadašnja mjerenja radiokontaminacije sjevernog Jadrana ukazala na nivo radioaktivnosti, na radionuklide koji se pojavljuju, te na njihovo akumuliranje u pojedine organizme. Za sada, medjutim, nema direktne opasnosti

od radiokontaminacije ovog areala, ali prisustvo fisionih radionuklida zahtijeva sistematsku daljnju kontrolu. Ispitivanja koncentracijskih faktora pojedinih organizama sjevernog Jadrana ukazuju nam na indikatorske organizme te regije.

## RADIOCONTAMINATION OF THE ADRIATIC SEA

Radiocontamination of the Adriatic sea has been measured during last 8 years. Special care was paid to the North Adriatic region since it is under the strong influence of the North Italian rivers. Radiocontamination of biota was followed by measuring the total beta radioactivity as well as by means of gamma spectrometry.

Radionuclides detected were: Zr-95, Nb-95, Ce-144 and in some cases traces of Co-60, Ru-106 and Mn-54. The maximum contamination level measured was 100 picocuries per gram of wet weight of sample.

Also radioecological concentration factors for some representative organisms were investigated in order to search for indicator organisms.

Literatura

1. Polikarpov, G.G., Radioecology of Aquatic Organisms, (1966), North Holland Publ.Co., Amsterdam.
2. Schreiber, B., Radionuclides in Marine Plankton and in Coastal Sediments, u: Radioecological Concentration Processes, 770 (1967), Pergamon Press, Oxford.
3. Cerrai, E., et al., C.I.S.E. Report No. 95. (1963).
4. Strohal, P., et al., Limnol.Oceanogr. 14. 265 (1969).
5. Strohal, P., and J. Bekić, Studies of Elementary Composition of Two Coelenterata, Thalassia Jug., u štampi, (1972).

VI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25.do 28. april 1972.

Teodosievski G., Kalendarov Z.
Republički zavod za zdravstvena zaštita, Skopje

# ISPITUVANJE NA PRIRODNATA GAMA RADIOAKTIVNOST VO NASELENI MESTA VO SR MAKEDONIJA

Izvršeni se merenja na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost vo 3o naseleni mesta na ulici od asfalt,beton,kocka i kaldrma i vo objekti za živeenje i rabota od betonski elementi,kamen i drvo so cel da se najde najverovatnata jačina na ekspozicionata doza za populacijata vo slobodna sredina od prirodnata gama radioaktivnost vo SR Makedonija.

Cel na ispituvanje vo ovoj trud e da se utvrdi visinata na prirodniot gama fon vo naseleni područja,kade na visinata na ovoj fon pokraj gama emiteri od atmosferata i lokalnoto zemjište ima udel i sodržinata na ovie emiteri vo postoekite objekti za živeenje i rabota,vrsta na materijalot za nivna izgradba i t.n.

Vo period od 1966 do 197o god vo SFRJ vršeni se merenja na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost na visina od 1 metar od zemjišteto.Merenite točki bea raspredeleni vo kvadrati od terenot so ivici od 15 km. istite bea izvršeni od site centri vo SFRJ.

Vo tek na 197o god vršeni se vo leten i esenski suv period merenja na prirodnata gama radioaktivnost na visočina od 1 metar nad ulici i vo postoekite objekti za živeenje i rabota vo 3o naseleni mesta vo SR Makedonija.

Teritorijalnata distribucija na naselenieto vo SFRJ pomerenja e kon izodozni povrvnini so pogolema jačina na ekspozicionata doza. Po toj osnov NAJVEROJATNATA JAČINA NA EKSPOZICIONA DOZA ZA POPULACIJA VO SLOBODNA SREDINA OD PRIRODNATA gama radioaktivnost vo SFRJ iznesuva 12,95 ur/h.

Izmerenata struktura na terenot,specifičnata geometrija na materijalot vo koi se navogjaat prirodnite radionuklidi, koncentracijata na naselenieto na mal prostor i potrebata da se

Zgolemenata vrednost vo Tabela 2 vo odnos na analogni vrednosti koi se najdeni nad ulici se rezultat na geometrijata koja e čini vnatrešnosta na objektot za živeenje i rabota.

Jačina na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost vo objekti za živeenje i rabota od različen gradežen materijal

| Mesto | CIGLA | | BETON | | KAMEN | | DRVO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ur/h | br. mer. | Ur/h | br. mer. | ur/h | br. mer | ur/h | br. mer. |
| Skopje | 14,3 | 1o | 11,9 | 1o | 14,2 | 1o | 7,o | 1o |
| Tetovo | 11,o | 3 | 1o,5 | 3 | 16,o | 3 | 8,4 | 3 |
| Gostivar | 1o,5 | 3 | 1o,1 | 3 | 13,o | 3 | 8,4 | 3 |
| Debar | 13,o | 2 | 12,5 | 2 | 18,2 | 2 | 11,o | 2 |
| Ohrid | 13,5 | 3 | 13,4 | 3 | 16,o | 3 | 1o,2 | 3 |
| Struga | 13,2 | 2 | 13,o | 2 | 17,o | 2 | 1o,5 | 2 |
| Resen | 12,5 | 2 | 12,2 | 2 | 16,8 | 2 | 1o,1 | 2 |
| Bitola | 21,5 | 4 | 18,5 | 4 | 2o,5 | 4 | - | - |
| Kičevo | 15,3 | 3 | 15,o | 3 | 17,2 | 3 | 12,6 | 3 |
| Makedonski Brod | 16,3 | 2 | 14,1 | 2 | 19,1 | 2 | 14,o | 2 |
| Prilep | 22,o | 3 | 19,2 | 3 | 21,o | 3 | 1o,5 | 3 |
| Kruševo | 23,5 | 3 | 21,5 | 3 | 22,2 | 3 | 12,3 | 3 |
| Kavadarci | 15,1 | 3 | 14,8 | 3 | 17,5 | 3 | 14,1 | 3 |
| Negotino | 14,8 | 2 | 14,4 | 2 | 17,o | 2 | 13,o | 2 |
| Valandovo | 12,5 | 2 | 12,o | 2 | 16,o | 2 | 11,5 | 2 |
| Gevgelija | 1o,5 | 3 | 1o,o | 3 | 14,5 | 3 | 1o,o | 3 |
| Strumica | 13,2 | 4 | 12,8 | 4 | 16,6 | 4 | 11,4 | 4 |
| Radoviš | 14,5 | 2 | 14,o | 2 | 18,3 | 2 | 12,o | 2 |
| Štip | 11,5 | 4 | 11,2 | 4 | 15,6 | 4 | 9,6 | 4 |
| Sveti Nikole | 1o,1 | 2 | 9,4 | 2 | 13,2 | 2 | 7,3 | 2 |
| Kočani | 13,5 | 3 | 13,o | 3 | 18,o | 3 | 13,5 | 2 |
| Vinica | 13,4 | 2 | 13,1 | 2 | 18,o | 1 | 13,o | 2 |
| Delčevo | 9,5 | 2 | 9,o | 2 | 13,5 | 2 | 11,4 | 2 |
| Pehčevo | 8,o | 2 | 7,5 | 2 | 12,8 | 2 | 1o,1 | 2 |
| Berovo | 7,5 | 2 | 7,6 | 2 | 8,5 | 2 | 7,o | 2 |
| Probištip | 25,5 | 4 | 25,3 | 4 | 27,5 | 4 | - | - |
| Kratovo | 2o,3 | 3 | 2o,o | 4 | 23,2 | 3 | 16,o | 3 |
| Kriva Palanka | 11,5 | 2 | 11,o | 2 | 15,5 | 2 | 12,o | 2 |
| Kumanovo | 9,5 | 3 | 1o,1 | 4 | 8,5 | 3 | 6,5 | 3 |
| Titov Veles | 11.o | 4 | 1o.8 | 4 | 15,o | 4 | 12.o | 4 |
| Sred.vrednost | 13,95 | | 13.26 | | 16.67 | | 1o.18 | |
| Vkup.merenja | | 89 | | 91 | | 88 | | 80 |

Merenjata na jačinata na ekspozicionata doza na prirodnata gama radioaktivnost vo objekti za živeenje i rabota i ulicix vo naseleni mesta vo SR Makedonija - pokažuvaat deka ovie vrednosti se dvižat vo granici na veličinite koi se izmereni vo slobodna sredina vo SFRJ. Isto taka najverojatnite vrednosti na jačinite na ekspozicionite dozi vo ovie sredini se poklopuvaat. Vrz osnova na toa jačinata na ekspozicionata doza od 13 ur/h može da se smeta kako najverojatna vrednost pri ocenka na ozračuvanje na

populacijata vo SR Makedonija od prirodnata gama radioaktivnost. Našite ispituvanja na prirodnata gama radioaktivnost prodolžuvaat i ponatamu vo kompletiranjeto na kartata so izodozni povrvnini na teritorijata na SR Makedonija.

Literatura


1. M. Sterle.,: Konfiguracija terena i dozimetrija prirodne gama radioaktivnosti. III.Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti. B. B.Luka 23-26.X.1967
2. R. Radovanović.D.Hajduković: Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na teritoriji SR Srbije Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti II. 28-3o maj 1969
3. R. Radovanoviić, M. Sterle: Nivo prirodnog gama fona u većim gradovima u SFRJ. V.Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti. Bled 6-9.X.197o god.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Ohrid, 25. do 28. aprila 1972.

Živorad Vuković

# PERSPEKTIVE PRIMENE NEKIH KRISTALNIH SOLI ZA SORPCIJU PRODUKATA FISIJE

Razmatrane su mogućnosti primene kristalnih soli za sorpciju nekih fisionih produkata iz rastvora. Ispitivana je sorpcija Sr barijum sulfatom u migracionom režimu. Optimizirani su uslovi sorpcije koja se tumači kao jednosmerna difuzija iz rastvora. Lokalni koeficijenti difuzije Sr nemonotono se menjaju sa odnosom $SO_4^{2-}/Ba^{2+}$ pri sintezi $BaSO_4$.

Primena kristalnih soli za uklanjanje radioaktivnih jona iz rastvora najviše se bazira na izmeni izotopnog ili neizotopnog jona na površini kristala (1). Za primenu kristalnih tela bitno je da im je površina velika, da je mala rastvorljivost i da se čvrsta i tečna faza lako razdvajaju. Ovi uslovi imaju i protivrečni karakter i obzirom na relativno malu površinu u odnosu na masu čvrste faze princip koji bi omogućio da se sorpcioni kapacitet poveća na račun iskorišćenja mase daje dobre perspektive za praktičnu primenu.

Optimizacija uslova sorpcije bazirana na takvom principu cilj je ovog rada.

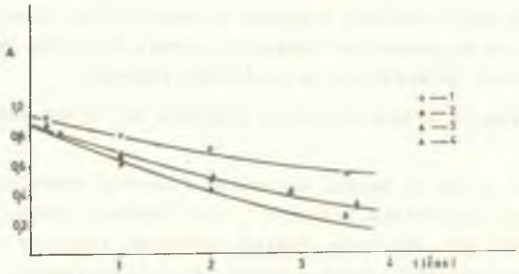
Poznato je da se veliki kapacitet i brzina sorpcije, te dragocene osobine sa stanovišta sorpcije, koje poseduje čvrsta faza pri formiranju, gube pri starenju. Veliki kapacitet sorpcije uslovljen je neravnotežnim defektima koji nastaju pri kristalizaciji a iščezavaju pri starenju. Ako se kristalizacija odvija brzo to će se nastala čvrsta faza karakterisati neravnotežnim defektima površinskog sloja u momentu kristalizacije. Ako se defekti zatim "zamrznu" to će čvrsta faza moći da se koristi prema potrebi, a efikasnost sorpcije zavisiće od koncentracije defekata. Mi smo u ovom radu analizirali takav slučaj"zamrzavanja" defektnosti čvrste faze pri optimizaciji uslova kristalizacije. Korišćeni su $BaSo_4$ u svojstvu modela čvrste faze i radio-

aktivni stroncijum kao predstavnik fisionih produkata.

## Eksperimentalni postupak i rezultati

Čvrsta faza pripremana je mešanjem $BaCl_2$ i $K_2SO_4$ u staklenom kristalizatoru sa propeler mešalicom pri 25 ± 0,1°C i broju obrtaja mešalice 600 o/min. Čvrsta i tečna faza razdvajane su zatim centrifugiranjem, ispirana sa acetonom, sušena i ponovo dovodjena u kontakt sa zasićenim rastvorom $BaSO_4$ i KCl. U suspenziju je uvodjen $Sr^{89}$ (bez nosača) i praćena preraspodela izmedju čvrste i tečne faze radiometrijski. U odredjenim vremenskim intervalima talog je rastvaran dodavanjem alkalnog rastvora EDTA (pH-10) i praćena raspodela po zapremini čvrste faze. Geometrijski parametri kristala analizirani su elektronskom i optičkom mikroskopijom a površina je odredjivana i metodom toplotne desorpcije azota.

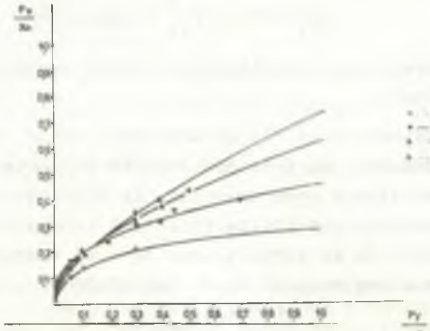
Na slici 1 prikazani su rezultati sorpcije svežim talogom $BaSO_4$, koji je pripreman iz rastvora $BaCl_2$ koncentracije $C=1.10^{-1}M$ dok je odnos $SO_4^{2-}/Ba^{2+}=b$ variran. $Sr^{89}$ uvodjen je u sistem pri $\tau=10$ min. ($\tau$-vreme od početka formiranja čvrste faze). Maksimum sorpcije nalazi se pri b=2.



Sl. 1. Promena frakcije (A) $Sr^{89}$ sa vremenom. $\tau=10$ min, $u=2,5.10^{-4}$ Mol, $V=50$ $cm^3$, $C_{KCl}=1.10^{-2}M$, b ima značenje: 1(1), 1,5(2), 2(3) 2,5(4)

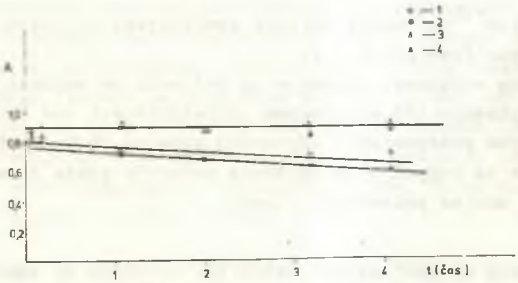
U odredjenim vremenskim intervalima (t) posle uvodjenja Sr čvrsta faza je delimično ili potpuno rastvarana dodavanjem EDTA u porcijama koje su omogućavale da se prati raspodela Sr po zapremini kristala.

Na sl. 2 prikazana je raspodela Sr za $C = 1.10^{-2}$M i $\tau = 10$ min. $p_x$ i $p_y$ su količine mikro i makrokomponente prešle u tečnu fazu za vreme rastvaranja stabilisanog taloga, v - količina taloga i $x^0$ - količina Sr u sistemu.



Sl. 2. Raspodela $Sr^{89}$ po zapremini čvrste faze Ba $SO_4$. $\tau$ - 10 min, b = 2, t ima značenja: 35 min(1), 100 min(2), 155 min(3), 225 min(4).

Sorpcija stabilisanim talogom starim 10 dana za različite vrednosti i b prikazana je na sl. 3.




Sl. 3. Sorpcija stabilisanim talogom. $\tau = 10$ d, $C = 1.10^{-1}$M(1,2), $C = 1.10^{-2}$(3,4), b = 2 (1,3), b = 1(2,4).

## Diskusija

Prelaz Sr u čvrstu fazu nije uslovljen Ostwaldovim sazrevanjem. Razlike u sorpciji pri identičnom presićenju i granulometrijskom sastavu inače se ne bi mogle objasniti. Prelaz Sr u čvrstu fazu razmatramo kao jednosmernu difuziju iz rastvora. U tom slučaju za izračunavanje lokalnog koeficijenta difuzije (q) Sr može se koristiti prvi

zakon Ficka koga izražavamo oblikom (2):

$$-\frac{\partial}{\partial t}\left\{(1-A)x_o-P_x\right\} = 2qQy\left(\frac{\partial C_T}{\partial C}\right)_{P_y} \qquad (1)$$

U ovom izrazu Q je specifična površina osnova kristala, $C_T=\frac{\rho dP_x}{dP_y}$, $\rho$ gustina kristala.

Koristeći izraz (1) izračunavali smo q. Sr prodire u čvrstu fazu u saglasnosti sa rešenjem zadatka difuzije za telo konačnih razmera sa vezivajućim granicama (3). Za difuziju su odgovorni defekti koji se formiraju pri kristalizaciji a iščezavaju pri starenju. Slika 1 i 3 pokazuju da se sorpcija smanjuje sa vremenom starenja taloga. Ovo smanjenje u saglasnosti je sa jednakošću

$$q = \text{const}.C_D \qquad (2)$$

gde je $C_D$ koncentracija defekata odgovornih za pomak Sr.

Likvidacija defektnosti dovodi do smanjenja pokretljivosti a samim tim i sorpcije u zapremini kristala. U ranim stadijumima kristalizacije $C_D$ zavisi od b. Ova zavisnost može se predstaviti izrazom

$$q = q_o.1,8b \qquad (1<b<2)$$

gde je $q_o = 7.10^{-15}cm^2/sec$), lokalni koeficijent difuzije u periferskoj zoni čvrste faze pri b = 1.

Nemonotona zavisnost sorpcije za b>2 može se objasniti preraspodelom naelektrisanja ili smanjenjem pokretljivosti pod uticajem većeg viška $SO_4^{2-}$. Ove pretpostavke zahtevaju posebnu potvrdu. Medjutim, optimalne uslove za sorpciju iz rastvora pokazuje sveže formirana čvrsta faza $BaSO_4$ ako se priprema pri b=2.

Application of the crystal salts for sorbtion of some fission products from the solution have been examined. The sorbtion of Sr by barium sulphate has been studied in migration regime. The sorbtion conditions are optimized and the local diffusion coefficients are found to nonmonotonously change on $BaSO_4$ synthesis with $SO^{-2}/Ba^{2+}$. The sorbtion is interpreted in terms of unidirectional diffusion from the solution.

Literatura:

1. Lieser K.H. Hild W, "Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry", 337 (1962) IAEA, Viena
2. Ž.Vuković, Melikhov I.V., Radiokhimiyja (1971, u štampi)
3. Boltaks B.I, "Difuziya v Poluprovodnikah" 142(1961) Gos.izd.F.M.L. Moskva.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid 25 - 28. aprila 1972.

Janković Olga Radovanov Petar, Kostadinović Andreja

Institut za nuklearne nauke "BORIS KIDRIČ" - Vinča

# SORPCIJA RADIONUKLIDA $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ NA ZEOLITU AW-500

R E Z I M E

U radu su prikazani rezultati ispitivanja sorpcionih osobina zeolita AW-500 za radionuklide cezijuma, stroncijuma i kobalta iz rastvora natrijum odnosno kalcijum hlorida. Od ispitivanih radionuklida najveći relativni afinitet za AW-500 pokazuju joni cezijuma nezavisno od prirode makrokomponente. Koncentracija makrokomponente menjana je u opsegu $1{,}0 \times 10^{-1}$ - $5{,}0 \times 10^{-1}$ N .

S izuzetkom cezijuma, sorpcija radioanuklida stroncijuma i kobalta u prisustvu NaCl odnosno $CaCl_2$ ne može se prikazati zakonom o dejstvu masa.

Sintetski zeoliti danas imaju veliku praktičnu primenu kao sorbenti sa osobinama molekulskih sita, dok se njihova jonoizmenjivačka svojstva znatno manje koriste. Iako su koeficijenti razdvajanja koji se postižu jonskom izmenom na zeolitima po pravilu veći od onih koji se dobijaju na smolama, zbog relativno male brzine procesa izmene i teškoće da se dobiju granule koje ne sadrže vezivnog materijala, zeoliti se kao jonoizmenjivači ne koriste mnogo u praktične svrhe. Pored toga zeoliti kao jonoizmenjivači znatno su manje izučeni od smola.

Stoga je sasvim razumljivo što se danas u literaturi ne nalazi dovoljan broj podataka koji se odnose na primenjivost zeolita za adsorpciju radionuklida iz rastvora. Da bi zeoliti našli i odgovarajuću praktičnu primenu u tehnologiji dekontaminacije radioaktivnih otpadnih voda, neophodno je potrebno da se upoznaju procesi i mehanizmi koji upravljaju sorpcijom radionuklida iz rastvora.

Medju sintetskim zeolitima koji su malo izučeni sa stanovišta sorpcije radionuklida iz rastvora je i AW-500. Osnovni cilj ovoga rada je da se ispitaju sorpciona svojstva različitih katjonskih oblika zeolita AW-500 i da se pokaže da li ovi mogu da se koriste za efikasno uklanjanje nekih radionuklida iz rastvora soli.

EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Eksperimenti su vršeni sa zeolitom AW-500 u obliku štapića prečnika 1/16", proizvod Linde Air Products Company, SAD. Odgovarajući katjonski oblici zeolita (Na- i Ca-oblik) dobiveni su metodom jonske izmene: uzastopno su dodavane nove zapremine 0,1 N natrijuma odnosno kalcijum hloridnih rastvora sve do potpunog zasićenja zeolita datim katjonom. Posle ispiranja bidestilovanom vodom i sušenjem na vazduhu uzorci su držani u eksikatoru nad zasićenim rastvorom amonijum-hlorida.

Sadržaj natrijuma i kalcijuma u zeolitu (kapacitet jonske izmene) odredjen je metodom izotopske izmene[2]. Pored ove metode primenjene su i metode plamene fotometrije za odredjivanje natrijuma, a kompleksometrijske titracije sa EDTA za kalcijum, za kapacitet jonske izmene sve metode dale su vrednost 2,2 meq/gr. Osnovne karakteristike upotrebljenih zeolita date su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne karakteristike upotrebljenih zeolita

| zeolit | $SiO_2/Al_2O_3$ | Tež.% veziva | kapacit. meq/gr | tež.% $H_2O$ | strukturni tip |
|---|---|---|---|---|---|
| Na-AW-500 | 4-5 | 25 | 2.2 | 20,5 | kabazit |
| Ca-AW-500 | 4-5 | 25 | 2.2 | 19,7 | " |

Literaturni podaci[3]

Od radionuklida korišćeni su $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$, bez nosača, proizvedeni u nuklearnom centru Amersham, Engleska. Koeficijenti raspodele Kd, odredjeni su za dvokomponentne sisteme tako što je jedna komponenta radionuklid cezijuma, stroncijuma ili kobalta, a druga natrijum ili kalcijum u koncentraciji od $1,0 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-1}$N pri vrednosti pH 6-7. Sorbenti su uvek bili u monojonskom obliku natrijuma ili kalcijuma. Svi eksperimenti vršeni su u statičkim uslovima, na sobnoj temperaturi $22 \pm 2^{o}C$. Vreme uspostavljanja ravnoteže prethodno je odredjeno i iznosilo je 4-5 dana.

Koeficijenti raspodele izračunavani su prema relaciji:

$$Kd = \frac{Io - Ir}{Ir} \times \frac{v}{m}, \text{ ml/gr}$$

gde su : Io i Ir relativne aktivnosti (Imp/min/ml) rastvora pre i posle ravnoteže; v- zapremina rastvora, ml; m- masa zeolita, gr.

REZULTATI I DISKUSIJA

Ravnoteža jonske izmene u dvokomponentnim sistemima može da se prikaže veoma jednostavno, ako je jedna komponenta u rastvoru prisutna u zanemarljivoj koncentraciji kao što je to slučaj radionuklida/4,5,6/. Kada je sorbent zasićen makrokomponentom, a njena koncentracija dovoljno visoka u rastvoru i pH konstantno, zakon o dejstvu masa može se napisati u obliku/5/:

$$K = Kd^{b} \left(\frac{c_B}{Q}\right)^{a} \qquad (1)$$

gde je : K - koeficijent selektivnosti za radionuklid i makrokomponentu,
Kd - koeficijent raspodele radionuklida , ml/gr
$c_B$ - koncentracija makrokomponente u rastvoru, meq/ml
Q - koncentracija makrokomponente u izmenjivaču, meq/gr
a i b - stehiometrijski koeficijenti makro - i mikrokomponente u jednačini ravnoteže.

U jednačini (1) koeficijenti aktivnosti nisu uzimani u obzir, pošto se radionuklidi nalaze u zanemarljivim koncentracijama, zeolit je praktično potpuno u Na- ili Ca- obliku, tako da je NaZ iCaZ = konst., pa je odnos koeficijenata aktivnosti u čvrstoj fazi $f_B^a/f_A^b$ /1/ konstantan, a u tečnoj fazi $_B^a/\ _A^b$ blizak jedinici za 1-1 i 2-2 valentnu izmenu, a približno konstantan za 1-2 i 2-1 valentnu izmenu /8,9/

Logaritmovanjem jednačine (1) dobija se jednostavna relacija za prikazivanje eksperimentalnih podataka:

$$\log Kd = D - \frac{a}{b} \log c \qquad (2)$$

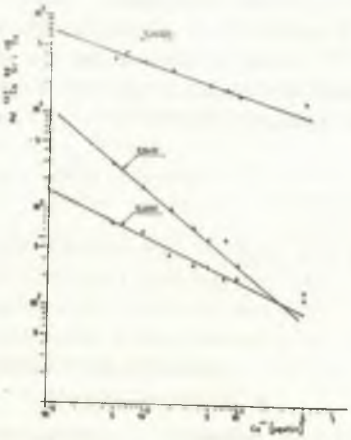
gde je : D = konst.

Ako eksperimentalni podaci zadovoljavaju jednačinu (2), t.j., u sistemu koordinata log Kd - log c daju pravu liniju sa odgovarajućim koeficijentom pravca koji je odredjen valentnošću jona koji se izmenjuju, tada se može reći da raspodela radionuklida sledi zakonitosti jonske izmene opisane jednačinom (1). U ovom slučaju nagibi pravca treba da su -1, -2, i -2 za $^{137}Cs$, $^{89}Sr$, i $^{60}Co$ kada je makrokomponenta natrijum , a -0,5, -1 i -1 kada je ista kalcijum.

Dobiveni eksperimentalni podaci prikazani su na sl. 1 i 2 . Ovi podaci pokazuju dosta visoku selektivnost AW-500 za cezijum za stroncijum i kobalt. Praktično ovo znači da je zeolit AW-500 pogodan za uklanja-

nje radionuklida cezijuma iz rastvora soli natrijuma i kalcijuma.

Sl. 1 - Zavisnost Kd na zeolitu AW-500 (Na-Oblik) od koncentracije $Na^{+}$, eqv/l
o - $^{137}Cs$, x - $^{89}Sr$, - $^{60}Co$



Sl. 2 - Zavisnost Kd na zeolitu AW-500 (Ca-oblik) od koncentracije $Ca^{++}$, eqv/l
o - $^{137}Cs$, x - $^{89}Sr$, - $^{60}Co$

Na slikama su označeni koeficijenti pravca datih prava, na osnovu kojih se može suditi o slaganju sorpcije radionuklida sa zakonom o dejstvu masa, na zeolitu AW-500 u odredjenoj oblasti koncentracije makrokomponente.

Iz sl. 1 i 2 se vidi da sorpcija cezijuma u oba slučaja može da se prikaže jednačinama (1) i (2). Odstupanja koeficijenta pravca od teorijskih vrednosti (na slikama vrednosti u zagradi) za slučaj stroncijuma i kobalta mogu se prihvatiti kod ovakvog načina interpretacije procesa gde se pošlo od relativno grubih pretpostavki. Razlike izmedju eksperimentalno dobivenih koeficijenata pravca i teorijskih kod cezijuma su nešto preko 10% tako da se za njegovu sorpciju može reći da je čisto proces izmene 1:1, odnosno 1:2 valentnih jona. Medjutim, raspodela radionuklida stroncijuma i kobalta predstavljena jednačinom (2) daje pravolinijsku zavisnost na sl. 1 i

2, ali koeficijenti pravca znatno odstupaju od teorijskih vrednosti za izmenu 2:1 i 2 : 2 valentnih jona.

S obzirom da se pH rastvora u ispitivanoj oblasti koncentracija vrlo malo menja (pH 6-7) teško se može prihvatiti objašnjenje Ščebetovskog[3] da se ovo odstupanje kod stroncijuma javlja verovatno kao posledica uticaja vodonikovih jona na izmenu natrijum-stroncijum. Svakako da ne bi trebalo zanemariti i uticaj nekih drugih faktora koji sigurno utiču na proces jonske izmene na zeolitima, kao što su struktura zeolita, jonski odnos, hidratisani prečnici jona koji se zamenjuju, kao mogućnost da se dvovalentni katjon vezuje kao - $MCl^-$ jon[9].

SUMMARY

The sorption of submicroquantities of $Cs^+$, $Sr^{++}$ and $Co^{++}$ from the solutions of sodium and calcium chlorides on the zeolite AW-500 has been studied. The results obtained indicate that the relative efficiency of AW-500 is highest for $Cs^+$ from both solutions. Concentration of NaCl and $CaCl_2$ varied from $1,0 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-1}$.

The results also show that only in the case of cesium the sorption follows the low of mass action.

REFERENCE

1) Brežnjeva N.E., Dementov V.D., Radiohimija, 12, 545 (1970)

2) Janković-Gaćinović O., Radovanov P., Gal I., Isotopenpraxis, 5,11/69,420

3) Ames L.L., Am. Mineral. 49, 127, (1964)

4) Ščebetovski V.N., Radiohimija, 10, 151, (1968)

5) Mercer B.V., BNWL-SA-1173 (1967)

6) Egorov J.V. at al., Radiohimija, 3, 87, (1961)

7) Nikolaev O.M. at al., Radiohimija 5, 32, (1963)

8) Amphlett C.B. and Mc Donald L.A., A.E.R.E. C/R 1702

9) Ames L.L., Am. Mineral., 49, 1099, (1964)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Ljiljana Knežević i Olga Janković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# SORPCIJA $Co^{++}$ NA ILITNIM GLINAMA

Ispitana je sorpcija $Co^{++}$ iz rastvora hlorida u statičkim uslovima na uzorcima dve vrste domaćih ilitnih glina sa rzličitih nalazišta,u prisustvu $Na^{+}$ i $Ca^{++}$.Rezultati su prikazani izotermama sorpcije Co-Na i Co-Ca pri ukupnoj koncentraciji katjona u rastvoru od $5.10^{-2}$N.

U našim ranijim radovima /1,2,3/ proučavana je sorpcija mikrokoličina $^{60}Co$ nailitnim glinama pri čemu je zaključeno da se $Co^{++}$ sorbuje složenim mehanizmom u zavisnosti od osobina sistema glina-rastvor.U ovom radu je proučena sorpcija makrokoličina $Co^{++}$ na ilitnim glinama u zavisnosti od njegovog ekvivalentnog udela u tečnoj fazi.Cilj rada je da se doprinese razjašnjavanju procesa sorpcije katjona na ilitnim glinama kao i zemljištima čija je glavna komponenta mineral ilit, a zakoju postoji potencijalna mogućnost da bude kontaminirana.

## Eksperimentalni postupak

Gline koje su korišćene u ovom radu,uzete su sa dva različita nalazišta.Prva vrsta, u daljem radu označena kao glina K, dobijena je iz nalazišta rudnika gline Koceljevo u zapadnoj Srbiji.Druga vrsta, u daljem tekstu označena kao glina V,uzeta je sa šireg područja Instituta "Boris Kidrič" u Vinči i predstavlja površinski sloj zemljišta sa dubine 0,1 - 1 m.Mineraloška analiza ispitivanih glina data je u Tabeli 1.

Za rad su korišćene gline sušene na vazduhu čiji je prečnik čestica bio do 1 mm.Kapacitet sorpcije glina određen je metodama izotopske izmene i zasićavanja /4/ i iznosio je 0,21 meq/gr za obe vrste gline.

Rastvori su imali uvek istu ukupnu koncentraciju katjona ( $Co^{++}$ + $Na^{+}$ ) i ( $Co^{++}$ + $Ca^{++}$ ) od $5.10^{-2}$N, dok su odnosi $Co^{++}$ : $Na^{+}$ i $Co^{++}$: $Ca^{++}$ bili promenljivi. Ravnotežna koncentracija $Co^{++}$ određena je preko radioaktivnog $^{60}Co$ koji je dodavan kao obeleživač. Koncentracije $Ca^{++}$ i $Na^{+}$ su izračunate.

Tabela 1

Mineraloški sastav glina

| | Glina K | Glina V |
|---|---|---|
| Glinovita frakcija | ilit 60% | ilit 55% |
| Primese glina | kaolinit<br>kvarc<br>feldspati | kvarc<br>organske materije |
| Primese u tragovima | oksidi teških metala | kalcijum karbonat, fosfat |

Odnos čvrste i tečne faze uvek je bio 1 gr : 20 ml. pH rastvora posle uspostavljanja ravnoteže kretao se u intervalu 7 - 8 za obe vrste glina. Eksperimenti su izvođeni na temperaturi $23 \pm 2^{o}$ C.

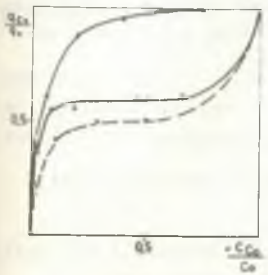
Prikazani rezultati prestavljaju srednju vrednost četiri probe. Vrednosti koje su odstupale više od 10% od srednje izmerene vrednosti su odbacivane.

## Rezultati i diskusija

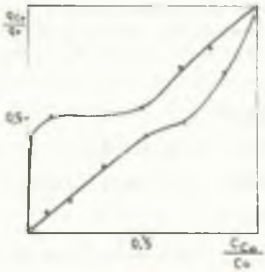
Rezultati sorpcije makrokoličina $Co^{++}$ u prisustvu $Na^{+}$ dati su izotermama sorpcije na sl. 1 i razlikuju se za dve vrste glina. Glina V je selektivna za $Co^{++}$ u celom intervalu koncentracija, dok je glina K selektivna samo za niže koncentracije $Co^{++}$. Za veće koncentracije $Co^{++}$, $Na^{+}$ veoma je konkurentan jon. Tretiranjem gline V sa HCl da bi se uklonile neorganske soli i sa $H_2O_2$ radi uklanjanja organskih materija, izoterma sorpcije na glini V dobija oblik i tok izoterme sorpcije na glini K, pa se može pretpostaviti da favorizovana sorpcija na glini V,

u delu izoterme za veće koncentracije $Co^{++}$, potiče usled sorpcije $Co^{++}$ na primesama ove gline.

Izoterma sorpcije $Co^{++}$ u prisustvu $Ca^{++}$ prikazana je na sl. 2 . I ovde se rezultati razlikuju za dve vrste gline. Za niske ekvivalentne frakcije $Co^{++}$ u rastvoru, sorpcija na glini V veoma je favorizovana u korist $Co^{++}$, dok je za veće ekvivalentne frakcije $Co^{++}$ u rastvoru nešto smanjena ali i dalje prioritetna. $Co^{++}$ i $Ca^{++}$ ravnopravno se sorbuju na glini K pri nižim vrednostima $C_{Co}/C_o$ , dok je pri višim vrednostima $C_{Co}/C_o$ sorpcija malo favorizovana u korist $Ca^{++}$.



Sl. 1 Izoterma sorpcije Co - Na



Sl. 2 Izoterma sorpcije Co - Ca

Na osnovu izotermi sorpcije makrokoličina $Co^{++}$ može se zaključiti da se njgova sorpcija na upotrebljenim glinama ne vrši samo mehanizmima jonske izmen i adsorpcije već i drugim procesima. Ovde je jonski proizvod/$Co^{++}$/x/$OH^-$/$^2$ za naše uslove eksperimenta, koncentraciju $Co^{++}$ od $5.10^{-3}$ - $5.10^{-2}$ N i pH = 7-8, veći od proizvoda rastvorljivosti $Co(OH)_2$ /5/, pa može doći do stvaranja kobalt hidroksida koji se mehanički sorbuje. S druge strane, pokazano je da glina može da izmenjuje katjone sa teško rastvornim solima /6/, ako se nalaze u obliku vodene suspenzije, pa efekat stvaranja hidroksida može da bude umanjen. Međutim, primese koje gline sadrže mogu takođe da reaguju sa kobaltom bilo da ga sorbuju ili grade sa njim teško rastvorno jedinjenje.

Upoređivanjem eksperimentalnih rezultata za dve vrste glina može se zaključiti da se $Co^{++}$ sorbuje na mineralu ilitu procesima jonske izmene i adsorpcije, dok se na primesama gline sorbuje razli-

čitim mehanizmima u zavisnosti od prirode primese.

S obzirom da se sorpcija $Co^{++}$ odvijala u slabo baznoj sredini a jonski proizvod jona kobalta i hidroksila bio veći od proizvoda rastvorljivosti $Co(OH)_2$,moglo je u većoj ili manjoj meri da dođe i do taloženja kobalta.Zbog ovako složene sorpcije $Co^{++}$ na ispitivanim glinama nisu mogle kvantitativno da se opišu njene zakonitosti.

SUMMARY

The sorption of $Co^{++}$ from chloride solution in the presence of $Na^{+}$ and $Ca^{++}$ has been studied under statical conditions on the two kinds of Yugoslavian clays taken from various sources.The results are presented by Co-Na and Co-Ca sorption isotherms at a total cation concentration of $5.10^{-2}$N.

Reference

1. Janković Olga,Knežević Ljiljana,IRPA/2/P.224 (1970)
2. Knežević Ljiljana,Janković Olga,IV jug. simp. o radiološ. zašt., 575(1969)
3. Knežević Ljiljana,Janković Olga, Naučno tenički pregled,7,21 (1971)
4. Cohen P. et al., Parametre d'equilibre du $^{90}Sr$ dans le sol de Saclay,C.E.A. (1959)
5. Pjatnicki I., Analitičeskaja himija kobalta,str 13,Izd "Nauka" Moskva,1965
6. Bradfield R., J. Phys. Chem., 36, 340-347,(1932)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

M.Pirš, M.Toplišek
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# SORPCIJA CEZIJA IN STRONCIJA NA INFUZORIJSKI ZEMLJI

Povzetek

Raziskana je bila sorpcija cezija in stroncija na infuzorijski zemlji. Določili smo kapaciteto na statičen in dinamičen način. Raziskali smo odvisnost kapacitete od koncentracije ravnotežne raztopine in pH.

## U V O D

Pri vedno strožjih zahtevah za varstvo okolja postaja tudi problem dekontaminacije radioaktivnih odpadnih vod vedno bolj pereč. Posebno nevarni so dolgoživi izotopi cezij 137 in stroncij 90. Stroncij se iz odpadnih vod v alkalnem mediju koprecipitira, cezij pa ostane v raztopini in kontaminira okoláco. Iz raztopin lahko odstranimo cezij na več načinov:

1. obarjanje s kobaltovim oziroma bakrovim ferocianidom. Ta način pa ima dve slabi lastnosti. Oborine se težko filtrirajo in reagenti so razmeroma dragi.
2. sorpcija na silikatnih glinah, bentonitu in tufu (1,2,3), ki sta razmeroma poceni materiala. Bentonit absorbira zelo dobro celo vrsto radionuklidov, njegova slaba lastnost pa je močno nabrekanje, ki uporabo v tehnične namene zelo otežkoča. Tuf te neprijetne lastnosti nima, zelo dobro veže cezij, nekoliko slabše pa stroncij in ostale fisijske lastnosti.

Absorpcijsko sredstvo, ki se v literaturi navaja (4,5) kot filtrirno sredstvo v plavnih filtrih (precoat filter) je tu-

di infuzorijska zemlja. Navadno se uporablja kot mehanični filter (6), vendar ima tudi sorpcijske lastnosti (4).

Ker so tudi v naši državi nahajačišča infuzorijske zemlje, ki ima po navedbah literature dobre dekontaminacijske lastnosti, smo skušali raziskati našo infuzorijsko zemljo predvsem glede na sorpcijo cezija.

## EKSPERIMENTALNI DEL

Infuzorijsko zemljo nam je dobavil Geološki zavod iz Skopja in sicer iz okolice Kičeva. Naravni vzorec je rjave barve, pri digeriranju s kislino postane bel. S predposkusi smo ugotovili, da so sorpcijske lastnosti naravnega vzorca boljše, kot če ga obdelamo s kislino. Zaradi tega smo infuzorijsko zemljo samo zdrobili, izprali z vodo, da odstranimo topne soli in posušili na zraku. Določili smo vlago in zemljo presejali. Delci, ki smo jih pri poskusih uporabili, so bili manjši kot 0,1 mm.

### Določitev kapacitete

Za določitev kapacitete smo uporabili metodo s stresanjem. Zatehtano množino infuzorijske zemlje 1 g smo stresali s 100 ml s Cs-137 markirane raztopine 1 uro. Nato smo vzorce pustili stati preko noči. Ravnotežje še ni bilo zvpostavljeno, vendar je razlika po 48 urah tako majhna, da ne pride v poštev. Popolnoma se ravnotežje ne vzpostavi niti v tednu dni. Iz razlike aktivnosti pred in po ravnotežju smo izračunali množino cezija, ki se je vezal na infuzorijsko zemljo.

Varirali smo koncentracijo Cs raztopine od tracerske množine do 0,1 N raztopine. Kapaciteta močno zavisi od koncentracije ravnotežne raztopine. Razen tega smo raztopini cezija dodajali tudi natrijev klorid v različnih koncentracijah. Vsak dodatek vpliva na množino absorbiranega cezija. Rezultati so razvidni iz tabele 1 in slike 1 in 2.

TAB. št. 1

Čista raztopina

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N Cs razt. začetna konc. | 0,1 | 0,01 | $1.10^{-3}$ | $5.10^{-4}$ | $1.10^{-4}$ | $1.10^{-5}$ |
| vezani Cs mekv/g | 0,9 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | $8.10^{-3}$ | $8.10^{-4}$ |
| N Cs razt. po ravnotežju | $9,1.10^{-2}$ | $9,2.10^{-3}$ | $6.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ | $2.10^{-5}$ | $2.10^{-6}$ |

Poskusi v 0,01 N NaCl

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N Cs razt. začetna konc. | 0,1 | 0,01 | $1.10^{-3}$ | $5.10^{-3}$ | $1.10^{-4}$ | $1.10^{-5}$ |
| vezani Cs mekv/g | 0,4 | 0,06 | 0,023 | 0,02 | $4,6.10^{-3}$ | $5.10^{-4}$ |
| N Cs razt. po ravnotežju | $9,6.10^{-2}$ | $9,4.10^{-3}$ | $9,4.10^{-3}$ | $7,8.10^{-4}$ | $5,4.10^{-5}$ | $5.10^{-6}$ |

Poskusi s $10^{-3}$ N Cs in različno konc. NaCl in $CaCl_2$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| N NaCl | 0,1 | 0,01 | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ |
| vezani Cs mekv/g | $1,2.10^{-2}$ | $2,2.10^{-2}$ | $2,2.10^{-2}$ | $2,2.10^{-2}$ |
| N Cs razt. po ravnotežju | $8,8.10^{-4}$ | $7,8.10^{-4}$ | $7,8.10^{-4}$ | $7,8.10^{-4}$ |
| N $CaCl_2$ | | 0,01 | 0,001 | $1.10^{-4}$ |
| vezani Cs mekv/g | | 0,014 | 0,012 | 0,016 |

Kapaciteta infuzorijske zemlje Cs v mekv/g

V sliki 1 je na ordinati navedena množina mekv Cs, ki se vežejo na 1 g infuzorijske zemlje. Na abscisi pa je navedena koncentracija Cs raztopine. Razvidno je, da prisotnost tujih soli kapaciteto infuzerijske zemlje zniža. Znižanje je manjše pri $CaCl_2$, kar je podano v sliki 2, kjer smo $10^{-3}$ N Cs raztopini dodali NaCl in $CaCl_2$ navedenih koncentracij.

V dosti slabši meri zavisi kapaciteta od pH. Najvišja je okoli nevtralne točke, proti kislemu ali alkalnemu področju pa pada. Rezultat je razviden iz slike 3.

Stroncij se na infuzorijsko zemljo veže zelo slabo. Iz čistih raztopin stroncija 89 (tracerska koncentracija) se veže v nevtralnem in kislem mediju do pH 4 ccà 40 % dodane aktivnosti. V alkalnem mediju pH 8-9 se absorpcija poveča na ccà 60 %. Če pa vzamemo trdo vodo 11 $NT^o$ in jo naalkalimo z $Na_2CO_3$ na pH 8,5, pade aktivnost na ccà 20 %. Iz navedenih podatkov lahko sklepamo, da se stroncij na infuzorijski zemlji slabo absorbira. V alkalnem mediju pa nastopa v trdi vodi še koprecipitacija in zaradi tega o absorpciji ne moremo več govoriti.

Poskusili smo določiti učinkovitost infuzorijske zemlje tudi na dinamičen način. V ta namen smo aktivno raztopino Cs-137 filtrirali pod majhnim podpritiskom, preko nuče ø 6,5 cm, na katero smo naplavili različne množine infuzorijske zemlje. Aktivna raztopina se pri prehodu dekontaminira 99 do 99,8 %, ko doseže debelina plasti infuzorijske zemlje določeno vrednost. Rezultat je razviden iz slike 4.

Kot je razvidno iz slike 4, se raztopina Cs-137 dekontaminira skoraj popolnoma pri 0,06 do 0,08 $g/cm^2$ infuzorijske zemlje, debelina plasti ccà 2 mm.

Določitev probojne kapacitete: Za določitev probojne kapacitete infuzorijske zemlje smo izbrali nučo ø 6,5 cm in na njo naplavili 5 g infuzorijske zemlke = 0,16 $g/cm^2$, debelina plasti ccà 5 mm. Z rahlim podpritiskom smo pustili teči preko infuzorijske zemlje raztopino Cs-137 tracerske koncentracije s pretokom 15 ml na minuto. Vzorce smo merili na vsakih 500 ml. Aktivni raztopini smo nato dodali še NaCl. Množino $Cs_A$ ki se je vezala na infuzorijsko zemljo, smo izrazili s $K = \frac{A_z - A_k}{A_k} \cdot 100$ %, kjer pomeni $A_z$ začetna aktivnost, $A_k$ pa končna.

Aktivnost čiste raztopine zelo počasi narašča ter doseže pri ccà 10 l 10 % začetne aktivnosti. Pri dodatku NaCl pa doseže isto vrednost pri 3 l ter narašča zelo strmo. Rezultat je naveden v sliki 5.

Pri filtriranju aktivne raztopine tracerske koncentracije preko plasti infuzorijske zemlje ne moremo govoriti o kapaciteti. Probojno kapaciteto smo določili na ta način, da smo $10^{-2}$ in $10^{-3}$ N s Cs-137 markirano raztopino filtrirali preko infuzorijske zemlje pod zgoraj navedenimi pogoji. Markirani raztopini smo dodali 0,1 in 0,01 N raztopino NaCl ter merili prepuščeno aktivnost. Rezultati so navedeni v sliki 6.

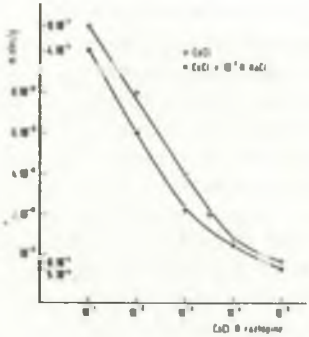
Če primerjamo kapaciteto infuzorijske zemlje določene na statičen način z vrednostmi, ki jih dobimo na dinamičen način, vidimo, da je vrednost kapacitete po filtrirni metodi za 2 do 3 krat večja. Infuzorijska zemlja se torej obnese dosti boljše kot filtrirno sredstvo kot pa če jo uporabimo kot absorpcijski dodatek. Razen tega je sorpcija vsaj v začetku 100 %, medtem ko je sorpcija pri stresanju cca 85 %.

Summary

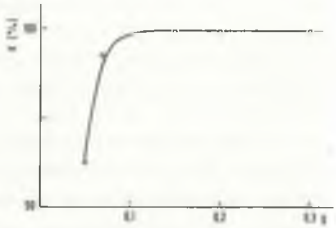
The sorption of caesium and strontium on infusorial earth was investigated. The capacity on the static and dynamic way was determined. The influence of strange ions, the dependance of the capacity of the concentration of the solution in equilibrium was investigated.

Bibliografija

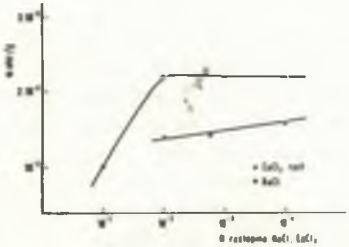
1. Poročilo NIJS 1966
2. Poročilo NIJS-DP-269
3. Poročilo NIJS-DP-165
4. Heide R., Chemiker-Zeitung 75, 516 u. 539 (1951)
5. Kramer W., Weinbau, Wissenschaftliche Beihefte 5, 1 (1951)
6. Heitmann Dr. H.G., Aufbereituntgstechnik 12 (1971) 5, 281-284, Abwasseraufbereintung in Kernkraftwerken.



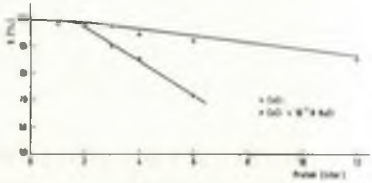
Slika 1



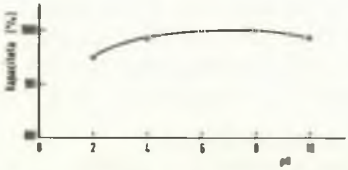
Slika 4



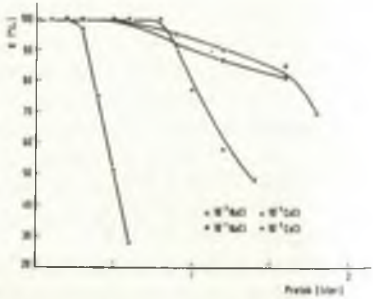
Slika 2



Slika 5



Slika 3



Slika 6

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

M.Pirš, N.Toplišek
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# KINETIKA IONSKE IZMENJAVE NA NARAVNIH IONSKIH IZMENJALCIH

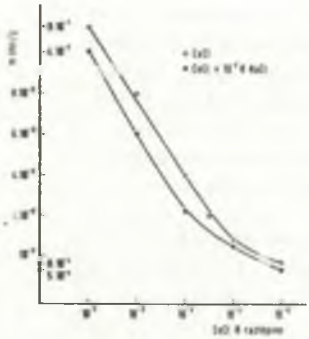
Povzetek

Raziskana je bila kinetika ionske izmenjave na dveh vzorcih bentonita in na tufu iz Zaloških goric. Izmerjena je bila hitrost lastne difuzije iz izmenjalcev v raztopino in obratno. Iz teh podatkov so bili izračunani koeficienti lastne difuzije za cezij in stroncij pri 25°C. .

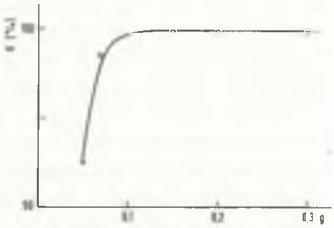
## U V O D

Učinkovitost procesa ionske izmenjave zavisi v glavnem od dveh faktorjev: kapaciteta in hitrost izmenjave. Literatura navaja za sintetske kationske izmenjalce vrsto člankov, kjer avtorji navajajo, da je izmenjalna hitrost odvisna od kemične reakcije (1,2) in prispevke, kjer avtorji navajajo, da zavisi hitrost izmenjave od difuzijskih procesov (3,4,5,6).

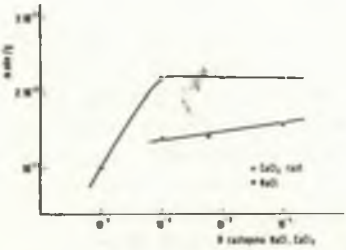
Pri ionski difuziji ločimo dva tipa difuzije: difuzija v filmu (film diffusion) in difuzija v delcu (particle diffusion). Pri difuziji v filmu prehajajo ioni skozi koncentracijski gradient, ki nastane v raztopini na površini ionsko izmenjalnega delca, medtem ko je difuzija v delcu potovanje ionov skozi polimerno strukturo izmenjalca. Konstanta hitrosti pri difuziji v filmu je nezavisna od narave ionsko izmenjalnega polimera in je odvisna od



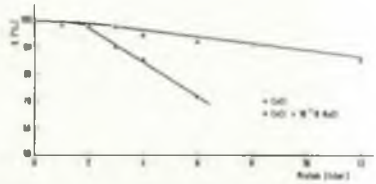
Slika 1



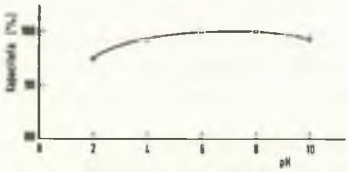
Slika 4



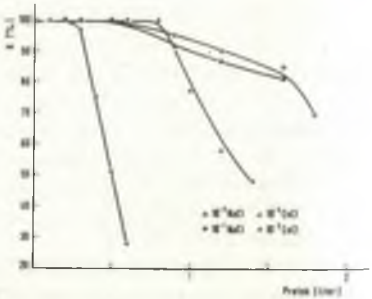
Slika 2



Slika 5



Slika 3



Slika 6

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

M.Pirš, N.Toplišek
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# KINETIKA IONSKE IZMENJAVE NA NARAVNIH IONSKIH IZMENJALCIH

Povzetek

Raziskana je bila kinetika ionske izmenjave na dveh vzorcih bentonita in na tufu iz Zaloških goric. Izmerjena je bila hitrost lastne difuzije iz izmenjalcev v raztopino in obratno. Iz teh podatkov so bili izračunani koeficienti lastne difuzije za cezij in stroncij pri 25°C. .

## U V O D

Učinkovitost procesa ionske izmenjave zavisi v glavnem od dveh faktorjev: kapaciteta in hitrost izmenjave. Literatura navaja za sintetske kationske izmenjalce vrsto člankov, kjer avtorji navajajo, da je izmenjalna hitrost odvisna od kemične reakcije (1,2) in prispevke, kjer avtorji navajajo, da zavisi hitrost izmenjave od difuzijskih procesov (3,4,5,6).

Pri ionski difuziji ločimo dva tipa difuzije: difuzija v filmu (film diffusion) in difuzija v delcu (particle diffusion). Pri difuziji v filmu prehajajo ioni skozi koncentracijski gradient, ki nastane v raztopini na površini ionsko izmenjalnega delca, medtem ko je difuzija v delcu potovanje ionov skozi polimerno strukturo izmenjalca. Konstanta hitrosti pri difuziji v filmu je nezavisna od narave ionsko izmenjalnega polimera in je odvisna od

difuzijskih koeficientov v raztopinah elektrolitov. Difuzija v delcu pa je neodvisna od zunanje raztopine, zavisi pa od narave in ionske sestave v izmenjalcu. Oba tipa difuzije pa sta zavisna od naboja, ki se izmenjuje. (7).

Za naravne ionske izmenjalce literatura ne navaja podatkov, razen za bentonite (8,9), kjer so avtorji določili difuzijske koeficiente za 8 kationov. Vendar avtorji ne navajajo niti kemične niti mineraloške sestave bentonita, kar pa je po našem mnenju neobhodno potrebno, ker bentonit ni kemično enotna snov, ampak vsebuje različne množine različnih mineralov.

Namen tega dela je bil določiti difuzijske koeficiente za dolgožive radioizotope Cs-137 in Sr-89 na tufu in bentonitu. Rezultati teh raziskav pa nam omogočajo približno oceniti čas, v katerem bi radioizotopi prešli preko stene iz tufa, s katero bi eventualno zagradili vstop odpadne radioaktivne vode v talno vodo oziroma vodovodna zajetja. Poleg tega nam podatki o hitrosti izmenjave omogočajo določitev pretoka skozi filtre, v katerih uporabljamo tuf in bentonit kot adsorpcijsko sredstvo.

Meritve za določevanje koeficientov lastne difuzije iz izmenjalcev v raztopino smo izvajali na ta način, da smo vzorce tufa in bentonitov z markiranimi raztopinami prevedli v Cs oz. Sr obliko ter nato mešali v posodi z elektrolitom iste vrste kot je v izmenjalcih. V časovnih presledkih smo merili naraščajočo aktivnost v raztopini. Za določevanje koeficientov lastne difuzije iz raztopine v izmenjalec pa smo tuf in bentonite prevedli v Cs in Sr obliko in nato mešali v aktivni raztopini Cs in Sr ter v časovnih presledkih merili padajočo aktivnost raztopine. Koeficiente lastne difuzije smo izračunali po enačbi, ki sta jo uvedla Boyd in Soldano (10,11):

$$F = (\omega+1)/\omega\{1-(1/(\alpha-\beta))[\alpha e^{\alpha^2\tau}(1+\mathrm{erf}\,\alpha\sqrt{\tau}-\beta e^{\beta^2\tau}(1+\mathrm{erf}\,\beta\sqrt{\tau}]\}$$

kjer sta $\alpha$ in $\beta$ korena enačbe $X^2 + 3\omega X - 3\omega = 0$

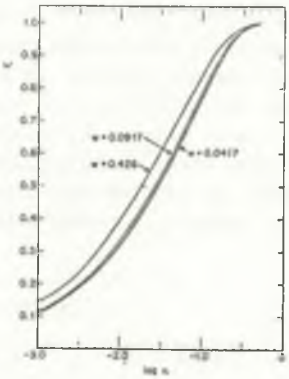
Ta enačba je bila izpeljana za transport iz izmenjalca v raztopino, za okrogle delce, ki imajo v začetku enakomerno porazdelitev aktivnega protiiona, če je ta potopljen v neaktivno raztopino elektrolita, ki se meša. Rešitev enačbe je podana v sliki 1, kjer je podan F:log$\tau$ za različne vrednosti w.

F = aktivnost raztopine v času t/aktivnost raztopine v ravnotežju.

w = razmerje mekv ionov v tufu in mekv ionov v raztopini. Določili smo ga na ta način, da smo izmerili aktivnost raztopine v ravnotežju z izmenjalcem. Difuzijski koeficient izračunamo po enačbi:

$$D = \frac{a^2 \tau}{t}$$

a = premer delcev izmenjalca
τ = izračunamo iz slike 1 za vsako izmerjeno vrednost F.



Slika 1

EKSPERIMENTALNI DEL

Tuf, ki smo ga izbrali za naše poskuse je sestavljen (12): montmorilonit 9,1 %, kremen 11,2 %, kristobalit 1,3 %, ostalo je klinoptilolit in heulandit. Kapaciteta v 0,1 N raztopini CsCl znaša o,9 mekv/g. Bentonit A je pretežno zemljoalkalijskega tipa, ki ne nabreka, bentonit B pa je pretežno alkalijski tip bentonita, ki močno nabreka in je uporaben samo na statičen način.

Vzorce smo najprej zmleli, presejali ter izprali z vodo. Za določitev difuzijske hitrosti smo uporabili pri tufu delce med 0,1-0,15, in 0,2-0,25 mm, pri bentonitih pa delce med 0,15-0,20 mm. Z mikroskopsko analizo smo ugotovili, da je velikost delcev približno enakomerno porazdeljena. Za premer smo vzeli srednjo vrednost. Tuf in bentonit smo nato prevedli v Cs in Sr obliko; za določitve difuzijske hitrosti iz izmenjalca v raztopino z markiranimi raztopinami za določitve iz raztopine v izmenjalec pa z neaktivnimi raztopinami. Aktivnost tufa oz. bentonita, ki se je vezala na 1 g vzor-

ca je znašala ccà 10 000 imp/min. Po 2 g tufa smo nato dali v čašo, nalili 50 ml vode, postavili v termostat na 25°C ter vključili mešalec. Ko se je temperatura izenačila, smo odvzeli 5 ml vzorca ter izmerili ozadje; nato pa dodali 55 ml 0,02 N raztopine Cs oz. Sr. Meritve smo začeli, ko je izteklo ccà 25 ml raztopine. Odvzemali smo po 5 ml raztopine, filtrirali in merili aktivnost. Iz vsake zatehte smo vzeli raztopino za dve meritvi, nato smo pripravili novo zatehto. Za vzpostavitev ravnotežja smo čakali 10 dni. Primer za D Cs iz raztopine v izmenjalec je podan v tabeli 1.

TABELA 1

| Čas sek | F | D $cm^2 sek^{-1} 10^{-7}$ |
|---|---|---|
| 15 | 0,56 | 4,5 |
| 30 | 0,44 | 1,4 |
| 60 | 0,61 | 1,4 |
| 180 | 0,75 | 0,7 |
| 300 | 0,79 | 0,35 |
| 600 | 0,78 | 0,23 |
| 1200 | 0,83 | 0,17 |

D $cm^2/sek^{-1}$ srednja vrednost $1,26.10^{-7}$

a = 0,125 mm (w = 1,8)

Hitrost lastne difuzije: Cs ion v 0,01 N raztopini

Iz tabele 1 je razvidno, da vrednosti difuzijskega koeficienta padajo s časom. To smo opazovali pri vseh določitvah. Pač pa ni nobene razlike v vrednosti difuzijskega koeficienta, če spremenimo debelino zrn. Večje razlike pa nastopajo med vrednostmi difuzijskih koeficientov iz raztopine v izmenjalec in iz izmenjalca v raztopino. Rezultati so navedeni v tabeli 2.

Izračunane vrednosti koeficientov lastne difuzije približno odgovarjajo vrednostim, ki sta jih Boyd in Soldano dobila za ista iona na Dowex-u 50 X8 in X4 (10).

TABELA 2

| Izmenjalec | Ion | Sistem | D $cm^2 sek^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| Tuf | Cs | v izmenjalec | $1,26.10^{-7}$ |
| Tuf | Cs | iz izmenjalca | $0,36.10^{-7}$ |
| Bentonit A | Cs | v izmenjalec | $1,6 .10^{-7}$ |
| Bentonit A | Cs | iz izmenjalca | $0,5 .10^{-7}$ |
| Bentonit B | Cs | v izmenjalec | $1,1 .10^{-7}$ |
| Bentonit B | Cs | iz izmenjalca | $0,2 .10^{-7}$ |
| Tuf | Sr | v izmenjalec | $0,8 .10^{-7}$ |
| Tuf | Sr | iz izmenjalca | $0,6 .10^{-7}$ |
| Bentonit A | Sr | v izmenjalec | $1,1 .10^{-6}$ |
| Bentonit A | Sr | iz izmenjalca | $0,8 .10^{-7}$ |
| Bentonit B | Sr | v izmenjalec | $6,0 .10^{-7}$ |

Koeficienti lastne difuzije cezija in stroncija v tufu in bentonitu

Določitev difuzijskih koeficientov pri naravnih materialih pa ima tudi vrsto pomanjkljivosti.

1. Tuf ni kemično enotna snov, njegova sestava precej niha. V primeru, da slabo izperemo montmorilonit, se rezultati spremenijo, ker lastna difuzija v montmorilonitu poteka hitreje (8).
2. Model, po katerem smo računali difuzijske koeficiente, je bil uveden za okrogle delce. Delci tufa niso okrogli. Premer delcev smo sicer določili precej natančno, vendar je tu treba računati z 10-15 % napako.
3. Pri tufu ne nastopa samo ionska izmenjava, ampak tudi adsorpcija in eventualno tudi obarjanje. Verjetno je prav tu vzrok razmeroma velikim razlikam med vrednostmi difuzijskih koeficientov pri začetnih in končnih merjenjih.

Summary

The kinetic of ion exchange in natural ion exchangers tuf and two types of bentonites from Zaloške gorice was investigated.

The rate of self-diffusion from the exchanger in the solution and from the solution in the exchanger was measured. From the obtained data the coefficients of self-diffusion for Cs and Sr at 25°C were calculated.

Literatura

1. Nachod F.C. and Wood W., J.Am.Chem.Soc., 66, 1380 (1944)
2. Juda W. and Carron M., J.Am.Chem.Soc., 70, 3295 (1948)
3. Boyd G.E. et al, J.Am.Chem.Soc., 69, 2836 (1947)
4. Bauman W.C. and Eichorn J., J.Am.Chem.Soc., 69, 2830 (1947)
5. Kressman T.R.E. and Kitchener J.A., Faraday Society Discussions, 7, 90 (1949)
6. Hale D.K. and Reichenberg D., J.Am.Chem.Soc., 7, 79 (1949)
7. Boyd G.E. et al, J.Am.Chem.Soc., 72, 4807 (1950)
8. Bloksma A.H., J.Colloid Sci., 12, 40 (1957)
9. Gast R.G., J.Colloid Sci., 17, 492 (1962)
10. Boyd G.E. and Soldano B.A., J.Am.Chem.Soc., 75, 6091 (1954)
11. Boyd G.E. and Soldano B.A., J.Am.Chem.Soc., 75, 6099 (1954)
12. Držaj B. et al, Rudarsko-Metalurški zbornik, 1, 37, (1969).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid, 25. do 28. april 1972.

Bojović T., B. Pejušković, M. Milovanović

Higijensko-hemijski institut, Higijenski zavod VMA, Beograd

# UTICAJ GEOMETRIJE UZORKA PRI MERENJIMA KONTAMINACIJE NEKIM FISIONIM PRODUKTIMA NA PRL

Prikazan je odnos odbroja beta aktivnih uzoraka u zavisnosti od količine uzorka u planšeti. Dobijeni rezultati pokazuju da je odbroj zavisan od debljine uzorka. Laboratoriju je moguće koristiti, uz odgovarajuće korekcije, i onda kada se ne raspolaže sa dovoljnom količinom uzorka.

## Uvod

Za preduzimanje mera zaštite od kontaminacije radioaktivnim česticama, neophodno je utvrdjivanje stepena kontaminacije. Uvid u kontaminiranost je moguće ostvariti merenjem beta aktivnosti fisionih produkata u uzorcima. Ova merenja mogu se efikasno izvoditi metodom debelog uzorka.

C i l j ovih merenja i ispitivanja je da se sagleda zavisnost odbroja od nivoa /količine/ uzorka u planšeti. Time se proverava mogućnost merenja aktivnosti u uzorcima sa nedovoljnom količinom, a što se posebno odnosi na uzorke biološkog humanog materijala i ekskreta.

## Tehnika i metode merenja

Za merenje beta aktivnosti u debelom uzorku korišćena je pokretna radiološka laboratorija /PRL/, proizvodnje Instituta za nukle-

arne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, namenjena za ove svrhe.

Merena je aktivnost u uzorcima vode, šećera i brašna, koji su predhodno kontaminirani sa $^{141}Ce$.

Pripremljeni uzorci vode imali su aktivnost od 31, 76 i 157 uCi/lit. Od ovako spremljenih uzoraka odmeravano je po 9 proba, koje su sadržavale od 2 do 10 ml vode u uzorku.

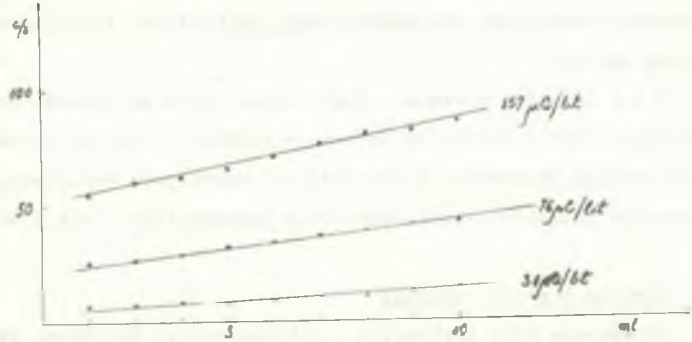
Čvrsti uzorci šećera i brašna, takodje su kontaminirani sa $^{141}Ce$. Kontaminacija ovih uzoraka izvršena je na sledeći način: osnovni rastvor $^{141}Ce$ u količini od 13 uCi/ml nanet je na po 2 g talka. Posle sušenja talk je pomešan sa po 100 g šećera i brašna i dobro homogenizovan u plastičnoj kesi. Napravljeni uzorci imali su sledeće aktivnosti:

- brašno - 130, 259, i 325 uCi/kg;
- šećer - 90, 143 i 248 uCi/kg.

Od ovako pripremljenih uzoraka odmeravane su probe u planšete od 2 do 10 g i nakon toga aktivnost je merena.

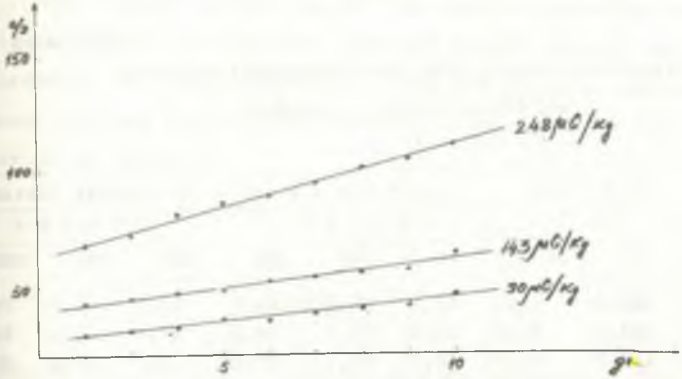
Rezultati i diskusija

U dijagramima 1, 2. i 3. dobijeni su odbroji /c/s/ u zavisnosti od količine /nivoa/ uzorka u planšeti.

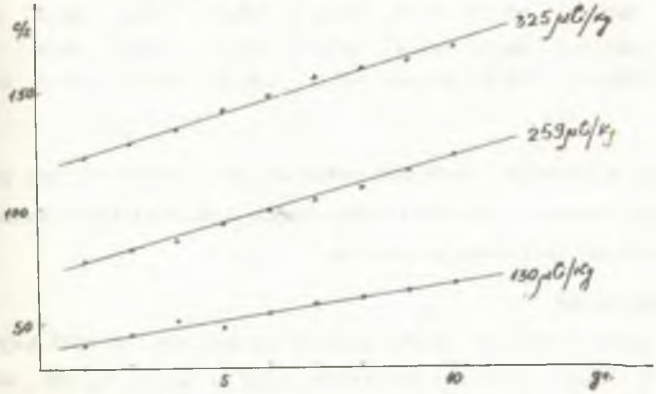



Dijagram 1. - Uzorci vode

Iz prikazanog dijagrama se vidi, da uzorci sa istim nivoom aktivnosti, sa povećanjem količine uzorka od 2 do 10 g povećavaju i odbroje. Sa veoma malim odstupanjima, taj prirast je na dijagramima za sva tri merena artikla linearan.




Dijagram 2. - Uzorci šećera




Dijagram 3. - Uzorci brašna

U tabeli 1. prikazan je procentualni odnos odbroja u c/s za pojedine aktivnosti u odnosu na količinu izmerenog uzorka. Kao osnova - "etalon" uzeti su uzorci kod kojih su svi geometrijski i merni zahtevi zadovoljeni i iznose 100%. Pri smanjivanju količine uzorka u planšeti smanjuje se procentualno i odbroj.

Tabela 1.

Pregled procenta odbroja u zavisnosti od nivoa /količine/ uzorka u planšeti

| gram /ml/ | Uzete aktivnosti u uCi/kg /litar/ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | voda | | | šećer | | | brašno | | |
| | 31 | 76 | 157 | 90 | 143 | 248 | 130 | 259 | 325 |
| 2,0 | 49,9 | 58,1 | 61,2 | 64,1 | 65,8 | 61,4 | 61,3 | 63,0 | 74,7 |
| 3,0 | 50,9 | 61,9 | 67,2 | 67,0 | 69,5 | 64,4 | 67,6 | 68,9 | 78,2 |
| 4,0 | 57,5 | 68,0 | 70,0 | 70,3 | 74,4 | 72,4 | 77,3 | 70,4 | 81,9 |
| 5,0 | 58,0 | 75,5 | 74,1 | 75,9 | 75,6 | 76,9 | 79,3 | 76,7 | 86,9 |
| 6,0 | 64,6 | 81,0 | 79,7 | 76,9 | 82,0 | 79,6 | 82,2 | 81,0 | 90,5 |
| 7,0 | 70,1 | 86,8 | 85,9 | 82,9 | 85,0 | 85,0 | 87,6 | 84,3 | 95,4 |
| 8,0 | 72,9 | 92,7 | 92,1 | 86,7 | 88,3 | 90,3 | 90,8 | 89,2 | 96,7 |
| 9,0 | 89,8 | 101,0 | 90,7 | 89,4 | 88,9 | 94,0 | 94,7 | 95,0 | 97,2 |
| 10,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Ova zapažanja i dobijeni rezultati mogu koristiti pri proračunu nivoa aktivnosti u uzorku i kada uzorak poslat na ispitivanje nije bio u količini dovoljnoj za analizu.

Zaključak

I manje količine uzorka poslate na analizu, od onih koje su geometrijom i drugim uslovima propisani, mogu se meriti na PRL. Merni rezultati dobijeni na ovaj način moraju se korigovati u procentualnoj zavisnosti od odbroja i količine uzorka. Pri oceni stepena kontaminacije uzorka svi navedeni uslovi se trebaju kritički sagledavati.

## INFLUENCE OF SAMPLE GEOMETRY IN CONTAMINATION MEASUREMENTS OF FISSION PRODUCTS BY FIELD RADIOLOGICAL LABORATORY

The relation of counting of beta activ samples to its quantity in planchet is presented. Obtained results showed that counts are dependet on the sample thickness. Field radiological laboratory can beuset applying the adequate correction even then when sample quantity is not enough.

## LITERATURA

1. Šmelcerović M., R. Ilić, S. Mudeka: Merenje aktivnosti fisionih produkata metodom debelog uzorka, Rad pripremljen za VI Simpozijum Jug. društva za zaštitu od zračenja, 25. do 28. IV 1972, Ohrid.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila

M. Zarić, A. Matijašić, B. Stojanović
Institut " Boris Kidrič ", Vinča

# KONTAMINACIJA METALNIH SPREGOVA

Ispitivana je kontaminacija metala i metalnih spregova sa $Co^{60}$. Uticaj sprega na kontaminaciju je vrlo izrazit. Na osnovu toga, zaključeno je da pod odredjenim uslovima kontaminacija metalnih površina zavisi ne samo od adsorpcije nego i od galvanskih efekata.

## 1.Uvod

Podaci o kontaminaciji metalnih spregova i lokalnih ćelija su dosta retki.[1.2.] Uticaj sprega aluminijum-nerdjajući čelik na kontaminaciju spregnutih metala i docniju dekontaminaciju tih metala posmatran je i našem ranijem radu.[3.]

S obzirom da delovanje galvanskih spregova i lokalnih ćelija pokazuje odredjeni uticaj na kontaminaciju tj. da katodno anodne reakcije spregova i lokalnih ćelija mogu da predstavljaju jednu od komponenata složenog procesa kontaminacije metalnih površina u vodenim rastvorima, postoji interes da se ova pojava detaljnije proučava.

U ovom radu proučavana je kontaminacija makro spregova (ćelija) koji nastaju medjusobnim spajanjem aluminijuma, bakra, duraia i nerdjajućeg čelika kao i kontaminacija navedenih metala bez medjusobnog komtakta, u vodenim rastvorima koji su sadržavali $Co^{60}$.

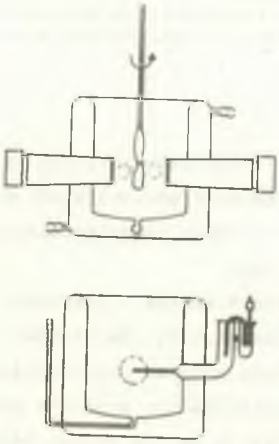
## 2.Eksperimenat

Materijal i priprema uzorka. Za ispitivanje su upotrebljeni sledeći materijali: aluminijum ( 99,99 % ), bakar ( 99 % ), dural ( Al + 6 % Cu ) i nerdjajući čelik ( 1H18N9T )*

* proizvod SSSR-a

Uzorci su bili kružnog oblika ( Ø 25 mm ), debljine o,5 mm. Površine uzoraka bile su polirane mehanički do visokog sjaja i odmašćene u Soxlet-ovom aparatu smeso etanol-aceton ( 5o:5o % vol.) a zatim ekstrakcionim benzinom.

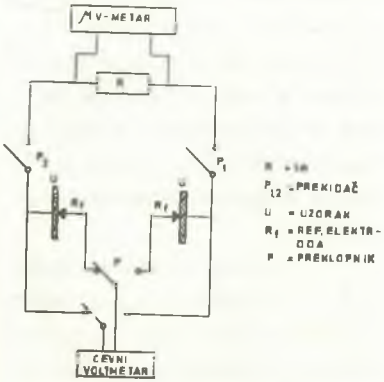
Rastvori za kontaminaciju. Za kontaminaciju uzoraka upotrebljavan je $Co^{6o}$ sa nosačem u obliku $Co(NO_3)_2$ u rastvoru azotne kiseline, sa specifičnom aktivnošću od 35,5 Ci/gr Co. Od navedenog rastvora pravljeni su rastvori za kontaminaciju kod kojih je koncentracija kobalta iznosila $1.68.10^{-8}$ M a merena aktivnost oko 4ooo i/ ml min.



Sl.1.Aparatura za merenje kontaminacije.

Postupak ispitivanja. U toku ispitivanja mereni su: kontaminacija uzoraka, potencijal uzoraka u odnosu na zasičenu kalomelovu elektrodu, i struja sprega. Zapremina rastvora iznosila je oko 35o ml a pH 4.8; 7 i 9.5, koji je podešavan rastvorom natrijumhidroksida. Sva ispitivanja izvršena su na sobnoj temperaturi. Kontaminacija uzoraka je izvršena u aparaturi prikazanoj na slici br.1. Merenje potencijala metala i struje sprega izvršeno je za vreme kontaminacije, prema šemi na slici br.2.

Kontaminacija i merenje potencijala i struje sprega trajalo je 3o minuta kod svakog pojedinačnog merenja. Posle tog vremena posuda se naglo praznila tako što je kroz otvor na dnu, rastvor prevodjen u drugi sud koji je bio evakuisan. Izvadjeni uzorci su ispirani i sušeni na filter papiru.Aktivnost uzoraka merena je na GM-brojaču sa efikasnošću od oko 5 % za $Co^{6o}$.



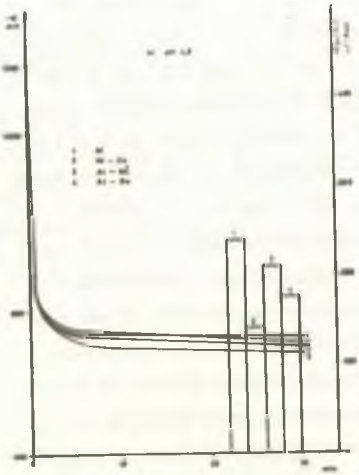

Sl.2. Šema za merenje potencijala i struje sprega.

3.Rezultati i diskusija.Dobijeni rezultati ilustrovani su slikama 3-6 i tablicom br.1. Kontaminacija izmerena na kruju ogleda i izražena brojem impulsa po uzorku, data je u obliku stubastih dijagrama za metale koji nisu bili u spregu i za spregnute metale. Uporedo sa kontaminacijom, prikazana je vremenska zavisnost potencijala metala, samih i u spregu. Promene struje sprega sa vremenom navode se u tablici br.1. Sve navedene veličine dobijene su za pH 4.8; 7 i 9.5.

3.1. Zavisnost kontaminacije od pH. Kontaminacija aluminijuma, bakra i nerdjajućeg čelika, samih ili u spregu, povećava se sa porastom pH rastvora, kao što je prikazano na slikama 3-5. Ovo zapažanje je uopšte uzev u skladu sa poznatim rezultatima o kontaminaciji metala.[4,5.] Od navedenog odstupa ponašanje durala, samog i u spregu, kod koga je kontaminacija na pH 4.8 veća od kontaminacije na pH 7. Uzrok veće kontaminacije kod nižeg pH svakako leži u izrazito elektrohemijski heterogenoj površini durala tj. u pojavi mikrogalvanskih ćelija i depoziciji kobalta na mikrokatodama pod datim uslovima.

3.2. Uticaj sprega na kontaminaciju. Uticaj sprega na kontaminaciju navedenih metala vrlo je uočljiv i izrazit je naročito kod viših pH. U principu, visina kontaminacije zavisi od toga da li je metal katodni ili anodni deo sprega.

U postojećim spregovima aluminijum je bio anodni deo



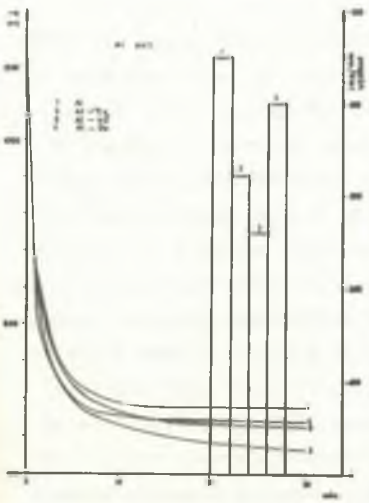
Sl.3. Kontaminacija i potencijal kod nespregnutog i spregnutog aluminijuma, pH 4.8

sprega, usled čega je dolazilo do smanjenja depozicije kobalta na aluminijum. Kontaminacija aluminijuma koji nije bio u spregu, u svim slučajevima je veća od kontaminacije aluminijuma koji je bio u spregu sa jednim od navedenih metala, slike 3-5.

Ovakvo ponašanje aluminijuma u spregu unosi nov faktor u postojeća shvatanja da je kontaminacija aluminijuma posledica adsorpcije kobalta na hidroksidnim ili oksihidratnim filmovima koji nastaju kod kontakta metala sa rastvorom.[4.5.] Naime, nastajanje ovih filmova na aluminijumu u spregu je intenzivnije nego na samom aluminijumu, što se može zaključiti iz krivih potencijal-vreme, prikazanih na slikama 3-5. Povecana količina aluminijumhidroksida ili oksihidrata trebalo bi da dovede i do veće kontaminacije, ukoliko se radi o čistoj adsorpciji. Medjutim, našim eksperimentima dobijeno je upravo suprotno. Ovo ukazuje da osim adsorpcije važnu ulogu kod kontaminacije aluminijuma imaju katodno-anodne reakcije na površini metala.

Kontaminacija spregnutog bakra je po pravilu uvek veća od kontaminacije bakra koji nije bio u spregu. Ovo je razumljivo s obzirom da su površine bakra u spregovima predstavljale katodni deo sprega, izuzev kod sprega sa nerdjajućim čelikom kod pH 4.8.

Kontaminacija nerdjajućeg čelika u spregu sa aluminijumom i duralom bila je veća dok je kontaminacija u spregu sa bakrom bila nešto manja od kontaminacije samog nerdjajućeg čelika, kao što se vidi sa slike br.6.



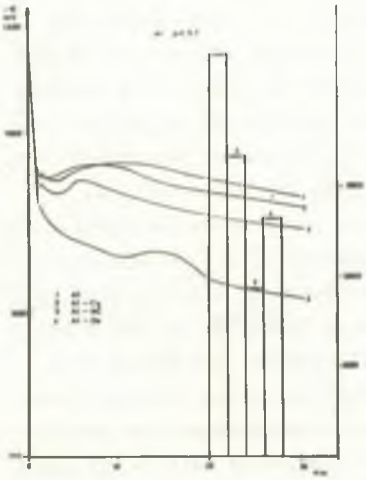
Sl.4. Kontaminacija i potencijali kod spregnutog i nespregnutog aluminijuma, pH 7

Razlika kontaminacije durala u spregu u odnosu na dural koji nije spregnut, može da bude pozitivna ili negativna a u zavisnosti od toga da li je dural katodni ili anodni deo sprega. Medjutim, rezultati dobijeni za dural u spregu sa nerdjajućim celikom kod pH 4.8 odstupaju od navedenog. Iz krivih potencijal-vreme, izlazi da je nerdjajući čelik katodni deo sprega i da preme tome treba očekivati smanjenje kontaminacije na duralu. Ovo odstupanje može se protumačiti pojavom sekundarnih reakcija na ppvršini durala u spregu, koji se ustvari sastoji od tri elektrode: aluminijum-bakar-nerdjajuci čelik.

3.2.1. Zavisnost kontaminacije od potencijala. Zavisnost kontaminacije od potencijala metala zapaža se uglavnom u okviru istog pH, kao što se može videti sa slika 3-6. Po pravilu, kontaminacija je utoliko veća ukoliko je potencijal metala, koji se uspostavlja posle odredjenog vremena, negativniji. Medjutim, ako se uporede kontaminacije i potencijali kod ispitivanih pH, vidi se da je kontaminacija kod pH 7 veća od kontaminacije kod pH 4.8 i pored toga što su vrednosti potencijala kod pH 7 pozitivnije, slike 3-5.

Ova pojava može se objasniti povečanom adsorpcijom kobalta u neutralnoj sredini uz istovremeno delovanje elektrohemijskih faktora, koji se ispoljavaju kroz postojeće razlike u visini kontaminacije, spregnutih i nespregnutih površina. Kod pH 9.5, zavisnost izmedju visine kontaminacije i potencijala je vrlo izrazita, slike br. 5 i 6.

U slučaju durala takodje postoji izvesna zavisnost visi-

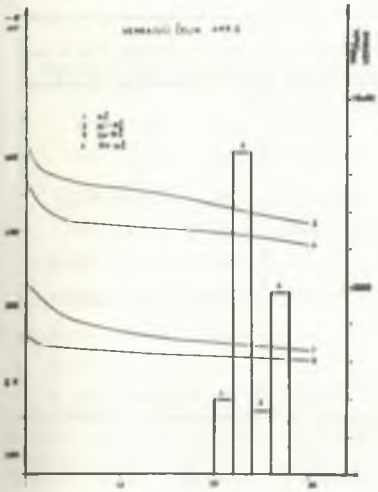


Sl.5. Kontaminacija i potencijali kod spregnutog i nespregnutog aluminijuma, pH 9.5

snost visine kontaminacije od potencijala ali nije tako jasno izražena kao kod predhodno navedenih metala. I kod durala dolazi do veće kontaminacije kod negativnijih potencijala mada se mogu registrovati i odstupanja. Kod pH 4.8, krive potencijal-vreme za dural u spregu sa nerdjajućim čelikom i bakrom imaju prilično složen oblik tako da je teško odabrati bilo kakvu vrednost potencijala za komparaciju kontaminacije. Krive potencijal-vreme za dural u spregu sa nerdjajućim čelikom i bakrom kod pH 9.5, ukazuju da bi odnos visina kontaminacije trebalo da bude obrnut od onoga što je nadjeno eksperimentom. Uzrok za ovo odstupanje verovatno je delovanje mikrospregova na samoj površini durala.

3.2.2. Zavisnost kontaminacije od struje sprega. Kod rasmatranja vrednosti struje spregova, Tablica br.1., može se utvrditi kvalitativna zavisnost izmedje promene kontaminacije spregnutih metala, u odnosu na same metale, i struje sprega, opet u okviru istog pH. Medjutim, može se zaključiti da ukupna kontaminacija nije samo funkcija registrovane struje.

Kvalitativni odnos izmedju promene visine kontaminacije i struje sprega može se zapaziti i kod durala sa napomenom da ima odstupanja kao na primer kod sprega sa nerdjajućim čelikom kod pH 4.8.



Sl.6. Kontaminacija i potencijali kod spregnutog i nespregnutog nerdjajućeg čelika, pH 9.5

4.Zaključak. Kod ispitivanja kontaminacije odabranih metala i njihovih spregova, mogu se zapaziti nekoliko zajedničkih pojava, bez obzira što se radi o metalima sa različitim karakteristikama.

Prvo, kontaminacija metala,sa - mih ili u spregu, povećava se sa porastom pH rastvora, sa izuzetkom durala.

Drugo, uticaj galvanskog sprega na kontaminaciju je uočljiv i vrlo izrazit. Kontaminacija metala koji nisu bili u spregu razlikuje se od kontaminacije istog metala koji je bio u spregu.

Treće, zavisnost visine kontaminacije i potencijala postoji uglavnom u okviru istog pH. Po pravilu kontaminacija je veća ukoliko je potencijal metala, koji se uspostavlja posle odredjenog vremena, negativniji. Kod različitih pH vrednosti,mogu se zapaziti veće kontaminacije kod pozitivnijih potencijala. Ova pojava se može objasniti povečanom adsorpcijom kobalta u neutralnoj sredini.

Četvrto, postoji odredjeni kvalitativni odnos izmedju promene visine kontaminacije i struje sprega, opet u okviru istog pH. Uopšte uzev, najveće promene kontaminacije su u spregovima kod kojih su struje sprega najveće. Medjutim, ukupna kontaminacija nije funkcija struje sprega.

Iz navedenog proizilazi da osim adsorpcije, važnu ulogu kod kontaminacije metalnih površina u vodenim rastvorima imaju i elektrohemiski faktori.

Tablica 1.

Vrednosti za struje sprega u $\mu$A

| pH | 4.8 | | | 7 | | | 9.5 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spreg | Al-Cu | Al-NC | Al-DU | Al-Cu | Al-NC | Al-DU | Al-Cu | Al-NC | Al-DU |
| vreme | | | | | | | | | |
| o' | 34.5 | 28.2 | 21 | 25.7 | 31 | 16.6 | 41 | 34 | 23 |
| 1' | 18.4 | 18.5 | 8.6 | 16.8 | 17 | 11 | 3o.5 | 24.3 | 18 |
| 3' | 15.4 | 11 | 5.4 | 11.8 | 12 | 5.3 | 26.2 | 17.6 | 19 |
| 5' | 15 | 1o | 4.7 | 1o.3 | 9 | 2.6 | 25 | 16.3 | 2o |
| 1o' | 14 | 8.8 | 3.8 | 8.6 | 8 | 1.3 | 24 | 14.3 | 21.5 |
| 15' | 13.3 | 8.8. | 3 | 7.8 | 7 | 1.5 | 22.8 | 13.6 | 22 |
| 2o' | 13.3 | 9 | 2.9 | 7.5 | 7 | 1.4 | 21.5 | 12.6 | 21.5 |
| 25' | 13.1 | 9.2 | 2.9 | 6.4 | 6 | o.8 | 2o.2 | 12 | 21.5 |
| 3o' | 13.1 | 9.2 | 3.2 | 6.3 | 7 | o.7 | 19.8 | 11 | 2o.5 |


Abstract

CONTAMINATION OF METAL COUPLES

Contamination of metals and of metal couples with $Co^{6o}$ has been studied. The effect of coupling on metal contamination was very expressive.It was concluded that under certain conditions, the contamination of metal surfaces depends not only on adsorption but also on galvanic effects.


Literatura


1. Simnad T., Prop.of Met.Surf.,Inst.of Met.,Monogr.13,1953,London
2. Mellish C.E.,Payne A.,Radiochim.Acta,7,1967,2/3,153
3. Zarić et al.,Dekontaminacija aluminijuma.ner.čelika i njihovog sprega.,IV Jug.Simp.o Radiol.Zašt.,Baško Polje,1969
4. Siejka J.,Campbell J.,U.N.Proc.Sec.Int.Conf.,Vol.2o,Geneva,62.
5. Herczinska E.,Adsorption of ions from aqueous solutions on metal surfaces., Inst.Badan Jadrowych Rep.634/v/c,Warszava.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

KELLO D. i KOSTIAL K.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU,
Zagreb, Moše Pijade 158.

# UTJECAJ MLIJEKA NA APSORPCIJU RADIOAKTIVNOG OLOVA IZ PROBAVNOG TRAKTA

Apsorpcija olova-203 iz probavnog trakta šest tjedana starih štakora bila je nešto viša u životinja koje su pored normalne štakorske hrane primale i mlijeko. Retencija radioaktivnog olova u tijelu štakora, koji su bili na isključivo mliječnoj hrani bila je čak 50 puta viša nego u životinja na standardnoj hrani.

Poznato je da mnogobrojni izvori u životnoj okolini čovjeka mogu sudjelovati u ulazu radioaktivnog olova u ljudski organizam (1, 2). Mnogi objavljeni radovi ukazuju da način ishrane igra važnu ulogu u apsorpciji olova iz probavnog trakta i njegovoj retenciji u organizmu (3, 4). Kako je mlijeko poznato kao klasični protektor u olovnoj toksikologiji, u našem smo radu istraživali koliko se radionuklida olova-203 apsorbiralo iz probavnog trakta i zadržalo u organizmu štakora, kojima smo davali mlijeko u različitom obliku.

U pokusu smo imali četiri grupe šest tjedana starih ženki bijelog štakora, držanih na različitim hranama u razdoblju od dva tjedna. Dok je kontrolna grupa hranjena standardnom štakorskom hranom, druga grupa je uz istu takvu hranu umjesto vode dobivala kravlje mlijeko, treća samo kravlje mlijeko, a četvrta je grupa uz običnu vodu dobivala i mlijeko u prahu. Svaka životinja je sedmog

dana pokusa primila jednokratnu oralnu dozu od 10 uCi olova-203 pomoću sonde. Šestog dana nakon aplikacije izmjerili smo aktivnost cijelog tijela životinja, čime smo ustanovili koliki se dio oralne doze olova apsorbirao i zadržao u organizmu životinja hranjenih različitim hranama. Aktivnost cijelog tijela životinja određivali smo pomoću dvokristalnog scintilacijskog brojača.

Rezultati koje smo dobili, nedvojbeno ukazuju da su životinje koje su dobivale u hrani mlijeko u bilo kojem obliku, apsorbirale iz probavnog trakta više olova od onih iz kontrolne grupe. Dok je količina apsorbiranog olova kod životinja hranjenih uz standardnu štakorsku hranu i kravljim mlijekom bila samo nešto viša od one kod kontrolne grupe, životinje hranjene samo mlijekom u prahu ili običnim kravljim mlijekom apsorbirale su mnogo veću količinu olova. Tako je grupa životinja hranjenih samo kravljim mlijekom apsorbirala iz probavnog trakta preko 50 puta više radioaktivnog olova od životinja hranjenih standardnom štakorskom hranom.

Imajući u vidu dobivene rezultate i činjenicu da se čitava jedna dobna skupina populacije hrani uglavnom mlijekom, možemo shvatiti potencijalnu opasnost koja proizlazi iz takvog specifičnog svojstva mlijeka.

The influence of a milk diet on the absorption and retention of lead-203 was studied in 6 week old female rats. The addition of milk to a normal rat diet caused only a slight increase in the body retention of radioactive lead. The retention values in rats fed on the milk diet only were about 50 times higher than in rats fed the normal diet.

1. BARLTROP D., Postgrad. Med. J., 45, 129 (1969).
2. PEIRSON D.H., CAMBRAY R.S., SPICER G.S., Tellus, 18, 427 (1966).
3. MILEV N., SATTLER E.L., MENDEN E., Medicin und Ernährung. 11, 29 (1970).
4. CARR T.E.F., NOLAN J., DURAKOVIĆ A., Nature, London, 224, 1115 (1969).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid, 25. do 28. april 1972.

B. Pejušković, Bojović T., Nikolić O., Toković B., Milovanović I.

Higijensko-hemijski institut, Higijenski zavod VMA, Beograd

# MOGUĆNOSTI R-DEKONTAMINACIJE NEKIH SANITETSKIH SREDSTAVA

Prikazani su rezultati R-dekontaminacije sanitetske opreme koja se koristi za pružanje medicinske pomoći, a koja je predhodno kontaminirana radioaktivnom prašinom aktivnosti 0,28 mCi/g. Za dekontaminaciju su korišćene metode koje se izvode pomoću namenskih i priručnih sredstava u poljskim uslovima. Postignuti efekat dekontaminacije kod svih predmeta, sem kožnih, bio je relativno dobar i kreće se od 78,7 do 99,9%. Efekat je bio bolji posle primljene 0,5% rastvora deterdženta i ispiranja sa vodom. Dobijeni rezultati, obzirom da se radi o površini opreme /pakovanju leka/, mogu da zadovolje u vanrednim /ratnim/ uslovima.

Za pružanje medicinske pomoći koja se vrši u svim uslovima borbenih dejstava, pa i u uslovima kontaminacije radioaktivnom prašinom, neophodna je ispravna /nekontaminirana/ sanitetska oprema. Zbog toga i dekontaminacija sanitetskih sredstava, uz dekontaminaciju povredjenih postaje značajna aktivnost u delokrugu rada zdravstvenih radnika.

Sanitetska oprema je sastavljena od različitih materijala, te se zbog toga nejednako ponaša na različite dekontaminacione postupke. Pored toga, oblik - reljefnost predmeta utiču na efikasnost dekontaminacije.

Cilj ispitivanja je: da se sagleda efikasnost R-dekontaminacije sanitetske opreme, koja se koristi za pružanje pomoći povredjenim, pomoću namenskih sredstava; da se proveri mogućnost dekontaminacije opreme pomoću priručnih sredstava u poljskim uslovima i da se vide

mogućnosti dekontaminacije zavojnog materijala i lekova.

## Materijal i metode

Kao kontaminant korišćena je sintetička radioaktivna prašina, koja je kao obeleživač sadržavala Ce-141, a neaktivnu komponentu /nosač/ - zemlju. Ce-141 je izabran zbog toga što se u znantnom procentu nalazi u fisionim produktima N-eksplozije /6%/. Osobine radioaktivne prašine približno odgovaraju karakteristikama folauta nastalog posle površinske N-eksplozije. Čestice radioaktivne prašine bile su prečnika 1 - 150 mikrona, specifične težine 2,51 i aktivnosti 0,28 mCi/g.

Kontaminirana je sledeća sanitetska oprema: sanitetske torbe i vreće, obojeni kompleti - sanduci /od plastike, drveta i pleha/, nosila, prvi i abdominalni zavoji i neka pakovanja lekova. Navedena oprema je kontaminirana u kućici površine od 10 $m^2$, količinom od 10 $g/m^2$. Raspršivanje sintetičke radioaktivne prašine vršeno je pumpom odozgo. Nastojalo se da se oprema ravnomerno kontaminira u položaju maksimalne ekspozicije. Posle kontaminacije opreme i sedimentacije radioaktivne prašine u trajanju od 18 - 20 časova, vršena je dekontaminacija.

Ispitivanja su vršena u letnjim mesecima /juni, juli/ koje karakterišu: dnevne temperature od 18 - 31$^{o}$C, brzina strujanja vazduha od 30 do 90 m/min. i relativna vlažnost od 72 do 84%.

Korišćene su sledeće metode dekontaminacije i sredstva:

- dekontaminacija suvom metlom;
- dekontaminacija suvom metlom + ispiranje vodom;
- dekontaminacija vodom i tuš četkom;
- dekontaminacija 0,5% vodenim rastvorom deterdženta /"Albus"/ + ispiranje vodom.

Od priručnih sredstava korišćena su ona koja su nadjena na

terenu - poligonu, i u zavisnosti od toga primenili metode:

- istresanje štapom /platneni kompleti/;
- istresanje i čišćenje metlom od granja;
- čišćenje pomoću gužve sena i
- brisanje pomoću gužve trave.

Dekontaminaciju lekova /bočice penicilina, pakovanja ampula i tableta/, vršili smo prebrisavanjem sa vlažnim sundjerom.

Merenje nivoa kontaminacije na površini predmeta i stepena dekontaminacije, vršeno je pomoću monitora zračenja KOMO-T sa halogenim GM brojačem. Mera intenziteta zračenja je broj impulsa u jedinici vremena /sek./, a merni opseg se kreće od 0 do 1.000 imp./sek. Sva merenja su vršena na rastojanju GM sonda - merna površina od 1 cm. Merna mesta su unapred bila odredjena za svaki ispitivani predmet, pri čemu se vodilo računa da merne tačke budu na mestima sa kojima korisnici opreme dolaze najviše u kontakt. Broj mernih tačaka se kretao od 4 do 10. Merenje je vršeno posle kontaminacije i posle svakog dekontaminacionog postupka. Svaki dekontaminacioni tretman ponavljan je više puta, tako da rezultati prikazani u tabeli predstavljaju srednje vrednosti najmanje tri puta ponovljenog postupka.

Rezultati dobijeni merenjem početne i preostale aktivnosti na mernim tačkama izraženi su relativnim pokazateljima u vidu procenta skinute aktivnosti /% SA/ i faktora dekontaminacije /FD/. Procenat skinute aktivnosti izračunat je po formuli:

$$\% SA = \frac{Ap-Ak}{Ap} \times 100, \text{ gde je:}$$

Ap = početna aktivnost
Ak = krajnja aktivnost

Faktor dekontaminacije izračunat je po formuli: $FD = \frac{Ap}{Ak}$.

Na kraju je izračunata srednja vrednost procenta skinute aktivnosti i faktora dekontaminacije.

Zdravstveno obezbedjenje i zaštita lica angažovanih na ovom radu vršeno je na uobičajeni način koji se primenjuje u radovima na dekontaminaciji, uz strogo respektovanje podele i režima rada, lične zaštite, dozimetrijske kontrole i sl.

## Rezultati i diskusija

U tabeli je izneto kretanje srednjih vrednosti procenta skinute aktivnosti u odnosu na primenjeno sredstvo i metode dekontaminacije, kao i vrstu sanitetske opreme.

Rezultati prikazani u prvom delu tabele odnose se na metode dekontaminacije kada su korišćena namenska sredstva za dekontaminaciju, a koja se obično koriste za čišćenje i pranje. Vidi se da procenat skinute aktivnosti više zavisi od vrste materijala iz koje je komplet izradjen, nego od primenjenog metoda dekontaminacije, mada i on igra značajnu ulogu. Najslabije rezultate dekontaminacije dobili smo kod kožne torbe, koji se kreću od 42,0 do 98,3%, a najbolje kod obojenih tvrdih kompleta od 82,0 do 99,9%. Platneni kompleti su u sredini sa procentom skinute aktivnosti od 77,9 do 99,7%. Najbolja metoda u dekontaminaciji je postignuta upotrebom 0,5% vodenog rastvora deterdženta i ispiranja sa vodom a najslabija je čišćenje suvom metlom.

Kod prvih i abdominalnih zavoja /20 kom./, čišćenje radioaktivne prašine sa površine zavoja uklonjeno je 96,7% do 98,8% aktivnosti. Kada smo skinuli platneni sloj zavoja, na drugom - gumenom platnu aktivnost je uglavnom bila ista. Tek skidanjem gumiranog platna uspeli smo da aktivnost skinemo na nivo fona, tj. unutrašnji sadržaj je bio čist - nekontaminiran.

Iz ovih rezultata, isključujući kožne predmete, možemo zaključiti da je efekat dekontaminacije primenom namenskih sredstava dobar. Takav zaključak ne bi sledio za komplete, ako bi bili mokri pri dekontaminaciji. Naša ispitivanja su pokazala da se na nekim mer-

nim tačkama vlažnih kompleta procenat skinute aktivnosti povećao čišćenjem metlom i granjem.

Sa lekova, koje smo prebrisavali vlažnim sundjerom, uspeli smo da uklonimo od 95 do 99,1% aktivnosti. Posle pažljivog otvaranja pakovanja i vadjenja leka, kontrolnim merenjem, nismo otkrili kontaminiranost leka tj. unutrašnjost pakovanja.

Najzad, rezultati ovih ispitivanja su pokazali da je moguća radiološka dekontaminacija sanitetske opreme u poljskim /ratnim/ uslovima, uz korišćenje namenskih i priručnih sredstava za dekontaminaciju.

SUMMERY

Sanitary means, used for medical treatment, were contaminated with radioactive particles of 0,28 mCi/g. For the decontamination the procedures have been used with usual means and other means on the spot.

A relative good results of decontamination were achieved in all abjects, but not from leather. The decontamination achieved 78,7 - 99,9%. Especially good results have been obtained using 0,5% of solution of detergents in water with after-washing with water. Such results are satisfactory in emergency, war conditions.

LITERATURA

1. Blagojević R., A. Matijašević: Dekontaminacija velikih površina, radovi II Jugosl. simpoz. o rad. zaštiti, 441-454, Mostar, 1963.
2. Jelić Lj., I. Cavrić: Dekontaminacija pamučnih tkanina, radovi II Jugosl. simpoz. o rad. zaštiti, 425-430, Mostar, 1967.
3. Kalajdžić H., A. Radivoj, Lj. Jelić i dr.: Mesna i priručna sredstva za RH dekontaminaciju, ITMZ, HISO-127, 1967.
4. Ristić D., M. Brajović: Uloga i značaj radiološke dekontaminacije u sklopu zaštite od oružja za masovno uništavanje, INVI, Beograd,1970.
5. Pejušković B., B. Toković, O. Nikolić, T. Bojović, M. Milovanović: Radiološka dekontaminacija sanitetske opreme u poljskim uslovima, Vojnosanit. Pregl., 28:7-8, 349 - 352, 1971.

Tabela: REZULTATI R-DEKONTAMINACIJE SANITETSKIH SREDSTAVA

| SREDSTVA I METODE DEKONTAMINACIJE | Procenat skinute aktivnosti sa sanitetske opreme | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Platneni kompleti | Tvrdi obojeni kompleti | Kožni kompleti /torba/ | Prvi i abdominalni zavoji |
| **Namenska sredstva:** | | | | |
| Čišćenje suvom metlom | 78,7 - 99,1 | 83,6 - 99,2 | 42,0 - 85,3 | 96,7 - 98,9 |
| Čišćenje metlom + voda | 77,9 - 99,7 | 82,0 - 99,6 | 77,9 - 88,2 | - |
| Dekont. vodom i tuš četkom | 94,7 - 99,7 | 97,7 - 99,8 | 84,7 - 96,7 | - |
| Dekont. 0,5% rastvorom deterdženta + ispiranje vodom | 97,8 - 99,6 | 98,1 - 99,9 | 91,4 - 98,3 | - |
| **Priručna sredstva** | | | | Lekovi - pakovanja |
| Istresanje štapom | 88,2 - 99,1 | - | - | - |
| Čišćenje metlom od granja | 86,0 - 99,5 | 87,8 - 99,6 | - | - |
| Brisanje gužvom sena | - | 88,6 - 99,6 | - | - |
| Brisanje gužvom trave | - | 91,5 - 99,4 | - | - |
| Prebrisavanje vlažnim sundjerom | - | - | - | 95,5 - 99,1 |

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid, 25. do 28. april 1972.

B. Pejušković, T. Bojović, S. Stojadinović, M. Milovanović

Higijensko-hemijski institut, Higijenski zavod VMA, Beograd

# ODREDJIVANJE AKTIVNOSTI U BIOLOŠKOM MATERIJALU KONTAMINIRANOM NEKIM IZOTOPIMA, METODOM DEBELOG UZORKA

Ukazuje se na mogućnost i način odredjivanja aktivnosti u humanom biološkom materijalu i ekskretima metodom debelog sloja pomoću PRL. Jednostavnost pripreme uzoraka, merenje i izračunavanje specifične aktivnosti, te brzina merenja u trajanju od 5 do 6 minuta, preporučuju ovu laboratpriju u dijagnostici interno kontaminiranih povredjenih i obolelih u vanrednim i ratnim uslovima.

Interna kontaminacija ljudstva u akcidentalnim, a posebno u ratnim uslovima, predstavlja problem u radu zdravstvenih ustanova pri zbrinjavanju povredjenih. Direktna detekcija interne kontaminacije pomoću brojača za celo telo je moguća u specijalizovanim ustanovama i ne može se na nju računati u svakodnevnoj rutinskoj praksi. Prikladnije su indirektne metode detekcije interne kontaminacije, koja se sastoji u analizi humanih ekskreta. U svetu su razradjene razne metode za odreajivanje radionuklida u biološkom materijalu i izradjeni osetljivi merni instrumenti za registrovanje niskih aktivnosti. Veći problem predstavlja interpretacija dobijenih mernih rezultata, što nije predmet ovog rada. Za to je potrebno poznavanje metabolizma, depozicije i eliminacije svakog elementa i na osnovu toga davanje procene kontaminacije i stepena oštećenja zdravlja kontaminiranog.

U ovom kratkom izlaganju, ograničili smo se na iznošenje mogućnosti dijagnostike interne kontaminacije radionuklidima nastalih u procesu nuklearne eksplozije. Pri izboru metoda za dokazivanje interne kontaminacije u vanrednim i ratnim uslovima, računamo na one, koje će nam dati što brže i pouzdanije rezultate. Ovakav uslov postavlja potreba brze trijaže i dijagnostike povredjenih - kontaminiranih, kao i mere zbrinjavanja. Ovo je posebno značajno za masovne kontaminacije ljudstva bez obzira na nastali put i način interne kontaminacije. Pored toga, sprovodjenje profilaktičko-medicinskih mera, kao i procenjivanje efikasnosti primenjene terapije, zahteva praćenje eliminacije radionuklida iz organizma. To se najbolje postiže odredjivanjem aktivnosti u ekskretima. Poznato nam je, da svi, ili skoro svi izotopi nastali kao fisioni produkti N eksplozije, eliminišu se iz organizma preko bubrega i organa za varenje. Prema tome, ispitivanjem ovih medija, u mogućnosti smo da potvrdimo ili ne prisutnost radionuklida. Ovo je naročito značajno za one izotope koji su u radiotoksikologiji značajni, a to su: $^{90}Sr$, $^{137}Cs$, $^{131}J$ i dr.

Od ekskreta koji se najčešće koriste u dijagnostici su: mokraća, izmet, izbljuvak i ispljuvak. Pored toga, može se uzeti i krv, koja kao transporter radionuklida od mesta ulaska do depozicije i od mesta depozicije do mesta eliminacije sadrži ih, u zavisnosti od brojnih faktora, kraći ili duži vremenski period.

Za sudsko-medicinsku ekspertizu, naročito kod procene radijacionih oštećenja, tj. udruženih povreda /sa kontaminacijom/, mogu se koristiti organi i tkiva u kojima su deponovani izotopi.

Materijal i metode merenja

Za proveru mogućnosti brze detekcije aktivnosti u ekskretima i biološkom materijalu, koristili smo mogućnosti koje pruža prenosna radiološka laboratorija /PRL/, proizvodnje Instituta za nuklearne

nauke "Boris Kidrič" - Vinča. Ova laboratorija omogućava merenje aktivnosti u debelom uzorku, odredjivanje specifične aktivnosti /uCi/kg/, kao i merenje starosti fisionih produkata u uzorku.

Od humanog materijala uzimali smo uzorke krvi i urina od bolesnika koji su primali $^{131}J$ u dijagnostičke svrhe. Krv smo uzimali 3 do 6 minuta, a urin 1 do 4 časa posle ubrizgavanja $^{131}J$.

Od laboratorijskih životinja /pacova/, koje su kontaminirane sa $^{137}Cs$, uzeli smo nakon 1/2 časa /posle žrtvovanja/: bubreg, jetru i mišiće.

Uzete uzorke smo pripremili na taj način što smo zadovoljili geometriju merenja, stavljajući uzorak u okrugle posudice prečnika 40 mm, a dubine 10 mm. Nije bilo potrebe za složeniju pripremu uzorka.

Rezultati i diskusija

U tabelama 1. i 2. izneseni su rezultati merenja aktivnosti u uzorcima biološkog materijala, metodom merenja debelog sloja. Izračunata je i specifična aktivnost u mikrokiriima na litar.

Vidljivo je da je kod relativno nižih aktivnosti, od onih koje očekujeno u eventualnom ratu, mož mo ovom metodom dobiti merne rezultate. Ako tome dodamo potrebno vreme za pripremu i merenje uzorka, kao i izračunavanje specifične aktivnosti, koje ukupno traje 5 do 8 minuta, onda vidimo da je ovom metodom postignut i drugi kvalitet, tj. brzina.

Zaključak

U zaključku se može definisati da odabrana metoda merenja u debelom uzorku i merna tehnika u PRL, omogućuju uspešno korišćenje ove laboratorije za merenje aktivnosti u biološkom materijalu. Na taj način je omogućena relativno brza dijagnostika interne kontaminacije u sistemu zbrinjavanja povredjenih i obolelih u vanrednim i ratnim uslovima.

U ovom kratkom izlaganju, ograničili smo se na iznošenje mogućnosti dijagnostike interne kontaminacije radionuklidima nastalih u procesu nuklearne eksplozije. Pri izboru metoda za dokazivanje interne kontaminacije u vanrednim i ratnim uslovima, računamo na one, koje će nam dati što brže i pouzdanije rezultate. Ovakav uslov postavlja potreba brze trijaže i dijagnostike povredjenih - kontaminiranih, kao i mere zbrinjavanja. Ovo je posebno značajno za masovne kontaminacije ljudstva bez obzira na nastali put i način interne kontaminacije. Pored toga, sprovodjenje profilaktičko-medicinskih mera, kao i procenjivanje efikasnosti primenjene terapije, zahteva praćenje eliminacije radionuklida iz organizma. To se najbolje postiže odredjivanjem aktivnosti u ekskretima. Poznato nam je, da svi, ili skoro svi izotopi nastali kao fisioni produkti N eksplozije, eliminišu se iz organizma preko bubrega i organa za varenje. Prema tome, ispitivanjem ovih medija, u mogućnosti smo da potvrdimo ili ne prisutnost radionuklida. Ovo je naročito značajno za one izotope koji su u radiotoksikologiji značajni, a to su: $^{90}Sr$, $^{137}Cs$, $^{131}J$ i dr.

Od ekskreta koji se najčešće koriste u dijagnostici su: mokraća, izmet, izbljuvak i ispljuvak. Pored toga, može se uzeti i krv, koja kao transporter radionuklida od mesta ulaska do depozicije i od mesta depozicije do mesta eliminacije sadrži ih, u zavisnosti od brojnih faktora, kraći ili duži vremenski period.

Za sudsko-medicinsku ekspertizu, naročito kod procene radijacionih oštećenja, tj. udruženih povreda /sa kontaminacijom/, mogu se koristiti organi i tkiva u kojima su deponovani izotopi.

Materijal i metode merenja

Za proveru mogućnosti brze detekcije aktivnosti u ekskretima i biološkom materijalu, koristili smo mogućnosti koje pruža prenosna radiološka laboratorija /PRL/, proizvodnje Instituta za nuklearne

nauke "Boris Kidrič" - Vinča. Ova laboratorija omogućava merenje aktivnosti u debelom uzorku, odredjivanje specifične aktivnosti /uCi/kg/, kao i merenje starosti fisionih produkata u uzorku.

Od humanog materijala uzimali smo uzorke krvi i urina od bolesnika koji su primali $^{131}J$ u dijagnostičke svrhe. Krv smo uzimali 3 do 6 minuta, a urin 1 do 4 časa posle ubrizgavanja $^{131}J$.

Od laboratorijskih životinja /pacova/, koje su kontaminirane sa $^{137}Cs$, uzeli smo nakon 1/2 časa /posle žrtvovanja/: bubreg, jetru i mišiće.

Uzete uzorke smo pripremili na taj način što smo zadovoljili geometriju merenja, stavljajući uzorak u okrugle posudice prečnika 40 mm, a dubine 10 mm. Nije bilo potrebe za složeniju pripremu uzorka.

Rezultati i diskusija

U tabelama 1. i 2. izneseni su rezultati merenja aktivnosti u uzorcima biološkog materijala, metodom merenja debelog sloja. Izračunata je i specifična aktivnost u mikrokiriima na litar.

Vidljivo je da je kod relativno nižih aktivnosti, od onih koje očekujemo u eventualnom ratu, mož mo ovom metodom dobiti merne rezultate. Ako tome dodamo potrebno vreme za pripremu i merenje uzorka, kao i izračunavanje specifične aktivnosti, koje ukupno traje 5 do 8 minuta, onda vidimo da je ovom metodom postignut i drugi kvalitet, tj. brzina.

Zaključak

U zaključku se može definisati da odabrana metoda merenja u debelom uzorku i merna tehnika u PRL, omogućuju uspešno korišćenje ove laboratorije za merenje aktivnosti u biološkom materijalu. Na taj način je omogućena relativno brza dijagnostika interne kontaminacije u sistemu zbrinjavanja povredjenih i obolelih u vanrednim i ratnim uslovima.

Tabela 1.

SPECIFIČNA AKTIVNOST HUMANOG BIOLOŠKOG MATERIJALA KONTAMINIRANOG SA $^{131}J$

| Vrsta uzorka | Broj uzoraka | Uneta količina $^{131}J$ u organizam pacijenta od - do | Odbroj bez filtra u c/s od-do | Odbroj sa filtrom u c/s od-do | Obračunati rezultati | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | N | F | uCi/kg |
| Krv | 10 | 6,00 - 10,50uCi | 0,24 -1,30 | 0,11 -0,57 | 2,18-2,43 | 0,91-1,11 | 0,21-1,04 |
| Urin | 14 | 6,00 - 10,50uCi | 7,29 -84,5 | 3,12 -37,9 | 2,15-2,46 | 0,89-1,13 | 7,58-80,33 |

Tabela 2.

SPECIFIČNA AKTIVNOST TKIVA I ORGANA PACOVA KONTAMINIRANIH SA $^{137}Cs$

| Broj i vrsta uzorka | Uneta količina $^{137}Cs$ u uCi/pacova 200 g | Odbroj bez filtra u s/c | Broj filtra | Odbroj sa filtrom u c/s | Obračunati rezultati | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | N | F | HCi/kg |
| 1. jetra | 3,90 | I3,35 | 2 | 7,54 | 1,77 | 0,60 | 8,02 |
| 2. jetra | 3,90 | 15,54 | 2 | 8,65 | 1,78 | 0,61 | 9,47 |
| 3. jetra | 3,90 | I6,43 | 2 | 8,33 | 1,97 | 0,76 | 12,48 |
| 4. bubrag | 3,90 | 7,15 | 2 | 3,86 | 1,86 | 0,66 | 4,72 |
| 5. bubrag | 3,90 | 7,67 | 2 | 3,97 | 1,93 | 0,73 | 5,60 |
| 6. bubrog | 3,90 | 6,12 | 2 | 3,60 | 1,70 | 0,55 | 3,37 |
| 7. mišić | 3,90 | 3,30 | 2 | 1,66 | 1,79 | 0,62 | 2,05 |
| 8. mišić | 3,90 | 1,77 | 2 | 1,08 | 1,64 | 0,50 | 0,88 |
| 9. mišić | 3,90 | 1,65 | 2 | 0,97 | 1,70 | 0,55 | 0,91 |

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY IN BIOLOGICAL SAMPLES CONTAMINATED BY SOME ISOTOPES USING METHOD OF THICH SAMPLE

The possibility of radioactivity determination in the field radiological laboratory of the human biological samples and excrety, uzing the method od thick sample, is discussed.

This laboratory is recommended because of the simple way for preparation of biological samples, measurements and calculation of the specific activity. The time of measurements is only 5 - 8 min.

All these facts are suggesting the use of this laboratory and method for quide diagnostics of injured and ill persons in war and emergency situation.

LITERATURA

1. Kostial K.: Radovi II Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Mostar, 1965, str. 197.
2. Djurić D.: Radovi II Jugoslovensog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Mostar, 1965, str. 211.
3. Panov D., M. Kilibarda, D. Djurić et al.: Radovi II Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Mostar, 1965, str. 285.
4. Janković D., Lj. Dobrilović: Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka, 1967, str. 77 - 82.
5. Ubović Z., D. Paligorić: Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka, 1967, str. 83 - 87.

6. Trajković M., Ž. Ubović: Radovi V Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zračenja, Bled, 1970, br. 47.

7. Pejušković B., O. Nikolić: Radovi V Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zračenja, Bled, 1970. br. 32.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Švabić Ana
Jeremić Miomir
Institut za nuklearne nauke
"Boris Kidrič" - Vinča

# DEKONTAMINACIJA $^{60}Co$ I $^{137}Cs$ IZ EFLUENATA TIPA VR-1 KOJA ĆE SE PRIMENITI U POSTROJENJU

U radu je prikazana metoda za dekontaminaciju jednog specifičnog tipa efluenta u kome su prisutne radiokomponente kobalt i cezijum. Rastvor efluenta sadrži nit neaktivnih katjona i anjona - suvi ostatak iznosi 10 g/l. Kobalt se u efluentu nalazi kao trovalentni katjon, gradeći sa EDTA stabilan kompleks. Stoga se rastvor podvrgava procesu redukcije čime se kobalt oslobađa iz kompleksa, zatim procesu koprecipitacije, čime se kobalt uklanja iz rastvora. Da bi se uklonio cezijum, rastvor se propušta kroz kolonu ispunjenu kalijum-kobaltofero-cijanidom. Prikazana je aparatura u kojoj je ispitana metoda, a čija tehnološka šema pretstavlja model postrojenja.

U Institutu "Boris Kidrič" do sada je sakupljeno i po zapremini i po radioaktivnosti najviše efluenata tipa VR-1. Ovi efluenti su nastali dekontaminacijom nekih sistema i uređaja na reaktoru RA, čije su metalne površine bile kontaminirane izotopom $^{60}Co$. Pošto u literaturi ne postoji razrađena hemijska metoda za dekontaminaciju ovog ili sličnog tipa efluenta, pristupili smo razradi iste. Prvo su vršena ispitivanja stanja $^{60}Co$ u efluentima VR-1 /1/, a zatim se prišlo laboratorijskom ispitivanju metode za dekontaminaciju /2/, da bi se najzad, u toku rada koji će biti ovde opisan, definitivno razradila metoda dekontaminacije koja će se primeniti u postrojenju.

Tip efluenta o kome je reč ima sledeće karakteristike: radiokomponente su $^{60}Co$ aktivnosti 0,58 $\mu$Ci/ml i $^{137}Cs$ aktivnosti 5,2 x $10^{-3}$ $\mu$Ci/ml. Hemijski sastav je sledeći: 0,003 g/l $Ni^{2+}$, 0,01 g/l $Mg^{2+}$, 0,011 g/l $Fe^{3+}$, 0,29 g/l $Na^{+}$, a zatim 2,7 g/l $PO_4^{3-}$, 2,2 g/l $CrO_4^{2-}$, 1,6 g/l $NO_3^{-}$ i 1 g/l organskih kiselina i EDTA. Suvi ostatak iznosi 10 g/l, a pH rastvora 1,3.

Pošto je maksimalno dozvoljena koncentracija u vodi za piće MDK za $^{60}Co = 1x10^{-4}$ µCi/ml, znači da bi se posmatrani efluenti dekontaminirali do $MDK_{Co}$ potrebno je postići:

$$FD_{Co} = \frac{0,58}{1x10^{-4}} = 5,8 \times 10^{3}$$

Na isti način, pošto je MDK za $^{137}Cs = 4x10^{-5}$ µCi/ml, potrebni

$$FD_{Cs} = \frac{5,8 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-5}} = 1,3 \times 10^{2}.$$

U ranijijm radovima zaključeno je da se kobalt u efluentima VR-1 nalazi vezan u kompleksu sa EDTA kao trovalentan katjon. Ovaj kompleks je rastvoran i veoma stabilan, tako da je mogao da se razori jedino redukcijom kobalta u dvovalentan katjon. Ispitana je redukcija pomoću bakarisane gvozdene žice /2/ i rezultati su bili zadovoljavajući, ali ovo sretstvo se pokazalo nepogodno za primenu u izgrađenom eksperimentalnom postrojenju. Stoga smo pristupili ispitivanju drugih redukcionih sretstava. Od više ispitanih, kao najefikasniji, a uz to jednostavan za primenu, pokazao se natrijum ditionit - $Na_2S_2O_4$.

Reakcija redukcije rastvora VR-1 ditionitom odvija se brže i bolje na povišenoj temperaturi i visokim pH vrednostima. Stoga smo prinos reakcije ispitivali u funkciji temperature i pH.

Redukcija kobalta odvija se po reakciji:

$$S_2O_4^{2-} + 6\ /Co^{3+}(EDTA)/^{-} + 4\ H_2O = 2\ SO_4^{2-} + 6\ Co^{2+} + 6(EDTA)^{4-} + 8H$$

Pored navedene reakcije, u rastvoru se odvija i redukcija hromatnog anjona u hromi katjon po reakciji:

$$S_2O_4^{2-} + 2\ CrO_4^{2-} + 4\ H_2O = 2\ SO_4^{2-} + 2\ Cr^{3+} + 8\ OH^{-}$$

Pošto su u rastvoru prisutni i fosfatni anjoni, dolazi do formiranja soli $Ca_3(PO_4)_2$ koja zajedno sa $Cr(OH)_3$ pada kao talog, prilikom čega se koprecipitira kobalt.

U tabeli br.1 prikazani su rezultati ispitivanja reakcije redukcije i koprecipitacije, čiji je efekat izražen preko faktora dekontaminacije -FD. Ustvari, ispitivan je FD u funkciji temperature i količine dodatog ditionita i kreča ( koga smo dodavali u vidu krečnog

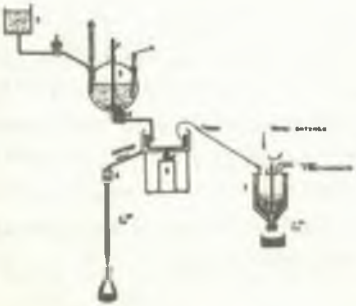
mleka) koje su izražene u procentima u odnosu na početnu količinu efluenta koja se tretira.

TABELA br. 1

| | temperatura, °C | količina ditionita, % | količina kreča do pH 11, % | FD |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 60 | 0,8 | 1,5 | 10 |
| 2. | 60 | 1,7 | 1,5 | 31 |
| 3. | 60 | 3,0 | 1,5 | 50 |
| 4. | 60 | 4,3 | 1,5 | 48 |
| 5. | 70 | 1,7 | 1,5 | 110 |
| 6. | 90 | 0,7 | 1,5 | 150 |
| 7. | 90 | 1,0 | 1,5 | 160 |
| 8. | 90 | 1,2 | 1,5 | 160 |
| 9. | 90 | 1,4 | 1,5 | 160 |

Zavisnost FD od temperature i količine dodatog ditionita i kreča.

Optimizirajući količine dodatih hemikalija i postignute rezultate, kao najpovoljniji usvojili smo postupak pod br. 7: u rastvor zagrejan do 90°C doda se 1 % (računajući na početnu količinu efluenta) ditionita i 1,5 % kreča u vidu krečnog mleka, do pH 11. Napred navedena ispitivanja radena su na laboratorijskoj skali. Da bi se reakcija ispitala i na poluindustrijskoj skali, napravljena je aparatura kapaciteta 700 - 1000 ml, koja ujedno simulira tehnološku šemu postrojenja. Šema ove aparature prikazana je na slici br.1



Slika br.1: Šema aparature za dekontaminaciju efluenata koji sadrže Co-60 i Cs-137

Iz prihvatnog rezervoara 1, preko magnetne slavine 2, rastvor VR-1 se prebacuje u reakcioni sud 3. Ovaj sud snabdeven je mešalicom, električnim grejačem i termometrom. Kada određena zapremina rastvora u sudu 3 dostigne potrebnu temperaturu (90°C) grejač se isključuje, te se u sud dodaje prvo ditionit, a zatim krečno mleko uz stalno mešanje. Reakcija traje oko desetak minuta. Nastala suspenzija se magnetnom slavinom 4 ispušta u centrifugu 5, gde se odvaja talog od rastvora. Rastvor se dalje propušta kroz kolonu 6 koja je ispunjena kalijum-kobalto-fero-cijanidom, čvrstim jedinjenjem na kome se selektivno izmenjuje cezijum /3/. Talog se odvodi u sud za bituminiranje 7 u kome se nalazi tečan bitumen, zagrejan na 280°C, pa pošto se dobro izmešaju, masa se ispušta u limeme posude u kojima se stvrdnjava hladeći se. Na taj način visokoaktivni talog postaje spreman za trajno stokiranje.

Bilans radioaktivnosti usvojenog postupka. Početna aktivnost efluenta iznosila je:

$$I_1 = 392.380 \text{ imp/min/ml} \quad (^{60}Co + ^{137}Cs)$$

Aktivnost rastvora posle redukcije i koprecipitacije iznosila je:

$$I_2 = 3.125 \text{ imp/min/ml}$$

Gama spektrometrijska analiza ovog rastvora, dijagram na slici br.2, posle procesa redukcije i koprecipitacije, čija je aktivnost iznosila 3.125 impulsa/min/ml, pokazala je da je odnos gama aktivnosti cezijuma prema kobaltu:

$$Cs : Co = 9.800 : 1.650$$

Iz ovog podatka izračunat je udeo gama aktivnosti pojedinih komponenata u smeši, koja iznosi: 14,4 % $^{60}Co$ i 85,6 % $^{137}Cs$. Na osnovu ovih podataka izračunate su beta aktivnosti obe komponente:

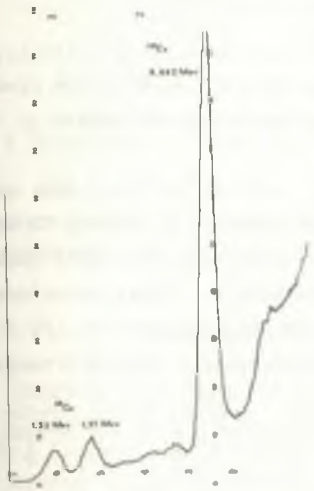
$$A_{Co} = 242 \text{ imp/min/ml} = 3,63 \times 10^{-4} \mu Ci/ml$$

$$A_{Cs} = 2.883 \text{ - " - } = 5,20 \times 10^{-3} \text{ - " -}$$

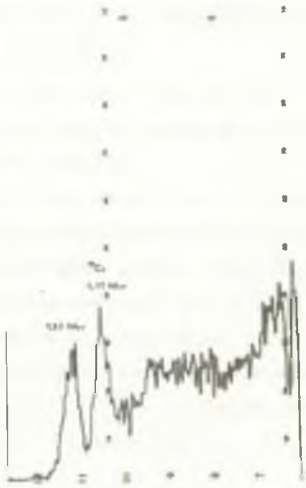
Prema tome FD za kobalt postignut u prvom delu procesa iznosi:

$$FD^{I}_{Co} = \frac{392.380 - 2.883}{242} = 1,6 \times 10^{3}$$

Poznato je iz literature da se Cs ne uklanja koprecipitacijom. Ako se zanemari gubitak Cs u toku prvog dela procesa obrade, može se smatrati da je približno ista količina Cs koja je ušla u proces, iz njega i izašla.. Na osnovu toga je pretpostavljeno da je aktivnost



Slika br.2: Gama spektrometrijska analiza rastvora posle redukcije i koprecipitacije



Slika br.3: Gama spektrometrijska analiza rastvora posle prolaska kroz kolonu sa KCFC

cezijuma u početnom rastvoru efluenta:

$$A_{Cs} = 5,2 \times 10^{-3} \mu Ci/ml$$

Rastvor posle prvog dela obrade, sa 3.125 imp/min/ml, propuštan je kroz kolonu ispunjenu kalijum-kobalto-fero-cijanidom - KCFC - pri čemu se jon $K^+$ vrlo efikasno izmenjuje sa jonom $Cs^+$. Posle toga aktivnost rastvora iznosila je 160 imp/min/ml. Gama spektrometrijska analiza ovog rastvora pokazala je da u rastvoru nema cezijuma, već da ovih 160 impulsa potiču od tragova kobalta, slika br.3. Znači da je ostvareni faktor dekontaminacije za cezijum beskonačan:

$$FD_{Cs} = \infty$$

dok faktor dekontaminacije za kobalt iznosi:

$$FD^{II}_{Co} = \frac{242}{160} = 1,5$$

Prema tome, ukupni FD za kobalt, postignut u obe faze procesa, iznosi:

$$FD_{Co} = FD^{I} \times FD^{II} = 1,6 \times 10^{3} \times 1,5 = 2,4 \times 10^{3}$$

ili

$$FD_{Co} = \frac{\text{početna aktivnost}}{\text{krajnja aktivnost}} = \frac{389.497 \text{ imp/min/ml}}{160 \text{ imp/min/ml}} = 2,4 \times 10^3$$

Preostala aktivnost kobalta od 160 impulsa iznosi:

$$A_p = 2,6 \times 10^{-4} \ \mu Ci/ml.$$

Ako se potsetimo zaključka iznetog na početku, da je za posmatrane efluente potrebno postići faktor dekontaminacije za kobalt:

$$\text{potrebni } FD_{Co} = 5,8 \times 10^3$$

da bi se isti dekontaminirali do $MDK_{Co} = 1 \times 10^{-4} \ \mu Ci/ml$, onda možemo konstatovati da je razlika između postignutog i potrebnog FD vrlo mala (ispod jednog reda veličine), što se lako može otkloniti razblaženjem.

Da bi se ispitana metoda mogla primeniti u eksperimentalnom postrojenju, napravljen je poseban sud za redukciju kapaciteta 100 litara. U sledećem periodu pretstoji njegovo ispitivanje i priključivanje u postrojenje.

- . -


S u m m a r y

$^{60}Co$ AND $^{137}Cs$ DECONTAMINATION FROM LIQUID WASTES OF "VR-1" TYPE

The method for decontamination of radioactive effluents containing radioactive cobalt and cesium is describe. Besides Co and Cs effluents contain a number of inactiv cations and anions, about 10 g/l. Cobalt is present as tri-valent cation in very stable EDTA complex. For that reason, effluents are submitted at first to the reduction than to the coprecipitation processes. In that way, cobalt was withdrawn from the solution. To be decontaminated from cesium, the solution was passed through the column packed with $K_2/CoFe(CN)_6/$. The apparatus used for investigation of the method, the technological scheme of wich represents a model of the pilot plant, is given.


L i t e r a t u r a


1. Vuković Ž., Janković O., IBK-502 (1966)
2. Švabić A., Janković Lj., IBK-644 (1968)
3. Prout W.E. at al., J.Inorg.Nucl.Chem., 27, 437 (1965)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid , 25.-28. aprila 1972

J.Gligorijević , B.Draganović ,S.Stanković, B.Petrović

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi , veterinarstvu i šumarstvu - Zemun

# DISTRIBUCIJA RADIONUKLIDA $^{131}J$ KOD ALIMENTARNE KONTAMINACIJE VODENE PERADI (guska, plovka )

## Kratak sadržaj

Ispitivana je distribucija radionuklida joda-131 u organizmu vodene peradi (guska, plovka) . Eksperimenti su vršeni na životinjama oba pola , starosti oko 6 meseci , a prosečne težine 4000 g (guska) , odnosno 2000 g (plovka) .

Kontaminant je aplikovan individualno , sondom u voljku i to po 40 uCi/kg telesne težine . Radiometrijska merenja uzoraka vršena su na brojačkom uredjaju "Philips" PW 4327 , čija efikasnost iznosi 30% .

Dobijeni rezultati stepena inkorporacije radiojoda-131 za ogledne životinje prikazani su tabelarno , a dinamika eliminacije kontaminanta fecesom prikazana je grafički .

## UVOD

Dosadašnja iskustva upoznavanja načina i puteva radiokontaminacije svih živih bića ukazuju na to da kontaminacija zavisi od fizičko-hemijskih svojstava radioaktivnih materija , kao i uslova pod kojima one dolaze u dodir sa živim organizmima . Domaće životinje su vrlo značajan posrednik u biološkom ciklusu radiokontaminacije čoveka . U tom pogledu velika uloga pridaje se namirnicama animalnog porekla i njihovim preradjevinama , kako zbog njihove značajne potrošnje tako i zbog mogućnosti prisustva u njima biološki značajnih radionuklida .

Zbog svog sastava , a pre svega, u pogledu količine visokovrednih belančevina, meso živine igra važnu ulogu u ishrani stanovništva .

Način uzgoja i ishrane , vreme reprodukcije , kao i mogućnost zaštite u slučaju nuklearne fisije , daju primarno mesto živinarstvu u odnosu na druge grane stočarstva . Ako se ima u vidu i velika potrošnja živinskog mesa , postaje sasvim razumljivo što se ukazala potreba za radijaciono-higijenskim ispitivanjima i u ovoj oblasti .

## MATERIJAL I TEHNIKA RADA

Eksperimenti su vršeni na domaćoj peradi /guska i plovka/ , starosti oko 6 meseci , prosečne težine 4000 grama (guska) , odnosno 2000 grama ( plovka) .

Kao kontaminant korišćen je radioaktivni jod - $^{131}J$ , koji je aplikovan direktno sondom u voljku . Svakoj ogledno j životinji aplikovano je po 40 $\mu$Ci/kg telesne težine .

Za radiometrijska merenja uzorci organa ( krv, unutrašnji organi i muskulatura) i feces od kontaminiranih životinja uzimani su prema postavljenom planu rada i to : posle 3 i 6 časova , kao i posle 1., 2., 5. i 7. dana posle kontaminacije .

Radiometrijska merenja uzoraka u nativnom obliku vršena su na brojačkom uredjaju "Philips" PW 4327 , čija efikasnost iznosi 30% .

## REZULTATI

Stepen inkorporacije radiojoda-131 u pojedine organe i delove sistema , kod alimentarne kontaminacije domaće vodene perad i , prikazani su na tabelama I ( guska) i II (plovka) .

Dinamika eliminacije radiojoda-131 fecesom u toku opservacionog perioda od nedelju dana prikazana je grafički i to na grafikonu 1 (guska) i grafikonu 2 (plovka) .

Tabela I

| | | | x $10^{-4}$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | U z o r a k | [illegible] | O [illegible] | 1 [illegible] | 2 DAN | 3 DAN | 4 DAN | 5 DAN | 6 DAN | 7 DAN |
| | 1 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 4 | 1 | - | - | 6 | - | 3 |
| | 2 | Želudac ([illegible]) | 30 | 20 | 3 | 2 | - | - | 10 | - | 10 |
| | 3 | Želudac ([illegible]) | 30 | 20 | 0 | 0,9 | - | - | 10 | - | 3 |
| | 4 | [illegible] crevo | 10 | 30 | 1 | 2 | - | - | 9 | - | 0,5 |
| | 5 | Slepo crevo | 20 | 20 | 3 | 20 | - | - | 40 | - | 0 |
| | 6 | Debelo crevo | 30 | 10 | 7 | 5 | - | - | 90 | - | 5 |
| | 7 | Rektum | 60 | 40 | 2 | 4 | - | - | 8 | - | 0,8 |
| | 1 | S r c e | 40 | 10 | 5 | 2 | - | - | 8 | - | 0,1 |
| | 2 | J e t r a | 10 | 20 | 6 | 2 | - | - | 3 | - | 20 |
| | 3 | P l u d a | 30 | 20 | 7 | 2 | - | - | 10 | - | 0,3 |
| | 4 | S l e z i n a | 20 | 20 | 3 | 0,9 | - | - | 20 | - | 0 |
| | 5 | R u b n e z i | 30 | 20 | 20 | 4 | - | - | 20 | - | 8 |
| | 1 | Crvi mišić | 20 | 20 | 2 | 2 | - | - | 9 | - | 0,5 |
| | 2 | Beli mišić | 30 | 8 | 5 | 2 | - | - | 20 | - | 10 |
| | 1 | K r v | 20 | 3 | 20 | 0,8 | - | - | 3 | - | 10 |
| | 1 | H u m e r u s | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | - | - | 0,3 | - | 3 |
| | 2 | T i b i a | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | - | - | 4 | - | [illegible] |
| | 3 | S t e r n u m | 20 | 1 | 1 | 3 | - | - | 1 | - | 1 |
| | 4 | [illegible] | 2 | 1 | 1 | 1 | - | - | [illegible] | - | [illegible] |
| | 1 | [illegible] | 300 | 30 | 300 | 200 | 70 | 20 | [illegible] | 10 | 8 |

Prikaz % inkorporisanog $^{131}J$ u pojedinim organima kod guske

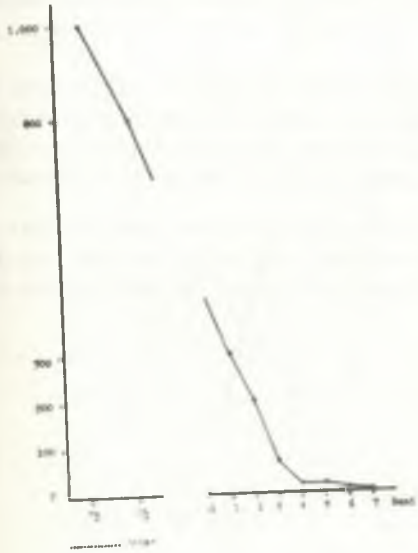
Tabela II

| | | U Z O R A K | D A N I | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0[h] | 6[h] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 1 | Jednjak | 4,30 | 1,40 | 0,60 | 0,10 | - | - | 0,20 | - | 0,50 |
| | 2 | Želudac(mišić.) | 8,50 | 4,30 | 0,90 | 1,20 | - | - | 0,80 | - | 1,60 |
| | 3 | Želudac(žlez.) | 1,60 | 0,60 | 0,50 | 0,60 | - | - | 0 | - | 0,40 |
| | 4 | Tanko crevo | 3,10 | 1,90 | 0,30 | 0,20 | - | - | 0,30 | - | 1,50 |
| | 5 | Slepo crevo | 0,90 | 1,10 | 0,50 | 0,10 | - | - | 0,05 | - | 0,30 |
| | 6 | Debelo crevo | 1,40 | 0,50 | 0,20 | 0,04 | - | - | 0,06 | - | 0,10 |
| | 7 | Rektum | 1,50 | 0,60 | 0,10 | 0,03 | - | - | 0,01 | - | 0,20 |
| | 1 | S r c e | 3,50 | 0,70 | 0,50 | 0,05 | - | - | 0,40 | - | 1,00 |
| | 2 | J e t r a | 6,10 | 1,20 | 0,40 | 0,20 | - | - | 0,20 | - | 1,00 |
| | 3 | P l u ć a | 4,30 | 1,40 | 0,50 | 0,20 | - | - | 0,20 | - | 0,50 |
| | 4 | S l e z i n a | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,02 | - | - | 0 | - | 0,10 |
| | 5 | B u b r e g i | 1,90 | 0,90 | 0,40 | 0,10 | - | - | 0,30 | - | 0,30 |
| | 1 | Muskulatura | 63,[illegible] | 31,1 | 14,4 | 22,4 | - | - | 26,6 | - | [illegible] |
| | 1 | K r v | 0,30 | 0,06 | 0,03 | 0,08 | - | - | 0,02 | - | 0,04 |
| | 1 | Humerus | 0,10 | 0,07 | 0,20 | 0,02 | - | - | 0,03 | - | 0,30 |
| | 2 | Tibia | 0,10 | 0,01 | 0,90 | 0 | - | - | 0,01 | - | 0,60 |
| | 3 | Sternum | | 0,10 | 0,03 | 0 | - | - | 0 | - | 0,40 |
| | 4 | Rebra | ,01 | 0,2[illegible] | 0,20 | 0 | - | - | 0 | - | 0,90 |
| | 1 | S e d e n | - | - | 20,9 | 28,3 | 7,2 | - | 6,3 | 14,[illegible] | 5,4 |

Prikaz % inkorporisanog $^{131}J$ u pojedinim organima kod plovke

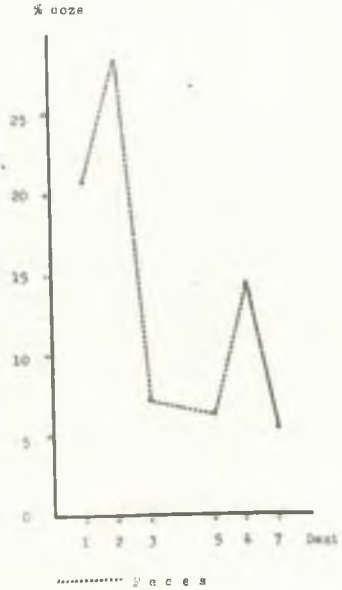
Grafikon 1

% doze x $10^{-4}$



Grafički prikaz dinamike eliminacije $^{131}J$ fecesom kod guske

Grafikon 2




Grafički prikaz dinamike eliminacije

$^{131}J$ fecesom kod plovke

DISTRIBUTION OF RADIOACTIVE $^{131}I$ IN ALIMENTARY CONTAMINATED WATER -FOWL (geese, duck)

The distribution of radioactive $^{131}I$ was examined in the organism of the water-fowl . The experiments were carried ou out on domestic water-fowl (geese,duck) of both sexes , about 6 month old , approx. b.w. 4000 gr (geese) i.e. 2000 gr (duck).

The contaminant was applied individually through a sonde into goitre 40 µCi/kg body weigt . Radiometric measurements of samples in native form were carried out on Philips PW 4327 a scintillation counter with 30% efficeincy .

The obtained results on the incorporation rate of radioiodine-131 are tabelary presented , and the dynamics of elimination of contaminants by faeces are presented graphically .

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

GRUDEN N.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU,
Zagreb, Moše Pijade 158.

# UTJECAJ PRODUŽENOG PRIMANJA TETRACIKLINA U HRANI NA APSORPCIJU RADIOSTRONCIJA IZ PROBAVNOG TRAKTA

Istraživan je metabolizam radioaktivnog stroncija kod ženki bijelog štakora koje su tokom šest mjeseci primale hranu s dodatkom kalcijeve soli oksitetraciklina (0,3 g/100 g suhe hrane). Rezultati su pokazali da nema razlike u apsorpciji, skeletnoj retenciji i eliminaciji stroncija-85 urinom između štakora koji su primali OTC hranom i kontrolne grupe životinja.

Dok o interakciji tetraciklina i kalcija ima mnogo podataka, o djelovanju tetraciklina na metabolizam stroncija ima malo ali zato oprečnih informacija. Prema Catschu (1) dolazi do značajno smanjene depozicije radiostroncija u kosti štakora jedino u životinja prethodno tretiranih tetraciklinom.

Smatrali smo korisnim istražiti da li i kako dugotrajno dodavanje tetraciklinskog antibiotika hrani štakora djeluje na metabolizam stroncija. To tim više što su ispitivanja pokazala da dodatak 0,3% Ca soli oksitetracikliną (OTC) hrani štakora tokom šest mjeseci dovodi do viših vrijednosti stabilnog kalcija u karkasu i težih femura (2).

Ženke bijelog štakora koje su na početku pokusa bile šest tjedana stare i 100-120 g teške podijelili smo u dvije grupe. Kontrolna grupa životinja dobivala je standardnu štakorsku hranu, a druga - eksperimentalna grupa - isto takvu hranu uz dodatak 0,3%

Ca soli OTC. Svakih četiri tjedna izdvojili smo po 7 do 10 životinja iz svake grupe i smjestili ih tokom 72 sata u zasebne metaboličke kaveze. Te su životinje 48 sati primale stroncij-85 u vodi za piće (0,2 uCi/10 ml), a daljnjih 24 sata su pile destiliranu vodu. Nakon toga životinje su žrtvovane u suvišku etera. Oralnu dozu radioaktivnog stroncija smo odredili iz količine popijene radioaktivne otopine.

Aktivnost stroncija-85 mjerena je pomoću scintilacijskog brojača tipa "well" u mineraliziranim i otopljenim uzorcima karkasa (skelet i mišići) i trodnevnih urina. U toku cijelog pokusa izvršili smo ta određivanja na šest grupa kontrolnih i eksperimentalnih životinja.

Rezultati su pokazali da ni dugotrajno primanje oksitetraciklina hranom - barem u dozama koje smo mi koristili - ne dovodi kod štakora do promjena ni u skeletnoj retenciji ni eliminaciji radiostroncija urinom.

The metabolism of radioactive strontium was studied in female albino rats. The animals were receiving 0.3 g of calcium oxytetracycline per 100 g dried food for six month. No difference was observed in absorption, sceletal retention and urinary excretion of strontium-85 between the control group of animals and those which were receiving OTC with food.

1. CATSCH A., Nature, 197, 302 (1963).
2. GRUDEN N., Habilitacijska radnja, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1971.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid , 25. - 28. aprila 1972

B. Draganović , M. Gačević , Ksenija Stefanović, B. Petrović

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu - Zemun

Veterinarski institut - Novi Sad

# RADIJACIONI SINDROM GUSAKA OZRAČENIH X- ZRACIMA

## Kratak sadržaj

Ispitivan je radijacioni sindrom kod domaće vodene peradi -guska- koje su jednokratno totalno ozračivane dozama od 600 , 900, 1050 i 1200 R X-zračenja . Ozračivanje je izvršeno rentgenskim aparatom za dubinsku terapiju "Philips" ( 200 kV, 15 mA, FOO - 100 cm , Al - 1 mm ) . Brzina vazdušne doze u sredini medijane ravni iznosila je 28 R/min .

Ogledi su izvedeni na guskama domaće rase oba pola, starosti 12 meseci , prosečne telesne težine 4200 grama, koje su poticale iz potpuno zdravog zapata . Adaptacioni period na nove uslove držanja pre ozračivanja iznosio je 7 dana .

Rezultati ispitivanja pokazuju da primenjene doze izazivaju radijacioni sindrom kod ozračenih životinja . Istovremeno je ustanovljena letalna i poluletalna doza : LD-100/30 iznosi 1200 R , a LD-50/30 iznosi 937 R (matematički proračun metodom po Behrensu), odnosno 925 R (grafički proračun doze) .

Posebno je opisana klinička simptomatologija, kao i patoanatomske promene na pojedinim organima kod pojave radijacionog sindroma . Na 5 grafikona dati su rezultati hematološke analize ozračenih životinja .

## UVOD

Poznato je da su pernate domaće životinje rezistentnije na zračenje od sisara , a izuzetak predstavlja golub, koji je oko pet puta osetljiviji na zračenje u poredjenju sa pacovom . Medjutim , u dostupnoj literaturi nema podataka o izučavanju radijacionog sindroma raznih vrsta domaće peradi , osim za domaću kokoš ( Rusov,1966) .

Stoga smo smatrali za potrebno da ispitamo radijacionu bolest guske , te po mogućnosti da ustanovimo $LD_{50/30}$ i $LD_{100/30}$ za ovu vrstu peradi .

## MATERIJAL I TEHNIKA RADA

Ispitivanja su vršena na guskama oba pola , domaće rase, starosti oko godinu dana i prosečne telesne težine 4200 grama . Sve životinje poticale su iz zdravog zapata .

Nedelju dana pre ozračivanja životinje su stavljane u nove uslove držanja i smeštaja . U toku ogleda po 6 životinja je bilo smešteno zajedno u velikom kavezu , koji su držani u dobro provetravanim prostorijama, gde je prosečna temperatura iznosila 20°C .

Životinje su ozračivane rentgenskim aparatom za dubinsku terapiju ("Philips") , a uslovi ozračivanja su bili sledeći : 200 kV , 15 mA, F00 - 100 cm, a Al-filter 1 mm . Brzina vazdušne doze u sredini medijalne ravni iznosila je 28 R/min . Životinje su bile rasporedjene u grupe od po 6 jedinki , koje su bile jednokratno totalno ozračene X-zracima sledećim dozama : 600 , 900, 1050 i 1200 R . Vreme ozračivanja bilo je različito , što je zavisilo od veličine doze i iznosilo je za I grupu 21,43 min , za II grupu 32,14 min , za III grupu 37,50 min , a za IV grupu 42,58 min po životinji . Kontrolna grupa nije tretirana .

Proračun smrtne doze vršen je metodom po Behrensu . Na osnovu tih podataka grafički je prikazana sigmoidna kriva smrtnosti , pomoću koje je odredjena standardna devijacija za LD-50/30 i standardna greška (metodom po Gaddumu ) .

Klinička ispitivanja sastojala su se u posmatranju habitusa i kontroli telesne težine životinja . Za hematološka ispitivanja uzimano je po 2 ml krvi iz krilne vene i to nekoliko puta pre , a zatim 1, 3, 7, 14 i 28 dana posle ozračivanja i nadalje svakih 15 dana . U okviru hemograma odredjivani su : broj eritrocita , retikulocita i leukocita , leukocitarni odnos , koncentracija hemoglobina , hematokrit , prosečna zapremina eritrocita ( MCH) i prosečna koncentracija hemoglobina u eritrocitima (MCHC).

Odredjivanje veličine eritrocita vršeno je na Cellosoopu 101 , preko tzv. Price Jones-ovih krivi .

Posle uginuća životinja usled ozračenja , vršena je sekcija i ustanovljavane su patoanatomske promene .

## REZULTATI

Rezultati izvršenih ispitivanja prikazani su tabelarno i grafički .

Na tabeli I prikazana je smrtnost ozračenih gusaka u zavisnosti od primljene doze i u funkciji vremena ozračivanja .

Tabela I

| Doza ( u R) | Broj ozrač. životinja | Broj uginulih životinja | | | % uginuća do 30 dana |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1-5 dana | 5-30 dana | Ukupno | |
| 600 | 6 | 1 | - | 1 | 16,6 |
| 900 | 6 | 1 | 1 | 2 | 33,3 |
| 1200 | 6 | 3 | 3 | 6 | 100 |

Iz date tabele vidi se da sa povećanjem doze veliki broj ozračenih životinja uginjava već prvih 5 dana posle ozračivanja .

Na tabeli II prikazano je odredjivanje poluletalne doze ($LD_{50/30}$) metodom po Behrensu .

Tabela II

| Doza (u R) | Mrtvi/živi | Kumulativna frekvencija (mrtvi / živi ) | % uginuća |
|---|---|---|---|
| 600 | 1/5 | 1/9 | 10 |
| 900 | 2/4 | 3/4 | 43 |
| 1200 | 6/0 | 9/0 | 100 |

Klinička slika

Sve ozračene životinje pokazivale su u manjem ili većem stepenu izrazite simptome radijacione bolesti , zavisno od veličine primljene doze .

Neposredno posle ozračivanja životinje prestaju da uzimaju hranu i javlja se apatija , koja se produžava i sledećih 6 do 7 dana . Za svo vreme žedj je pojačana . Perje je nakostrešeno , a kod nekoliko životinja javila se i hromost . Interesantno je napomenuti da se kod ove vrste životinja ne javlja otok glave što je karakteristično za radijacionu bolest kokoši . Posle nekoliko dana javlja se dijareja , koja se održava vrlo dugo . Životinje burno reaguju na spoljne nadražaje i mnogo su plašljivije od kontrolnih životinja .

Nekoliko sati pre uginuća životinje pokazuju znake srčane insuficijencije : javlja se cijanoza , ubrzano i površno disanje, pad s nogu (što ne treba identifikovati kao komatozno stanje , jer životinje reaguju na spoljašnje draži sve do uginuća).

Jedinke koje prežive prvih 7 dana posle ozračivanja, postepeno se oporavljaju , počinju redovnije da uzimaju hranu i vodu, mada do uginuća izvesnog broja životinja dolazi i u periodu od 7 do 14 dana . Jedinke koje prežive ovaj period ostaju u životu do 60 dana i dalje . Posle 21. dana prestaju svi klinički

simptomi radijacione bolesti , osim hromosti (koja se zadržala kod dve jedinke) apetit se naglo povecava i veći je nego kod kontrolne grupe . Usled smanjenog apetita u prvom periodu toka radijacione bolesti došlo je i do izvesnog smanjenja telesne težine . Gubitak telesne težine utoliko je veći ukoliko je i doza ozračivanja veća : kod doze od 600 R težina ozračenih gusaka 30. dana iznosila je 93% , a kod doze od 900 R 89% od početne težine .

Hematološke promene

Promene u perifernoj krvi gusaka jednokratno ozračenih različitim dozama X-zračenja pracene su u toku 155 dana , a sistematizovane su i prikazane na grafikonima br 1 - 5 .

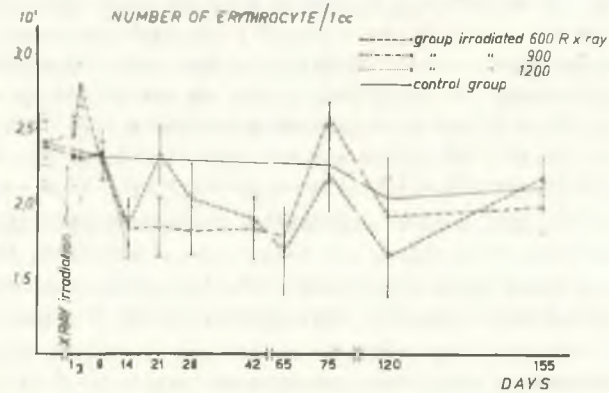
Na grafikonu 1 prikazan je broj eritrocita kod ogledniih i kontrolnih životinja , dok je na grafikonu 2 prikazana dinamika vrednosti hematokrita i procenta hemoglobina . Iz grafikona 1 i 2 vidi se da u periodu od prvih 42 dana posle ozračivanja , sa smanjenjem broja eritrocita dolazi i do smanjenja vrednosti hemoglobina i hematokrita . Na osnovu ovih podataka može se zaključiti da se kod životinja posle ozračivanja razvija normohromna anemija . Medjutim , odredjivanjem prosečnog prečnika eritrocita pomoću Celloskopa 101 (grafikon 3) može se zaključiti da u krv pristižu mladi eritrociti sa povecanim prečnikom : najveći broj eritrocita ima prečnik 5,4 $\mu$ , a kod doze od 600 R , 28. dana posle ozračivanja prečnik eritrocita se povecava na 6,1 $\mu$ .

Na grafikonu 4 prikazano je kretanje broja leukocita kod ozračenih životinja , pri čemu je ustanovljeno da je leukopenija najozrazitija u periodu od 7-28. dana posle ozračivanja , a da stepen leukopenije nije proporcionalan dozi zračenja .

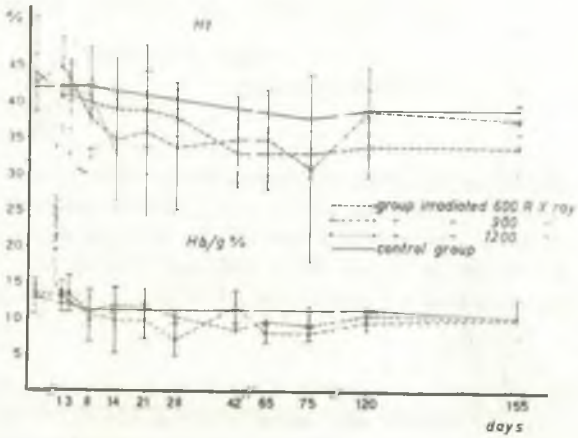
Na grafikonu 5 prikazano je kretanje broja retikulocita pri ozračivanju različitim dozama X-zračenja : broj retikulocita se u početku smanjuje i do 4,5 puta u odnosu na početnu vrednost, ali retikulociti ne iščezavaju iz krvi ni kod doze od 900 i 1200 R.

Patoanatomske promene

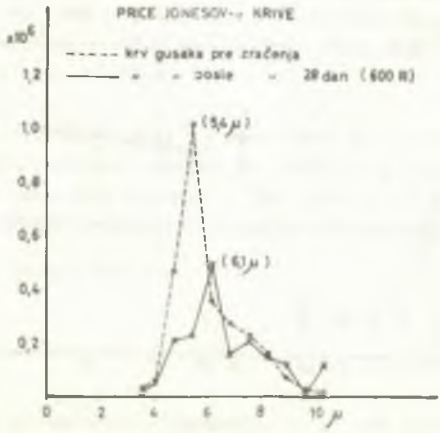
Kod životinja uginulih prvih nekoliko dana posle ozračenja mogu se naći obimna krvavljenja duž intestinalnog trakta, koja u lumenu creva formiraju velike krvne koagulume . Slezina je smanjena i veličine je manjeg leśnika . Kod jedne životinje ozračene sa 600 R , uginule 3 dana posle ozračivanja, ustanovljen je difuzni serofibrinozni peritonit i perikardit sa petehijama u predelu srčanog luka i na prelazu žlezdanog u mišićni deo želudca . Kod životinja koje su uginule 10 dana posle ozračivanja u zidovima creva postoji jako izražena hiperemija , ali u lumenu creva se ne primećuju krvavljenja . Medjutim , zidovi creva još uvek izgledaju kao difuzno obojeni crnom bojom . Slezina je nešto povećana i veličine je manjeg oraha , tamnoljubičasto je obojena i jako mekane konzistencije . Na jetri, koja je normalne veličine , uočavaju se sitna ognjišta beložućkaste boje i nejasnih ivica , koja prodiru dublje u parenhim jetre . Kod ovih životinja redovno se mogu naći i tačkasta ili difuzna krvavljenja ispod perikarda , koja se mestimično poljavljuju , a najizrazitija su u predelu desne pretkomore i komore .



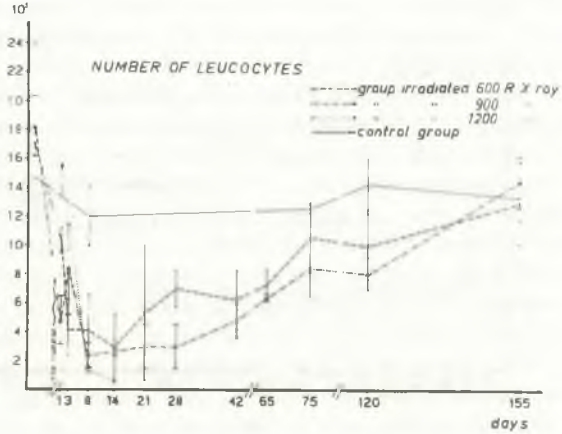

Grafikon br. 1 . – Broj eritrocita gusaka ozračenih različitim dozama X-zraka



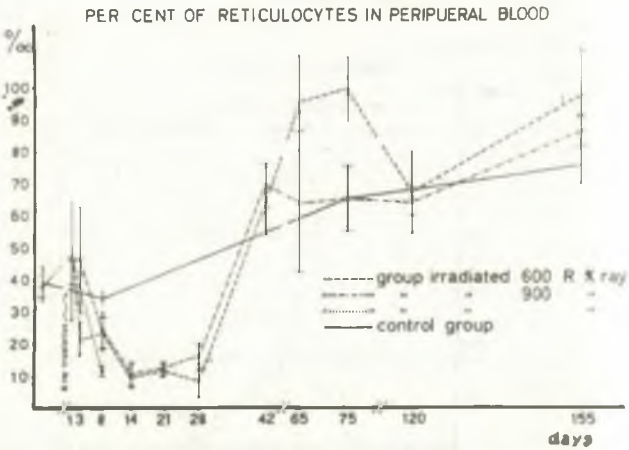

Grafikon br. 2.- Hematokrit i vrednost hemoglobina gusaka ozračenih različitim dozama X-zraka




Grafikon br. 3.- Price-Jonesove krive eritrocita gusaka ozračenih sa 600 R X-zraka




Grafikon br. 4.- Broj leukocita gusaka ozračenih različitim dozama X-zraka




Grafikon br. 5. - Procenat retikulocita u krvi ozračenih gusaka

# RADIATION SYNDROM IN GEESE IRRADIATED WITH X - RAYS

Radiation syndrom was investigated in geese totaly irradiated with doses of 600 , 900 , 1050 and 1200 R X-rays . The irradiation was carried out by the roentgen apparatus for deep therapy ( 200 kV , 15 mA ,FOD - 100 cm and Al/Cu filter 1 mm ) . Speed of the air dose in the middle of medial surface was 28 R/min .

The experiments were carried out in home breed geese, both sexes , 12 month old , approximate body weight 4200 g , originated from entirely sound brood . The adapting period was 7 days .

The results of these investigations showed that the applied doses provoked radiation syndrom in irradiated animals. At the same time it was established that the lethal dose $LD_{100/30}$ amounts to 1200 R , and the semi-lethal $LD_{50/30}$ is equal to 937 R ( mathematically calculated after Behrens) , i. e. 925 R (graphical calculation) .

Clinical symptomatology is described in particular , as well as the pathoanatomic changes in individual organs on appearance of the radiation syndrom . The results of haemathological analysis of the irradiated animals are presented in 5 graphs .

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Dipl.fiz. D.Križanović

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu S.R. Srbije
"Dr Dragomir Karajović" - Beograd

# ZASTUPLJENOST TIPOVA RENDGEN APARATA U SR CRNOJ GORI I SR SRBIJI

Rezime

Dat je pregled ukupnog broja dijagnostičkih rendgen aparata za 1971 godinu u zdravstvenim ustanovama SR Crne Gore i SR Srbije. Posebno je prikazana zastupljenost pojedinih tipova dijagnostičkih rendgen aparata po zdravstvenim ustanovama.

Sa otkrićem X zraka i saznanjem o njihovim osobinama odmah su ti zraci našli primenu u medicinskoj dijagnostici. Vremenom, kako se usavršavalo dobijanje tih zraka tako je rastao i asortiman njihovog primenjivanja. Uporedo sa porastom primenljivosti rendgen aparata rasla je i opšta ozračenost stanovništva što su ispitivanja u svetu i pokazala da su medicinski dijagnostički rendgen aparati najbrojniji izvori jonizujućih zračenja.(1). U cilju nastojanja da se proceni ta ozračenost stanovništva neophodno je poznavati kako broj rendgen aparata tako i njihove tehničke osobine. Iz istih razloga smo želeli u ovom saopštenju dati brojnu vrednost i zastupljenost pojedinih tipova rendgen aparata na teritoriji SR Crne Gore i SR Srbije. Za ovo saopštenje koristili smo evidenciju grupe za dozimetriju i kontrolu izvora jonizujućih zračenja, gde su ušli u obzir oni rendgen aparati koji su evidentirani u poslednje tri godine tj. 1969, 1970 i 1971 godine, kao i oni rendgen aparati onih ustanova koje koriste druge ovlašćene ustanove za kontrolu i dozimetriju. Na sledećoj tabeli (tabela br.1) prikazani su brojno dijagnostički rendgen aparati razvrstani u 4

grupe po tipovima zdravstvenih ustanova na teritoriji SR Crne Gore i SR Srbije.

TAB. br.1

Dijagnostički rendgen aparati u zdravstvenim ustanovama SR Crne Gore i SR Srbije u 1971 godini

| ZDRAVSTVENA USTANOVA | SR Srbija | SR Crna Gora |
|---|---|---|
| Bolnice, klinike, zavodi | 368 | 27 |
| A.T. dispanzeri | 119 | 13 |
| Domovi zdravlja, zdrav. stanice | 418 | 34 |
| Ambulante pri preduzećima | 81 | 6 |
| U K U P N O | 986 | 80 |

Prema ranije objavljenim podacima (2) broj rendgen aparata po zdravstvenim ustanovama SR Crne Gore i SR Srbije za 1967 godinu bio je sledeći: (tabela br.2).

TAB. br.2

Dijagnostički rendgen aparati u zdravstvenim ustanovama SR Crne Gore i SR Srbije u 1967 godini

| ZDRAVSTVENA USTANOVA | SR Srbija | SR Crna Gora |
|---|---|---|
| Bolnice i klinike | 225 | 5 |
| Domovi zdravlja i med. centri | 435 | 60 |
| Zdravstvene stanice i ostale | 145 | 25 |
| U K U P N O | 805 | 90 |

Iz prikazanih podataka na tabeli broj 1 i broj 2 vidimo da je ukupan broj rendgen aparata za SR Srbiju koncem 1971 god. bio veći od prijavljenih rendgen aparata za 1967 godinu, dok je za SR Crnu Goru obrnut slučaj. Naime u 1967 godini bilo

je prijavljeno 90 rendgen aparata dok je u 1971 godini registrovano 80 rendgen aparata. Ovo bi se moglo objasniti time što je u poslednje 2 do 3 godine došlo do formiranja većeg broja medicinskih centara. Po organizacionoj šemi medicinski centri su dužni oformiti specijalističke službe a time i obezbediti odgovarajuću opremu. Koncentrisanjem rendgenološke službe i spoznajom da prednost imaju snimanja, pa čak i fluorografska, pred dijaskopijom, medicinski centri nabavljaju modernije rendgen aparate (četveroventilne, šestoventilne pa čak i dvanaestoventilne). Sledeća tabela prikazuje zastupljenost tipova rendgen aparata u SR Crnoj Gori i SR Srbiji koncem 1971 god.(tab. br.3).

TAB. br.3

Zastupljenost tipova dijagnostičkih rendgen aparata u SR Crnoj Gori i SR Srbiji koncem 1971 god.

| TIP RENDGEN APARATA | SRBIJA | AP VOJVODINA | AP KOSOVO | UKUPNO | SR CRNA GORA |
|---|---|---|---|---|---|
| GRAFOSKOP-SELENOS | 96 | 20 | 8 | 124 | 5 |
| GRAF. sa ODELCOM | 8 | 6 | - | 14 | 1 |
| SUPERIX | 13 | 7 | 1 | 21 | - |
| MORAVA | 222 | 97 | 19 | 338 | 25 |
| MORAVICA | 46 | 68 | 9 | 123 | 2 |
| NERETVA | 23 | 7 | 2 | 32 | 3 |
| FLUOROGRAF | 16 | 9 | - | 25 | 2 |
| HIPOS | 10 | 4 | 1 | 15 | - |
| SAVA | 8 | 1 | - | 9 | - |
| RENDGEN SA TV | 8 | 2 | - | 10 | - |
| SIEMENS | 34 | 15 | 4 | 53 | 7 |
| PHILIPS | 25 | 3 | 2 | 30 | 5 |
| SVI OSTALI | 27 | 4 | 4 | 35 | 7 |
| DENT zubni | 72 | 31 | 8 | 111 | 13 |
| MORAVICA zubni | 12 | 2 | - | 14 | - |
| SVI OSTALI zubni | 26 | 5 | 1 | 32 | 10 |
| U K U P N O | 646 | 281 | 59 | 986 | 80 |

Iz priložene tabele vidimo da su najviše zastupljeni polutalasni rendgen aparati "MORAVA" i "MORAVICA". Isto tako vidimo da je četveroventilni rendgen aparat "Grafoskop-Selenos 4" zastupljen u 40% u odnosu na rendgen aparat "Moravu" a više od 100% u odnosu na rendgen aparat "Moravicu". U broj rendgen aparata "Siemens" i "Philips" uračunati su kako stari tipovi aparata tako i najnoviji rendgen aparati.

Ako bi još jednom pogledali tabelu broj 1 mogli bi zaključiti da se najveći broj rendgen aparata nalazi u domovima zdravlja i zdravstvenim stanicama dok prema tabeli 4 i 5, gde su posebno prikazani zubni rendgen aparati, vidimo da je ipak najveći broj rendgen aparata u bolnicama i klinikama. U tim ustanovama su svakako i najkvalitetniji i najmoderniji rendgen aparati pošto je tu i najstručnije osoblje koje rukuje rendgen aparatima. Iz iste tabele vidimo da se oko 10% od ukupnog broja rendgen aparata nalazi u zdravstvenim stanicama i dispanzerima medicine rada pri preduzećima.

TAB. br.4

Rendgen aparati, posebno zubni, u zdravstvenim ustanovama u SR Srbiji u 1971 godini

| U S T A N O V A | RENDGEN aparati | ZUBNI RŌ aparati | UKUPNO |
|---|---|---|---|
| BOLNICE | 233 | - | 233 |
| A.T. Dispanzeri | 119 | - | 119 |
| DOMOVI ZDRAVLJA | 185 | 81 | 266 |
| ZDRAVSTVENE STANICE, AMBUL. | 121 | 31 | 152 |
| AMBULANTE PRI PREDUZEĆIMA | 58 | 23 | 81 |
| POLIKLINIKE, DISPANZERI | 15 | - | 15 |
| FAKUL. KLINIKE, INSTITUTI | 72 | 17 | 89 |
| ZAVODI I DRUGE USTANOVE | 26 | 5 | 31 |
| U K U P N O | 829 | 157 | 986 |

TAB. br.5

Rendgen aparati, posebno zubni, u zdravstvenim ustanovama u SR Crnoj Gori u 1971 godini

| U S T A N O V A | RENDGEN aparati | ZUBNI RŠ aparati | UKUPNO |
|---|---|---|---|
| BOLNICE | 23 | - | 23 |
| A.T. DISPANZERI | 13 | - | 13 |
| DOMOVI ZDRAVLJA | 3 | 4 | 7 |
| ZDRAVSTVENE STANICE, AMBULANTE | 17 | 10 | 27 |
| AMBULANTE PRI PREDUZEĆU | 2 | 4 | 6 |
| ZAVODI I OSTALE USTANOVE | 4 | - | 4 |
| U K U P N O | 62 | 18 | 80 |

Zaključak

1. U zdravstvenim ustanovama na teritoriji SR Crne Gore bilo je koncem 1971 godine 62 dijagnostička rendgen aparata i 18 zubnih rendgen aparata a u SR Srbiji, za isti period, bilo je 829 dijagnostičkih rendgen aparata i 157 zubnih rendgen aparata.

2. Od ukupnog broja rendgen aparata u SR Srbiji, 27% nalazi se na teritoriji AP Vojvodine a 8% na teritoriji AP Kosovo.

3. Polutalasni rendgen aparat "Morava" u više od 50% slučajeva koristi se samo za snimanje ekstremiteta.

4. Rendgen aparat "Moravica" sve više povlači se iz upotrebe, koji se uglavnom i koristio po zdravstvenim stanicama. Na njihova mesta postavljaju se rendgen aparati "Morave" koje su u domovima zdravlja i medicinskim centrima zamenili rendgen aparati "Grafoskop-Selenos 4".

5. Posle polutalasnog rendgen aparata "Morava" koji je u najvećem broju bio zastupljen dolazi četveroventilni rendgen aparat "Grafoskop-Selenos 4".

6. U Antituberkuloznim dispanzerima mesto "Morave" sve više postavljaju "Grafoskop-Selenos 4" sa Odelca kamerom.

7. Najveći broj rendgen aparata nalazi se po bolnicama gde su i najkvalitetniji rendgen aparati.

8. Bolnice, klinike i veći medicinski centri, ukoliko sada

nabavljaju nove rendgen aparate, nabavljaju pretežno šestoventilne ili dvanaestoventilne sa pojačivačem i TV monitorima.

9. Na Hiruškim i Traumatološkim odeljenjima ranije se pretežno koristio rendgen aparat "Neretva" koji se sada postepeno povlači i njega zamenjuje rendgen aparat sa pojačivačem "Hipos".

10. Od ukupnog broja rendgen aparata 10% se nalazi u zdravstvenim stanicama i Dispanzerima medicine rada pri preduzećima.

11. Na svakih 5 dijagnostičkih rendgen aparata, u SR Crnoj Gori i SR Srbiji, dolazi samo jedan zubni rendgen aparat.

12. Od svih zubnih rendgen aparata 70% su zubni "DENT" rendgen aparati.


S u m m a r y

PREVALENCE OF PARTICULAR TYPES OF X-RAY APPARATUSES IN MONTENEGRO AND SERBIA

In the paper there is presented the total number of diagnostic X-ray apparatuses in the health institutions of Montenegro and Serbia for 1971. Especially, there is presented the prevalence of particular types of the diagnostic X-ray apparatuses in the health institutions.


Bibliografija:


1. Raport of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1958), Gen.Assembly Official Records, 13th sess. No 17 (A) 3838, New York;
2. Dr J.Jokić, Stručnost kadrova koji rukuju rendgen aparatima u zdravstvenim ustanovama SFRJ, V simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Bled, 1970 god.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

MALJKOVIĆ T., DEKANIĆ D. i KOSTIAL K.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU,
Zagreb, Moše Pijade 158.

# UTJECAJ TETRACIKLINA NA RETENCIJU RADIOSTRONCIJA KOD AKUTNE ORALNE I PARENTERALNE KONTAMINACIJE

Parenteralna primjena oksitetraciklin hidroklorida u dozama od 18-300 mg/kg pet dana prije i dva dana nakon parenteralne kontaminacije štakora radiostroncijem nije izazvala sniženje retencije stroncija-85 u tijelu štakora. Oralna primjena istog antibiotika u dozama od 3600-7500 mg/kg izazvala je nešto povišenu retenciju stroncija-85 u tijelu štakora nakon oralne kontaminacije.

Poznato je da se tetraciklinski antibiotici ugrađuju u kost i to naročito na mjestima aktivne kalcifikacije i pretpostavlja se da se u kosti fiksiraju heliranjem kalcija iz mineralne faze (1). Iz tih razloga neki su istraživači pokušali primijeniti te antibiotike u svrhu sniženja retencije nekih osteotropnih radionuklida (2). Naročita pažnja posvećena je djelovanju tetraciklina kod interne kontaminacije radiostroncijem, jer je poznato da ostali helatogeni nisu djelotvorni u dekontaminaciji organizma tim radionuklidom. Rezultati su vrlo oprečni i ukazuju na uspješno djelovanje tetraciklina kod nekih autora (3, 4) i nikakav učinak kod nekih drugih (5).

Svrha je naših istrazivanja bila, da istražimo mogućnost primjene tetraciklina za sniženje retencije $^{85}Sr$ kod akutne oralne i parenteralne kontaminacije radiostroncijem. Pokuse smo vršili na ženkama bijelog štakora starosti oko 10 tjedana i težine oko 180 g. U prvoj seriji pokusa primijenili smo oksitetraciklin hidroklorid (Geomycin, Pliva) u dozama od 18-300 mg/kg tjelesne težine intraperitonealnom aplikacijom kroz 7 dana. $^{85}Sr$ primijenili smo također

intraperitonealno peti dan neposredno nakon primjene tetraciklinskih antibiotika. Životinje su žrtvovane osmi dan. Aktivnost $^{85}Sr$ odredili smo u cijelom tijelu životinja i u tijelu bez probavnog trakta (karkas), te u trodnevnom uzorku urina i fekalija.

U drugoj seriji pokusa primijenili smo isti antibiotik u dozama od 3600-7500 mg/kg tjelesne težine oralno putem želučane sonde kroz 7 dana i $^{85}Sr$ također oralno peti dan. Više doze antibiotika bile su toksične, pa se do kraja pokusa broj životinja na višim dozama smanjio.

Primjena tetraciklinskih antibiotika u našim pokusima nije izazvala sniženje retencije $^{85}Sr$ ni u pokusima parenteralne ni oralne kontaminacije štakora. U pokusima oralne kontaminacije izazvala je oralna primjena tetraciklina čak nešto povišenu retenciju $^{85}Sr$ koja se kretala od 24 do 50%.

Iz rezultata možemo zaključiti, da primjena tetraciklinskih antibiotika ne dolazi u obzir kao terapija interne kontaminacije radiostroncijem.

Intraperitoneal application of tetracycline hydrochloride in doses of 18-300 mg/kg 5 days before and 2 days after a parenteral administration of strontium-85 causes no reduction strontium in the body of treated rats. Oral application of the same antibiotic in doses of 3600-7500 mg/kg causes a slightly increased retention of orally administered strontium-85 in treated rats.

1. MILCH R.A., RALL D.P., TOBIE J.E., J. Bone Jt. Surg., 40 A, 897 (1968).
2. TAYLOR D.M., CHIPPERFIELD A.R., JAMES A.C., Health Physics, 21, 197 (1970).
3. OGAWA E., and al., Gunma J. Med. Sci., 10, 117 (1961).
4. CATSCH A., Nature, 197, 302 (1963).
5. NAKATSUKA M., and al., Fol. Pharm. Japan, 55, 144 (1959).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Katarina Milivojević i Dragoslav Stojanović*

Institut "Boris Kidrič", Vinča - Medicinska zaštita

# UTICAJ NEKIH FIZIČKIH I HEMIJSKIH FAKTORA NA TRANSKUTANU RESORPCIJU RADIONUKLIDA

Izučavana je transkutana resorpcija radionuklida pod uticajem nekih fizickih i hemijskih faktora koji mogu da uslove varijacije permeabiliteta kožne barijere. Posmatran je obim interne kontaminacije organizma različitim radionuklidima u uslovima kontaminacije normalne, obezmaščene i štičene kože pacova, a u funkciji hemijskog oblika, pH rastvora, koncentracije i dužine kontakta. Ukupni telesni sadržaj prodrlih radionuklida odredjivan je na uredjaju za merenje aktivnosti celog tela i metodom razlaganja tkiva. Dobijeni rezultati pokazuju da posmatrani faktori uslovljavaju razlike u stepenu transkutane resorpcije. U radu se diskutuje o praktičnim aspektima ovih ispitivanja.

Problemi razmatrani u ovom radu proizilaze iz mnogobrojnih praktičnih pitanja koja se nameću pri rešavanju akcidentalnih situacija kada dolazi do kontaminacije kožne barijere. Istraživanja u domenu kožnog permeabiliteta ukazuju da faktori eksternog porekla, fizičke i hemijske prirode, uslovljavaju varijacije u propustljivosti kože. S obzirom, da je transkutano prodiranje radionuklida u organizam i njihovo toksično delovanje vezano za vrstu radioizotopa, njihovo hemijsko stanje i fiziološko stanje kože i organizma u celini, cilj rada je sagledavanje korelacije nabrojanih faktora i njihovog uticaja na internu kontaminaciju transkutanim putem, a radi pružanja odgovarajuće pomoći.

## Materijal i metod rada

Ispitivanja su vršena na belim pacovima, mužjacima, telesne težine 200 ± 10 gr. U toku ogleda životinje su bile narkotisane i.m. injekcijom 0,8 ml 25%

* Autori zahvaljuju Radosavu Sapundžiću za tehničku saradnju.

rastvora uretana. Ispitivanja su vršena na normalnoj koži, obezmaščenoj koži i koži tretiranoj zaštitnim kremom "Octa" pre kontaminacije. Kontaminacija je izvodjena sa $^{137}Cs$ u različitom hemijskom obliku (hlorid, sulfat, nitrat), $^{85}SrCl_2$, $^{60}CoCl_2$, $^{95}Zr(C_2O_4)_2$. Kontaminirajući rastvori su imali pH od 1.0 do 10.0. Radioaktivnost nanete količine rastvora iznosila je 20 - 40 uCi. Dužina kontakta kontaminanta sa kožom iznosila je 0,5 - 3 časa. Kontaminirana je površina kože od 5 $cm^2$ na ventralnoj strani abdomena. Na kraju ogleda izvršena je ekscizija kontaminirane zone kože, a odredjivanje telesnog sadržaja prodrlih radionuklida vršeno je pomoću uredjaja za merenje aktivnosti celog tela, ili je procena obima interne kontaminacije vršena korišćenjem metode razlaganja tkiva.

## Rezultati

Na tabeli 1. prikazane su resorbovane količine radionuklida u zavisnosti od vrste apliciranih kontaminata, dužine njihovog kontakta sa kožom, pH rastvora, koncentracije nanete aktivnosti i stanja resorptivne površine (normalna, obezmaščena i štićena koža).

Iz tabele je moguće izvesti sledeće konstatacije:

- Ispitivani radionuklidi u zavisnosti od mnogih faktora se u različitom stepenu resorbuju preko kože. Radiocezijum i radiostroncijum ispoljavaju izrazito veći stepen resorpcije od radiokobalta i radiocirkonijuma u svim eksperimentalnim uslovima. Kod kontaminacije cezijumom zapaža se naročito uticaj vremena kontakta kontaminanta sa kožom i pH rastvora. U uslovima kontaminacije sa jako kiselim rastvorom (pH = 1.0) sadržaj prodrlog cezijuma je mnogo viši u odnosu na grupu kontaminiranu slabije kiselim rastvorom (pH = 5.0) i trajanjem kontaminacije od 3 časa. U poredjenju sa ostalim kontaminantima radiocezijum se najviše resorbuje preko kože;

- Obezmaščivanje kože sapunom pre kontaminacije uslovljava izrazito povećanje sadržaja prodrlih radionuklida u odnosu na normalnu kožu. U ovoj grupi se isto tako zapaža najveća resorpcija radiocezijuma, a dominantan je uticaj pH rastvora. Vidi se, da pri pH = 1.0 i kontaktu od 1 časa sadrzaj $^{137}Cs$ u telu je veći nego pri kontaktu od 3 časa sa pH = 5.0;

- Aplikacija zaštitnog krema "Octa" pre kontaminacije izrazito smanjuje stepen transkutane resorpcije (za $^{137}Cs$ i $^{85}Sr$ oko 4-5 puta).

TAB. br. 1

Telesni sadržaj radionuklida (% nanete aktivnosti)

| Stanje resorptivne površine | Kontaminant: Vrsta i hemijski oblik | pH rastvora | Aktivnost (u uCi) | Vreme kontakta (čas) | Sadržaj u telu (M ± SD) |
|---|---|---|---|---|---|
| Normalna koža | $^{137}CsCl$ | 1.0 | 30 | 1 | 0,86 ± 0,35 |
| | | 5.0 | 30 | 0,5 | 0,08 ± 0,04 |
| | | 5.0 | 30 | 3 | 0,35 ± 0,16 |
| | $^{85}SrCl_2$ | 1.0 | 20 | 3 | 0,24 ± 0,11 |
| | $^{60}CoCl_2$ | 5.0 | 40 | 0,5 | 0,03 ± 0,02 |
| | | 5.0 | 40 | 3 | 0,24 ± 0,08 |
| | $^{95}Zr(C_2O_4)_2$ | 1.0 | 20 | 1 | 0,03 ± 0,02 |
| Oštećena koža | $^{137}CsCl$ | 1.0 | 30 | 1 | 1,33 ± 0,21 |
| | | 5.0 | 30 | 0,5 | 0,60 ± 0,35 |
| | | 5.0 | 30 | 3 | 1,24 ± 0,61 |
| | $^{85}SrCl_2$ | 1.0 | 20 | 3 | 0,42 ± 0,21 |
| | $^{95}Zr(C_2O_4)_2$ | 1.0 | 20 | 1 | 0,06 ± 0,02 |
| Šećana koža kremom "Octa" | $^{137}CsCl$ | 1.0 | 30 | 1 | 0,21 ± 0,09 |
| | $^{85}SrCl_2$ | 1.0 | 20 | 3 | 0,09 ± 0,01 |
| | $^{60}CoCl_2$ | 5.0 | 40 | 3 | 0,04 ± 0,01 |
| | $^{95}Zr(C_2O_4)_2$ | 1.0 | 20 | 1 | 0,03 ± 0,02 |

- Ogledne grupe po 15 životinja.

Na tabeli 2. prikazan je telesni sadržaj radiocezijuma posle kontaminacije obezmašćene kože u zavisnosti od hemijskog oblika kontaminanta.

TAB. br. 2

Telesni sadržaj radiocezijuma posle kontaminacije obezmašćene kože

(% nanete aktivnosti)

| Kontaminant* | 30 min. posle kontaminacije | 3 časa posle kontaminacije |
|---|---|---|
| | M ± SD | M ± SD |
| CsCl | 0,60 ± 0,35 | 1,24 ± 0,61 |
| $CsNO_3$ | 0,64 ± 0,22 | 1,30 ± 0,38 |
| $Cs_2SO_4$ | 0,35 ± 0,18 | 1,08 ± 0,46 |

* - Aplicirana aktivnost 30 uCi; pH rastvora 5.0

** - Ogledne grupe po 20 životinja

Iz prikazanih rezultata vidi se da je resorpcija radiocezijuma u obliku nitrata i hlorida viša nego u obliku sulfata i. da je sadržaj $^{137}Cs$ kod najresorptivnijih oblika oko dva puta veći pri kontaktu od 3 časa.

Tabela 3 pokazuje količine radiocezijuma koje perkutano prodire u telo u toku 30 minuta i 3 časa posle aplikacije rastvora $^{137}CsCl$ sa različitim vrednostima pH.

TAB. br. 3

Telesni sadrž aj radiocezijuma (% nanete aktivnosti)

| pH $^{137}CsCl$ | 30 min. posle kontaminacije | 3 časa posle kontaminacije |
|---|---|---|
| | M ± SD | M ± SD |
| 1.0 | 0,10 ± 0,06 | 0,94 ± 0,54 |
| 3.0 | 0,07 ± 0,04 | 0,19 ± 0,08 |
| 5.0 | 0,05 ± 0,03 | 0,17 ± 0,10 |
| 7.0 | 0,24 ± 0,13 | 0,65 ± 0,23 |
| 8.0 | 0,10 ± 0,07 | 0,16 ± 0,12 |
| 10.0 | 0,32 ± 0,11 | 0,98 ± 0,39 |

- Ogledne grupe po 15 životinja

Iz tabele se vidi da je izrazito povećanje telesnog sadržaja u uslovima kontakta od 30 minuta registrovano posle aplikacije neutralnog rastvora i alkalnog rastvora sa pH 10.0. Duži kontakt kontaminanta sa pH 1.0 i 10.0 uslovljava znatno povećanje $^{137}Cs$ u telu.

Diskusija

Povećana propustljivost preko kože obezmašćene sapunom u odnosu na normalnu kožu može se objasniti akcijom sapuna kojom se vrši uklanjanje zaštitne prevlake koju čine emulzija lipida i hidrosolubilnih supstancija, a kapilarnom aktivnošću sapuni poboljšavaju vlaženje kože, tako da povećana hidratacija rožastog sloja epiderma uslovljava veću propustljivost kože.

Uticaj zaštitne prevlake kože na permeabilitet nalazi potvrdu u efektu preventivne upotrebe zaštitnog krema "Octa" koji se ogleda u izrazitom smanjenju telesnog sadržaja prodrlih radionuklida.

Razlike u stepenu resorpcije pri kontaminaciji različitim hemijskim oblicima ispitivanog radionuklida proizilaze od anjonske komponente radiokontaminanta od koje je zavisna rastvorljivost i niz drugih osobina koje utiču na resorpciju.

Dobijeni rezultati pokazuju da pH može izrazito da utiče na permeabilitet kože. Veće telesne količine radiocezijuma usled transkutane penetracije iz jako kiselih i jako alkalnih rastvora mogu se objasniti narušenjem integriteta barijerne zone kože. Poznato je da kontakt jake kiseline sa kožom dovodi do koagulacione nekroze, a alkalije oštećuju kožu sa brzom dekompozicijom lipoidnih supstancija i keratina koje su zaštitne komponente kožne barijere. Medjutim, koža postaje propustljivija i pri kontaminaciji neutralnim rastvorom, kada se stvaraju pogodni uslovi za odvijanje procesa resorpcije. Rastvori čiji pH odgovara zoni stabilnosti keratina (pH u granicama od 5.0 - 8.0), kao i rastvori sa pH 3.0 ne utiču bitno na ukupni telesni sadržaj prodrlog radiocezijuma.

Zaključak

Stepen transkutane resorpcije radionuklida zavisi od mnogih fizičkih i hemijskih osobina kontaminanta i fiziološkog stanja kožne barijere.

Radiocezijum i radiostroncijum se transkutano resorbuju više od radiokobalta i radiocirkonijuma.

Stepen resorpcije zavisi od pH rastvora kontaminanta i vremena trajanja kontakta kontaminanta sa kožom.

Kontaminacija kože jako kiselim i alkalnim rastvorom radiocezijuma dovodi do povećane transkutane resorpcije.

Obezmašćivanje kože sapunom dovodi do povećanja telesnog sadržaja prodrlih radionuklida preko kože.

Aplikacija zaštitnog krema "Octa" na kožu pre kontaminacije smanjuje stepen transkutane resorpcije radionuklida.

Summary

This investigation concerns percutaneous absoption of radionuclids under the influence of some physical and chemical factors that could determine permeability variations. The investigations were performed under the following conditions: concentration of the radioactivity, kinds of radionuclids, chemical form of the applied radionuclids (chloride, sulphate, nitrate), pH of radionuclids solutions and duration of contact. The total body burden of radionuclids was measured by the whole body counter for small experimental animals. The results obtained show that under the influence of some factors the degree of the percutaneous absorption of radionuclids is different.

REFERENCE

1. Milivojević K., Iugoslav Physiol. Pharmacol. Acta, 6, No. 3, 497 (1970).

2. Milivojević K., Stojanović D., Zbornik materijala IV Jugos. simp. o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, 133 (1969).

3. Wadachi Y., Tashuro S. et al., Ir. Atomic Energy Soc., Japan, 5, 938 and 994 (1963).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

MOMČILOVIĆ B. i KOSTIAL K.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU,
Zagreb, Moše Pijade 158.

# UTJECAJ LAKTACIJE NA APSORPCIJU RADIOAKTIVNOG OLOVA IZ PROBAVNOG TRAKTA

Istraživali smo apsorpciju olova-203 iz probavnog trakta ženki štakora u kasnom razdoblju laktacije. Iz rezultata retencija radioaktivnog olova u tijelima dojilja i njihove mladunčadi, te rezultata eliminacije radioaktivnog olova urinom, izračunali smo da je apsorpcija oralne doze olova-203 u kasnom razdoblju laktacije oko 3,5 puta viša nego u kontrolnih ženki.

Poznato je da je radijaciona doza olova-210 u kostima djece stare 3 do 12 mjeseci danas viša od doze stroncija-90 (1). U organizam djeteta olovo može ući mlijekom iz majke (2). Svrha je naših istraživanja bila da ustanovimo da li se u kasnom razdoblju laktacije, zbog niza promjena koje nastaju u organizmu majke, povisuje apsorpcija olova iz probavnog trakta. U toku naših ranijih istraživanja ustanovili smo, naime, da se u tome razdoblju laktacije značajno povisuje apsorpcija kalcija i stroncija iz probavnog trakta štakora (3).

Pokus je izveden na pet mjeseci starim ženkama štakora koje su 15-tog dana laktacije primile jednokratnu oralnu dozu olova-203. Ženke su nakon toga, zajedno sa svojim leglima od po šest mladih, boravile pet dana u metaboličkim kavezima tokom kojih smo sakupljali uzorke urina i fekalija. Na kraju toga razdoblja odredili smo olovo-203 u tijelima dojilja i njihovim leglima, kao i u

uzorcima petodnevnog urina, u dvodetektorskom scintilacijskom brojaču.

Retencija olova-203, kao i eliminacija u urinu, bila je za oko tri puta viša u dojilja nego u kontrolnih štakora. Visinu apsorpcije olova iz probavnog trakta izrazili smo kao sumu postotka radioaktivnosti zadržane u tijelu dojilje, u njenoj mladunčadi i količine izlučene urinom. Apsorpcija radioaktivnog olova bila je za oko tri i pol puta viša u dojilja nego u kontrolnih životinja.

Ako uzmemo u obzir da štakori u kasnom razdoblju laktacije pojedu oko dva puta više hrane od kontrolnih životinja (3), možemo pretpostaviti da bi apsorpcija radioaktivnog olova iz kontaminirane hrane u tome razdoblju laktacije bila oko sedam puta viša nego u kontrolnih životinja.

Ti rezultati ukazuju da razdoblje kasne laktacije predstavlja fazu kada znatno više količine stabilnog, odnosno radioaktivnog olova, mogu ući u organizam majke i putem mlijeka preći u dijete.

The absorption of lead-203 from the intestinal tract was investigated in female rats during the late period of lactation. The sum of the body retention of radioactive lead in mother rats and their litter and the urinary elimination of radioactive lead indicates that the absorption of an oral dose of lead-203 was about 3.5 times higher in lactating rats than in controls.

1. BARLTROP D., Postgrad. Med. J., 45, 129 (1969).
2. CANTAROW A., TRUMPER M., Lead poisoning, 40 (1944), Williams & Wilkins comp., Baltimore.
3. KOTTIAL K., GRUDEN N., DURAKOVIĆ A., Calc. Tiss. Res., 4, 13 (1969).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Novak Lj., Panov D.

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

# ODREDJIVANJE POLONIJUMA-210 U PLUĆIMA PUŠAČA I NEPUŠAČA

## Rezime

U grupi od 18 uzoraka pluća sa obdukcionog materijala kod pušača i nepušača odredjivane su koncentracije polonijuma 21o i hidroksiprolina.

Ispitivanja su pokazala da u plućima pušača postoje statistički znatno veće koncentracije polonijuma 210 i hidroksiprolina odnosno kolagena.

## Uvod

Polonijum-210 pripada šestoj grupi periodnog sistema. Poslednji je radioaktivni elemenat radijumove serije i raspada se do stabilnog olova. Emituje alfa čestice energije 5,3 MeV-a, sa vremenom poluraspada 138,4 dana. Jedinjenja polonijuma hidrolizuju u vodenim rastvorima gradeći koloide. Ova činjenica ima izvanredan radiobiološki značaj, jer se koloidni rastvori polonijuma deponuju u retikuloendotelijalnom sistemu gde vrši izrazito alfa ozračivanje ćelija pomenutih organa.

Poslednjih 35 godina veliki broj radova posvećen je izučavanju metabolizma i bioloških efekata polonijuma-210. Opisane su hematološke i histopatološke promene, koje su pokazale da polonijum najizrazitije deluje na vaskularni, renalni i respiratorni sistem (2,3,4,5,6). Krvni sudovi pokazuju sklerotične promene posle aplikacije 5-10 mikrokirija

polonijuma na kilogram telesne težine. Lezije u bubrezima zahvataju glomerularne krvne sudove i dovode do obstruktivnih i nefrosklerotičnih promena i konsekutivne hipertenzije. U respiratornom sistemu polonijum-210 izaziva hiperplastične poremećaje perivaskularnog tkiva u plućima.

Izvestan broj autora ukazuje i na karcinogeno dejstvo polonijuma (7,8,9,10).

Sva dosadašnja ispitivanja biološkog dejstva polonijuma-210 govore o izvanrednoj važnosti ovog elementa, koji se javlja kao značajan faktor radioaktivne kontaminacije čoveka.

## Radioaktivna kontaminacija polonijumom-210 putem pušenja

Pušenje je jedan od faktora koji oštećuje ljudski organizam. U mnogim zemljama predstavlja značajan zdravstveni problem. U cigaretama i duvanima identifikovano je preko 270 organskih jedinjenja i oko 15 elemenata. Najvažniji medju njima su nikotin i slični alkaloidi, aldehidi, ugljenmonoksid, cijanidi karcinogene supstance kao što su arsen, nikl, hrom i neki radioaktivni elementi, u prvom redu polonijum-210. Mnogi autori (8,9,10) smatraju da su baš polonijum i neki drugi radioaktivni elementi odgovorni za indukciju malignih oboljenja respiratornog sistema pušača. Kilibarda i saradnici (11) su našli u jugoslovenskim cigaretama 0,38±0,13 pCiPo/g a u duvanima 0,405±0,153 pCi Po/g. U urinu pušača je bilo 0,23 pCi Po/l više nego kod nepušača.

## Odredjivanje polonijuma-210 u plućima pušača i nepušača

U toku 1971.godine na osnovu ugovora sa Republičkim sekretarijatom za zdravlje i socijalnu politiku SRS i u okviru istraživačkog projekta 02-002-3*, izvršili smo u sa-

* Projekt 02-002-3 o izučavanju uticaja radioaktivnih čestica na zdravlje rudara finansira se preko medjunarodnog zavoda za tehničku saradnju sredstvima vlade U.S.A.

radnji sa Patoanatomskim institutom Medicinskog fakulteta u Beogradu odredjivanje polonijuma-210 u plućima pušača i nepušača na obdukcionom materijalu.

Metod rada

Parenhim pluća je homogenizovan do konzistencije guste kaše, pa je od homogenog uzorka odmereno 200-250 g. Ovaj materijal je preveden u suvo stanje primenom liofilizacije tj. dehidratacije zamrznutog materijala sublimacijom leda u visokom vakuumu. Uzorak, na ovaj način preveden u prah razaran je azotnom kiselinom do potpuno mineralnog ostatka, iz kojeg je polonijum izdvojen elektrodepozicijom na srebru a zatim meren na alfa brojaču.

Rezultati i diskusija

Prve rezultate ovih istraživanja prikazujemo na tab. 1 i 2.

Rezultati ovih ispitivanja pokazuju statistički značajno povećanje polonijuma-210 u plućima pušača (tab.2).

Drugi deo naših ispitivanja odnosio se na odredjivanje količine kolagena u plućima pušača i nepušača. U 18 uzoraka pluća pušača i nepušača odredjivali smo koncentraciju hidroksiprolina-aminokiseline, koja je specifična za kolagen. Rezultati ovih ispitivanja dati su na tabelama 3,4, 5 i 6. Oni pokazuju da postoji statistički značajno povećanje hidroksiprolina odnosno kolagena u grupi pušača.

Poznato je da na metabolizam kolagena znatno utiču godine starosti, pa smo pri obradi rezultata vodili računa o ovoj činjenici. Nepušači su bili u proseku nešto mladji od pušača(2,23 godine), ali ta razlika nije statistički značajna. Dobijeni rezultati ukazuju na značajno fibrogeno dejstvo pušenja u plućima pušača. U kojoj meri ovaj efekat može da se poveže sa radioaktivnim supstancama, treba da pokažu dalja ispitivanja.

TAB. 1

Koncentracija Po 210 u plućima pušača i nepušača

| Redni broj | Polonijum 210 | |
|---|---|---|
| | u plućima nepušača pCi/kg | u plućima pušača pCi/kg |
| 1 | 6,94 | 34,16 |
| 2 | 6,94 | 16,67 |
| 3 | 6,85 | 13,26 |
| 4 | 6,18 | 11,68 |
| 5 | 5,19 | 9,05 |
| 6 | 5,04 | 7,09 |
| 7 | 3,95 | 6,32 |
| 8 | 3,67 | 4,82 |
| 9 | 2,63 | 4,50 |
| S.V. ± S.D. | 5,26 ± 1,51 | 11,95 ± 8,74 |

TAB. 2

Testiranje statističke značajnosti razlika koncentracija Polonijuma 210

| | Broj slučajeva (n) | Srednja vrednost ($\bar{x}$) | Standardna devijacija ($\sigma$) | t (test) P ≤ |
|---|---|---|---|---|
| Pušači | 9 | 11,95 | 8,74 | 2,268 |
| Nepušači | 9 | 5,26 | 1,51 | 0,05 |

TAB. 3

Koncentracija hidroksiprolina i kolagena u plućima pušača

| Prezime i ime | Godine starosti | Hidroksiprolin g/1oo g suvog tkiva | Kolagen % |
|---|---|---|---|
| 1. Dj. V. | 65 | 1,62 | 12,15 |
| 2. L.A. | 57 | 2,o8 | 15,6o |
| 3. B.T. | 78 | 1,66 | 12,45 |
| 4. B.Ž. | 65 | 1,76 | 13,2o |
| 5. N.Č. | 4o | 1,o6 | 7,95 |
| 6. K.H. | 7o | 1,34 | 1o,o5 |
| 7. Ž.R. | 47 | 1,22 | 9,15 |
| 8. Lj.P. | 58 | 1,14 | 8,55 |
| 9. R.C. | 6o | 1,86 | 13,95 |
| Srednja vrednost | 6o,oo | 1,527 | 11,45 |

TAB. 4

Koncentracija hidroksiprolina i kolagena u plućima nepušača

| Prezime i ime | Godine starosti | Hidroksiprolin g/1oo g suvog tkiva | Kolagen % |
|---|---|---|---|
| 1. F.B. | 74 | 1,32 | 9,9o |
| 2. L.A. | 5o | o,68 | 5,1o |
| 3. S.Č. | 52 | 1,22 | 9,15 |
| 4. S.Ž. | 61 | 1,4o | 1o,5o |
| 5. S.A. | 71 | o,94 | 7,o5 |
| 6. J.B. | 5o | o,8o | 6,oo |
| 7. M.V. | 52 | 1,o8 | 8,1o |
| 8. N.N. | 5o | 1,o4 | 7,8o |
| 9. Ž.S. | 6o | o,96 | 7,2o |
| Srednja vrednost | 57,77 | 1,o48 | 7,866 |

TAB. 5

Koncentracija hidroksiprolina u plućima pušača i nepušača

| | Broj ispitivanih (n) | God. starosti | | Hidroksiprolin g/100 g suvog tkiva | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | sred. vr. ($\bar{x}$) | standard. devijac. ($\sigma$) | sred. vr. ($\bar{x}$) | standard. devijac. ($\sigma$) |
| Pušači | 9 | 60,00 | 10,820 | 1,527 | 0,331 |
| Nepušači | 9 | 57,77 | 8,891 | 1,048 | 0,220 |

TAB. 6

Testiranje značajnosti razlika u srednjim vrednostima hidroksiprolina u pušača i nepušača

| | | Broj ispitivanih (n) | Srednja vrednost ($\bar{x}$) | Statistička značajnost |
|---|---|---|---|---|
| Godine starosti | Pušači | 9 | 60,00 | t=3,601 |
| | Nepušači | 9 | 57,77 | $P \leq 0,005$ |
| Hidroksiprolin g/100 suvog tkiva | Pušači | 9 | 1,527 | t=0,487 |
| | Nepušači | 9 | 1,048 | - |

THE DETERMINATION OF POLONIUM 210 IN THE SMOKERS AND NON SMOKERS LUNG'S

Novak Lj., Panov D.

Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović" Beograd

Summary

The concentrations of 210 Po and hydroxyproline have been determined in the group of 18 lung samples taken from the autopsy material of smokers and non-smokers.

The investigations indicated to the statistically significant higher levels of 210 Polonium and hydroxyproline or collagen concentrations in the lungs of smokers.

Bibliografija


1. Fink R.M.
National Nuclear Energy Series, New York, MaGraw-Hill, Book Company, Inc. pp 1-53 (195o)

2. Fernan A., Schramek Z.
Strahlentherapie, 3. 333-342(1913)

3. Lacassagne A. and Lattèt J.
Compt. rend. Soc. de biol. lo,352-353(1924)

4. Lacassagne A., Levaditi C., Lattès J., and Nicolau S.
Compt. rend. Soc. de biol. 94,1179-118(1926)

5. Lattèt J.S., and Lacassagne A.
J. de Radiol. et d'electroli.12-16-19(1928)

6. Casarett J.L.
Radiation Research supplement, 5., 187(1964)

7. Yuile C., Berke H., and Hull T.
Radiation Research 31. 76o-774(1967)

8. Radford P.E., and Hunt R.V.
Science, 143, 249 (1964)

9. Rajewski B. and Stahlhofen W.
Nature 2o9, 1312-1313(1966)

lo. Lorant M.
Med. Klin. (Munich), 59,11o6-11o7(1964)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Panov D., Petrović D., Ranković M.

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

# EKSKRECIJA POLONIJUMA 210 POSLE EKSPOZICIJE ZEČEVA RADONU

Rezime

Na grupi od 16 zečeva ispitivana je ekskrecija polonijuma 210, urinom i fecesom.

U eksponovanoj grupi zečeva nadjeno je statistički značajno povećanje polonijuma 210 u odnosu na kontrolnu grupu. Odnos fekalne i urinarne ekskrecije iznosio je 4,15:1.

## Uvod

U toku poslednjih 5o godina veliki broj radova posvećeno je istraživanju o sudbini polonijuma 210 u organizmu.

U toku II svetskog rata a posebno posle rata vršena su intenzivna istraživanja na mnogim radioaktivnim supstancijama u vezi sa primenom nuklearne energije u vojne i civilne svrhe.

Fink (1) je objavio opširnu monografiju o polonijumu, radiumu i plutoniumu. U monografiji se navodi da posle i.v. injekcije polonijum hlorida pacovima prvog dana se u mokraći izluči o,19% dok se posle 3o dana količina izlučivanja stabilizuje na o,13% na dan. Fekalna ekskrecija je prvog dana 3o puta veća od urinarne ekskrecije, pedesetog dana 6 a

stotog 5 puta veća. Posle oralne administracije istog jedinjenja distribucija je bila slična. Ekskrecija polonijuma 21o preko urina je oko 1oo puta veća nego posle i.v. administracije. Eksperimenti s inhalacijom ukazuju da se 3o-1oo% inhaliranog poloniuma zadržava i resorbuje u plućima a distribucija je slična kao kod i.v. administracije.

Prilikom eksperimenata na ljudima, izlučivanje u mokraći prve nedelje iznosilo je o,1% na dan a posle 4o dana o,o3%. Izlučivanje fecesom je bilo 1o-2o puta veće.

Distribucija polonijuma posle inhalacije je veoma detaljno studirana (2,3,8). U toku prvih 3o dana polonijum se uklanja iz pluća prema eksponencijalnoj jednačini (2). Kod inhalacije odnos fekalnog izlučivanja prema urinarnom iznosi 6:1.

Ekskreciju polonijuma 21o posle inhalacije radona i produkata njegovih raspada izučavali su niz autora (4, 5,6,7). Neki od autora(4,5,6) ispitivali su mogućnost utvrdjivanja integralne kontaminacije radonom i produktima raspada preko odredjivanja polonijuma 21o u urinu radnika.

## Metod rada

Ispitivanja su izvršena na grupi od 16 zečeva, prosečne težine od 2ooo grama i starosti 9o dana.

Ekspozicija je izvršena u zatvorenom sistemu u komori 6 sati dnevno u trajanju od 3o dana.
Ekspozicija je praćena u toku 4o dana od početka ekspozicije. U toku eksponovanja i posle eksponovanja odvojeno su sakupljani 24 h uzorci urina i fecesa u kojima je odredjivan polonijum 21o.

Mikroklimatski uslovi u komori bili su u granicama normale.

Srednje koncentracije radona u komori iznosile su $3.10^{-7}$ Ci/l. radona u vazduhu.

## Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanja dati su na tab. 1 i dijagramu 1. Testiranje značajnosti razlika dato je na tabeli 2.

Analiza ovih rezultata pokazuje da postoji značajno povećanje ($t=2,31$ uz $P \leq 0,05$ odnosno $t=2,25$ pri $P \leq 0,05$) ekskrecije polonijuma 210 kod eksponovanih životinja u odnosu na kontrolnu grupu. Izlučivanje polonijuma 210 u prvim danima posle ekspozicije je povećano a posle toga se približno ujednačava sa naglim padom posle prestanka ekspozicije. Varijacije količine ekskrecije, fecesom i urinom su vrlo velike i kretale su se u urinu od 0,59 do 1,72 a fecesu 2,13 do 6,56 pCi/24 h. Odnos fekalne prema urinarnoj ekskreciji bio je 4,15:1. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima koje su našli Berke i Dipasqua (8), posle multipne inhalacije rastvorljivih jedinjenja polonijuma 210.

Ispitivanje korelacije izmedju koncentracija polonijuma 210 u urinu i fecesu i koncentracije radona u vazduhu komore, pokazuje da ne postoji korelacija izmedju ovih vrednosti.

Ukupna ekskrecija pokazuje znatno povećanje ekskrecije prvih dana posle ekspozicije, dok je kasnije ona znatno ujednačena. Ovi podaci su u saglasnosti sa ispitivanjima Stannarda i Baxtera (9), da je ekskrecija polonijuma 210 posle ponovljene doze manja u odnosu na jednokratnu aplikaciju i da je efektivni poluživot polonijuma pri ponovljenoj aplikaciji 40 dana, dok je kod jednokratne aplikacije 30 dana.

Ispitivanja Berkea i Dipasqua (8) su pokazala da posle ponovljene inhalacije polonijum 210, veće koncentracije polonijuma 210 se nalaze u gastrointestinalnom traktu oko 70% od telesnog depoa, a u plućima oko 30%, dok kod jednokratne inhalacije u respiratornom traktu se deponuje 46% a u g.i. traktu 54%. Ovo objašnjava smanjenu i zakasnelu ekskreciju posle višekratne inhalacije.

Naši rezultati su pokazali statistički značajno povećanje ekskrecije polonijuma 210 kod eksponovane grupe životinja (tab.2) i ona nisu u saglasnosti sa ispitivanjima Suzukia (6) koji tvrdi da polonijum 210 u urinu eksponovanih osoba u u rudnicima urana potiče od inhaliranog polonijuma 210 putem prašine.

Zaključak

1. Rezultati ispitivanja ekskrecije polonijuma 210 kod životinja eksponovanih zečeva radonu su pokazali statistički značajno povećanje koncentracija polonijuma 210 u urinu i fecesu u odnosu na kontrolnu grupu životinja.

2. Fecesom se oko 4 puta više izlučuje polonijum 210 u odnosu na ekskreciju urinom.

3. Ne postoji korelacija izmedju koncentracija polonijuma 210 u urinu i fecesu i koncentracija radona u vazduhu.

## 210 POLONIUM EXCRETION FOLLOWING TO EXPOSURE OF RABBITS TO RADON

Panov D., Petrović D., Ranković M.

Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović" Beograd

Summary

Urinary and faeces 210 Polonium excretion have been investigated in the group of 16 rabbits.

Statistically significant increase of 210 Po has been found in the exposed group of rabbits relative to the control group. The relation between faeces excretion and urinary excretion was found to be 4,15:1.

TAB. 1

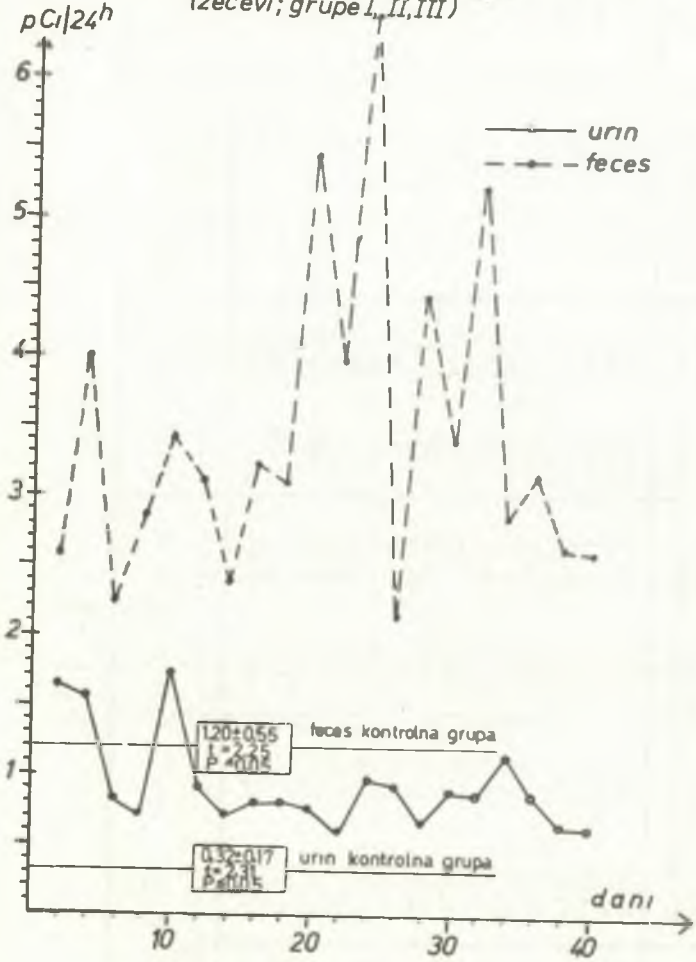
Koncentracija polonijuma 21o u urinu i fecesu eksponovanih zečeva

| Red. br. | grupa I pCi/24 h urin srednje vrednosti | grupa I pCi/24 h feces srednje vrednosti | grupa II pCi/24 h urin srednje vrednosti | grupa II pCi/24 h feces srednje vrednosti | grupa III pCi/24h. urin srednje vrednos | grupa III pCi/24h. feces srednje vrednos | Kontrola pCi/24 h urin srednje vrednosti | Kontrola pCi/24 h feces srednje vrednosti | Zbirne srednje vredn. urin | Zbirne srednje vredn. feces |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,o2 | 1,61 | 3,11 | 4,5o | o,8o | 1,62 | o,5 | 1,6 | 1,64 | 2,57 |
| 2 | o,63 | 1,92 | 3,43 | 8,o2 | o,63 | 2,o7 | o,2 | 1,8 | 1,56 | 4,oo |
| 3 | o,38 | 1,96 | 1,23 | 3,61 | o,7o | 1,12 | o,4 | 1,1 | o,81 | 2,23 |
| 4 | o,6o | 2,35 | 1,o9 | 5,o7 | o,43 | 1,21 | o,2 | o,3 | o,7o | 2,87 |
| 5 | o,88 | 1,74 | 3,82 | 2,85 | 1,72 | 5,72 | - | - | 1,72 | 3,43 |
| 6 | 1,27 | 2,o2 | o,82 | 3,28 | o,65 | 4,o3 | - | - | o,91 | 3,11 |
| 7 | o,77 | 3,5o | o,86 | 2,49 | o,5o | 1,o7 | - | - | o,71 | 2,35 |
| 8 | 1,1o | 3,89 | o,73 | 1,41 | o,52 | 4,38 | - | - | o,78 | 3,22 |
| 9 | 1,36 | 3,15 | o,43 | 3,58 | o,53 | 2,54 | - | - | o,77 | 3,o9 |
| 1o | 1,o6 | 3,68 | o,57 | 6,65 | o,55 | 6,o4 | - | - | o,72 | 5,45 |
| 11 | o,69 | 2,5o | o,6o | 3,99 | o,48 | 5,43 | - | - | o,59 | 3,97 |
| 12 | o,95 | 3,26 | 1,o4 | 1o,5o | o,92 | 5,94 | - | - | o,97 | 6,56 |
| 13 | 1,o2 | 1,87 | o,68 | 2,72 | 1,11 | 1,81 | - | - | o,93 | 2,13 |
| 14 | 1,o3 | 3,42 | o,35 | 7,o2 | o,65 | 2,96 | - | - | o,67 | 4,46 |
| 15 | 1,o3 | 4,o6 | o,7o | 2,2o | o,96 | 3,95 | - | - | o,89 | 3,4o |
| 16 | 1,22 | 6,36 | o,54 | 4,7o | o,79 | 4,6o | - | - | o,85 | 5,26 |
| 17 | 1,94 | 3,64 | o,63 | 1,14 | o,85 | 3,78 | - | - | 1,14 | 2,85 |
| 18 | o,95 | 5,o1 | o,56 | o,84 | 1,o6 | 3,46 | - | - | o,85 | 3,16 |
| 19 | o,56 | 5,13 | o,43 | o,51 | o,94 | 2,27 | - | - | o,64 | 2,63 |
| 2o | o,85 | 3,6o | o,35 | 1,62 | o,71 | 2,61 | - | - | o,63 | 2,61 |
| Sred. vred | o,97 | 3,24 | 1,o9 | 3,83 | o,71 | 3,33 | o,32 | 1,2o | o,93 | 3,46 |
| St.dev. | ±o,33 | ±1,73 | ±1,o3 | ±2,53 | ±o,21 | ±1,82 | ±o,17 | ±o,55 | ±o,52 | ±1,96 |
| | | | | | | | | | $\frac{f}{u}$ = 4,15 | |

DIJAGRAM 1

ZBIRNE SREDNJE VREDNOSTI POLONIJUMA 210 U URINU I FECESU U pCi $24^h$

(zecevi; grupe I, II, III)



TAB. 2

Testiranje značajnosti razlika polonijuma 210 u urinu i fecesu zečeva eksponovanih radonu i kontrolne grupe

| | | | Broj uzoraka (n) | Srednja vrednost ($\bar{x}$) | Standardna devijacija | Diferencijala srednjih vrednosti | t (test) P ≤ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pCi/24 h. | urin | Eksp. grupa | 20 | 0,92 | 0,52 | 0,60 | 2,31 |
| | | Kontrola | 4 | 0,32 | 0,17 | | P ≤ 0,05 |
| | feces | Eksp.grupa | 20 | 3,46 | 1,96 | 2,26 | 2,25 |
| | | Kontrola | 4 | 1,20 | 0,55 | | P ≤ 0,05 |
| $10^{-14}$ Ci/ml/gr | urin | Eksp.grupa | 20 | 1,43 | 0,60 | 0,93 | 3,04 |
| | | Kontrola | 4 | 0,50 | 0,14 | | P ≤ 0,01 |
| | feces | Eksp.grupa | 20 | 12,22 | 6,79 | 9,82 | 2,84 |
| | | Kontrola | 4 | 2,40 | 1,13 | | P ≤ 0,01 |

Bibliografija


1. Fink R. i saradnici:
National Nuclear Series, Div. VI, vol 3.
McGraw-Hill Book Co, New-York (195o)

2. Berke L.H. and Di Pasqua C.A.
University of Rochester Atomic Energy Project,
Repport, UR-495(1957)

3. Berke L.H., Di Pasqua C.A.
Radiation Research supplement 5, 133-147(1964)

4. Sultzer M.and Hursh B.J.
Arch. Ind. Hyf. and occup. M., 9:89-loo(1954)

5. Djurić D., Panov D., Kilibarda M., Novak Lj. and Vukotić M.
Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vol. II.p.431, Vienna (1964)

6. Suzuki M. et al.
National Institute of radiological Sciences
9-1-4, Chome, Anagawa Chiba-SAI, Japan(1967)

7. Panov D.
Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu
Medicinski fakultet (197o)

8. Berke L.H. Di Pasqua C.A.
The University of Rochester A.E. Project
UR-573, New-York (196o)

9. Stannard N.J., and Baxter C.R.
Radiol.Res., Supplement 5, 8o-92(1964)

VI simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Danka Peričić i Živan Deanović
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# IZLUČIVANJE NEKIH METABOLITA BIOGENIH AMINA U OZRAČENIH BOLESNIKA

Metaboliti kateholamina i serotonina određivani su u 24-satnom urinu bolesnica s karcinomom uterusa, koje su zračene u terapijske svrhe. Liječenje je vršeno rendgenskim zrakama (dva prednja i dva stražnja abdominalna polja, ukupna doza 12000 rada) i gama zrakama radija koji je stavljan intrakavitarno (ukupno 7360 mg element sati). Neposredno nakon rendgenskog zračenja dolazi do porasta u izlučivanju metabolita kateholamina. Naprotiv, izlaganje organizma gama zrakama dovodi do signifikantnog porasta vanililbademove i homovanilne kiseline, ali tek u toku prvog i drugog dana nakon odstranjivanja Ra izvora iz tijela. U isto vrijeme zapažena je tendenca ka porastu i ostalih ispitivanih metabolita.

Dobivene razlike u reakciji organizma na X i gama zračenje izgleda da su uvjetovane kako razlikom u brzini doze tako i razlikom u volumenu ozračenog tkiva.

## U v o d

Još 1932. godine Ellinger je pretpostavljao, da u ozračenom organizmu dolazi do oslobađanja biogenih amina, u prvom redu histamina. Upravo pojavu slobodnog histamina taj je autor povezivao s nizom promjena koje se javljaju kao reakcija na ozračenje. Kasnije pridolaze stvarni dokazi za oslobađanje brojnih biogenih amina u ozračenom organizmu. Nakon ozračenja cijelog tijela u plućima se smanjuje količina histamina (1) u krvi, slezeni, mozgu i u tankom crijevu opada količina serotonina (2), dočim je u meduli nadbubrežne žlijezde nađen smanjen sadržaj adrenalina i noradrenalina (3). U urinu ozračenih mogu se, naprotiv, naći povećane količine amina (4). Paralelno s promjenom aminskog sadržaja, mijenja se i količina izlučenih metabolita. Izlučivanje 5-hidroksiindoloctene kiseline (5-HIAA), koja je glavni metabolit 5-hidroksitriptamina, povećano je i ovisno o dozi ozračenja (5). Nakon lokalnog terapijskog zračenja u ljudi nisu nađene promjene u izlučivanju 5-HIAA koje bi u potpunosti odgovarale onima u životinja.

Dosadašnji podaci o izlučivanju 5-HIAA u ozračenih bolesnika nisu jednoznačni (6,7,8), a podaci o promjenama ostalih metabolita biogenih amina - kao npr. metabolita kateholamina - u mokraći ozračenih za sada ne postoje. Zbog toga smo htjeli ispitati kako djeluje terapijsko zračenje bolesnika na izlučivanje metabolita biogenih amina u prvom redu kateholamina.

M e t o d i k a

Ispitivanja su vršena na bolesnicama s karcinomom uterusa koje su podvrgnute zračenju u terapijske svrhe. Bolesnice su bile najprije ozračene gama zrakama radija (aktiviteta 80 mCi) koji je stavljan intrakavitarno po 46 sati, 2 puta unutar 14 dana, što iznosi ukupno 7360 mg element sati. Različito dugo vrijeme nakon gama zračenja (prosječno mjesec dana) vršena je rendgen terapija. Zračena su dva prednja i dva stražnja abdominalna polja (15 x 10 cm). Ukupna doza koju su primale bolesnice iznosila je 12 000 rada, a bila je raspodijeljena na 15 ili 20 dana tj. 800 odnosno 600 rada dnevno. Uvjeti ozračivanja bili su: 220 kv, 18 mA, udaljenost fokusa od kože - 50 cm, filter Th 1, brzina doze iznosila je 46,87 R/min. U 24-satnom urinu bolesnica (skupljan 3 dana prije početka kao i u periodu terapije zračenjem) određivani su metaboliti kateholamina i serotonina. U vrijeme sakupljanja urina od bolesnica se zahtijevalo da izbjegavaju hranu bogatu dotičnim aminima.

U urinu su određivani slijedeći metaboliti kateholamina: deaminirani metaboliti, naime 3-metoksi-4-hidroksi-bademova kiselina (VMA), slobodni 3-metoksi-4-hidroksi-fenilglikol (MHPG) - određivani modificiranom Pisanovom metodom (9), 3-metoksi-4-hidroksi-feniloctena ili homovanilna kiselina (HVA) - određivana po Sato-u (10), te O-metilirani metaboliti kateholamina tj. metadrenalin i normetadrenalin (11). Također je određivana i 5-HIAA, glavni metabolit 5-hidroksitriptamina (12).

R e z u l t a t i i d i s k u s i j a

Rezultati dobiveni u toku terapije gama zrakama radija prikazani su u tabeli 1. Prikazane vrijednosti su srednje vrijednosti dobivene od dviju bolesnica u toku dva kontrolna dana, dva dana Ra-terapije, te dva dana nakon odstranjivanja Ra-izvora iz tijela.

Vidi se da postoji tendencija opadanja količine izlučenih metabolita za vrijeme aplikacije radija; ta tendencija najviše je izražena kod 5-HIAA, no ta razlika nije signifikantna. Tek u toku prvog i drugog dana nakon odstranjivanja radija, dolazi do porasta izlučenih metabolita. Taj porast jedino je signifikantan kod vanililbademove i homovanilne kiseline. Valja napomenuti da i nakon druge aplikacije radija dolazi također do većeg

izlučivanja 5-HIAA i metabolita kateholamina, što je bilo kod jedne pacijentice jače, a kod druge slabije izraženo. Dobivene vrijednosti nismo preračunali na kreatinin (iako je kreatinin u svakom uzorku urina bio određivan), jer smo u jednom slučaju vidjeli da se i izlučivanje kreatinina može znatno mijenjati pod utjecajem zračenja.

TAB. br. 1.

Gama zračenjem (Ra) uvjetovane promjene u izlučivanju metabolita kateholamina i serotonina.

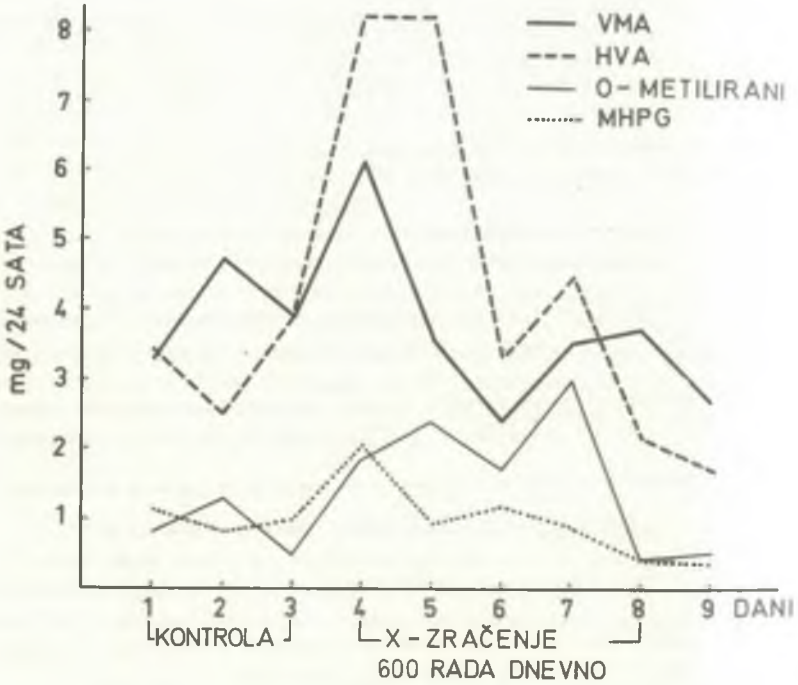
| | 2 dana prije Ra aplikacije ($\bar{X} \pm SE$) 1) | Tokom 2 dana Ra aplikacije ($\bar{X} \pm SE$) 2) | 2 dana poslije Ra aplikacije ($\bar{X} \pm SE$) 3) |
|---|---|---|---|
| V M A | 3,074 ± 0,248 | 2,724 ± 0,372 n.s. | 4,518 ± 0,319 $P < 0,02$ |
| M H P G | 0,345 ± 0,071 | 0,305 ± 0,055 n.s. | 0,520 ± 0,091 n.s. |
| O-metilirani met. | 1,808 ± 0,436 | 1,190 ± 0,341 n.s. | 2,730 ± 0,372 n.s. |
| H V A | 1,519 ± 0,238 | 1,558 ± 0,350 n.s. | 3,706 ± 0,564 $P < 0,02$ |
| 5-H I A A | 4,401 ± 0,586 | 3,013 ± 0,201 n.s. | 4,951 ± 0,533 n.s. |

Značajnost razlika između vrijednosti u kolonama 2) : 1) kao i 3) : 1) izračunavana je t-testom.

Rendgensko zračenje izaziva promjene koje su nešto drukčije od onih kod terapije radijem (Slika 1). Naime, već prvog dana zračenja može se naći porast svih metabolita kateholamina. Dok se VMA i MHPG vraćaju već drugog dana na normalne vrijedno-

sti, O-metilirani metaboliti ostaju povišeni 3-4 dana. Kad se zračenje izostavi (sedmog dana), sve se vrijednosti vraćaju na normalu. Ponovno ozračivanje izaziva novi neposredan porast izlučenih metabolita, ali ovaj porast nije više tako izrazit kao nakon prvog izlaganja zračenju.

Slika 1




Metaboliti kateholamina u urinu bolesnioa liječenih X - zračenjem.

Kad zračenje traje duže vrijeme (pratili smo 3 tjedna) promjene u izlučivanju metabolita kateholamina nisu tako pravilne kao tokom prvog tjedna.

Do sada su obrađene dvije bolesnice liječene samo radijem, jedna liječena samo rendgenskim zračenjem, dok je kod jedne bolesnice praćeno izlučivanje svih spomenutih metabolita u toku liječenja radijem i kasnije u toku liječenja X-zračenjem. Rezultate dobivene kod ove posljednje bolesnice nismo prikazali. Naime, njezino opće stanje bilo je uslijed uznapredovalog neoplastičkog procesa vrlo loše (teška anemija, marazam), pa izgleda da se nešto drugačiji rezultati mogu upravo tome pripisati.

Ovi rezultati, iako preliminarni, ukazuju da djelomično ozračivanje izaziva povećano oslobađanje metabolita kateholamina, a također i 5-HIAA u ljudi. Za razliku od rendgenskog zračenja koje izaziva u bolesnica neposredan odgovor, reakcija na terapiju radijem je zakašnjela, naime, javlja se tek 1 odnosno 2 dana nakon odstranjivanja radioaktivnog izvora iz tijela.

Pričinja se, da je promptna reakcija koja uslijedi nakon X-zračenja, odgovor organizma na stres. Međutim, intrakavitarno unošenje radija predstavlja za organizam daleko veći stres, a ipak u toku Ra-terapije ne dolazi do neposrednog porasta u izlučivanju ispitivanih metabolita. Taj nalaz govorio bi da se stvarno ne radi o odgovoru na stres, već o nekom posebnom djelovanju koje je ovisno o vrsti, a naročito o načinu aplikacije samog zračenja. Dobivene razlike u reakciji organizma na zračenje mogli bismo objasniti većim volumenom intenzivno ozračenog tkiva kod rendgenskog ozračenja kao i većom brzinom doze pri aplikaciji ove terapije (600 R u 12 min. 8 sek.).

Ispitivanja na većem broju bolesnica, vjerojatno će potvrditi i učvrstiti dosadašnje nalaze.

S u m m a r y

The urinary excretion of metabolites of catecholamines (3-methoxy-4-hydroxy-mandelic acid, free 3-methoxy-4-hydroxyphenylglicol, homovanillic acid as well as metadrenalin and normetadrenalin) and serotonin (5-hydroxyindoleacetic acid) was determined in patients from Gynaecological Clinic, bearing a genital carcinoma and submitted to therapeutical irradiation. The patients were locally irradiated with gamma rays from radium source (applied intra utero during 46 hours), and with X-rays

(12 000 rads in course of 20 days). It was found that there is a significant increase in excretion of 3-methoxy-4-hydroxy-mandelic acid and homovanillic acid on the first and second day after removal of Ra-source; there is also a tendency of an increased excretion of other metabolites examined. On the other side, a considerable increase of all excreted metabolites of catecholamines was found already on the first day of X-irradiation. Different reactions of the organism to X and gamma irradiation may be explained by different dose rate of irradiation as well as by different volume of irradiated tissue.

L i t e r a t u r a

1) Beaumariage M.L., Lecomte J., C.R.Soc.Biol., 151, 1976 (1957).
2) Ershoff B.H., Hellmers R., Wells A.F., Proc.Soc.Exp.Biol.Med., 110, 536 (1962).
3) Goodall Mc.C., Long M., Am.J.Physiol., 197, 1265 (1959).
4) Franzen F., Gross H., Thielicke G., Strahlentherapie, 120, 598 (1963).
5) Deanović Ž., Supek Z., Randić M., Int.J.Rad.Biol., 7, 1 (1963).
6) Bettendorf G., Moje A.P., Schmermund H.J., Strahlentherapie 117, 370 (1962).
7) Naftalin L., II Internat.Congress Radiat.Research (Abstracts), Harrogate, 88 (1962).
8) Smith H., Langlands A.O., Int.J.Rad.Biol., 11, 487 (1966),
9) Sapira J.D., Clin.Chim.Acta, 20, 139 (1968).
10) Sato T.L., J.Lab.& Clin. Med., 66, 517 (1965).
11) Pisano J.J., Cli.Chim.Acta, 5, 406 (1960).
12) Dalgliesh C.E., Advanc.Clin.Chem., 1, 207 (1958).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid, 25.-28. aprila 1972

B.Petrović , B.Draganović, B.Češkov, D.Šuvakov

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi,veterinarstvu i šumarstvu - Zemun
Veterinarski institut - Novi Sad
Institut za stočarstvo i veterinarstvo - Skopje

# TOPOGRAFSKA ANALIZA RADIOAKTIVNIH REZIDUA U ORGANIMA I KONZUMNOM MESU VODENE PERADI (guska,plovka)

## Kratak sadržaj

Ispitivana je topografija distribucije radioaktivnih rezidua, datih kao ukupna beta-aktivnost , u organima i konzumnom mesu domaće vodene peradi .

Ispitivanja su izvršena na guskama i plovkama domaće rase, oba pola, starosti oko jedne godine , a prosečne težine oko 2000 grama . U radu je opisana i grafički prikazana tehnika dobijanja uzoraka za radiometriju , koja je vršena na brojaču za merenje niske aktivnosti ( LOLA-4) .

Dobijeni rezultati pokazuju da su nivoi ukupne beta - aktivnosti u pojedinim organima ispitivanih životinja različiti, što je uslovljeno funkcionalnim karakteristikama i morfologijom organa ovih dveju vrsta životinja, njihovom načinu ishrane , uzgoja i sl .

## UVOD

Opasnost od inkorporacije radioaktivnih materija u organizam čoveka nastaje uzimanjem kontaminirane hrane i vode , odnosno konzumiranjem namirnica biljnog i animalnog porekla, kao i inhaliranjem radioaktivnih aerosola . Zbog toga je postalo od izvanrednog značaja poznavanje "granice opasnosti" ili tzv. maksimalno dozvoljene količine prisutnih radionuklida .

Sa gledišta radijacione higijene značajno je poznavanje stepena ukupne beta-radioaktivnosti u organizmu pojedinih vrsta životinja , kao i konzumne vrednosti takvih životinja .

U okviru radijaciono-higijenskih ispitivanja , koja se poslednjih godina sistematski vrše i kod nas , u ovom radu biće prikazana topografska raspodela radioaktivnih rezidua (datih kao ukupna beta-aktivnost) u konzumnom mesu i organima vodene perad i .

## MATERIJAL I TEHNIKA RADA

Za ispitivanje ukupne beta-aktivnosti korišćeni su uzorci koji su dobijeni od gusaka i plovki domaće rase , oba pola , starosti oko 1. godine, a prosečne težine oko 2000 grama . Za oglede su žrtvovane uvek po tri guske i plovke i uzeti reprezentativni uzorci , koji su stavljani u polivinilske kese , pri čemu je izvršena grupacija uzoraka na četiri grupe (sl.1) . Do upotrebe uzorci su čuvani na temperaturi od 3°C .

Tehnika rada sastojala se od nekoliko odredjenih operacija , koje su šematski prikazane (sl. 2) .

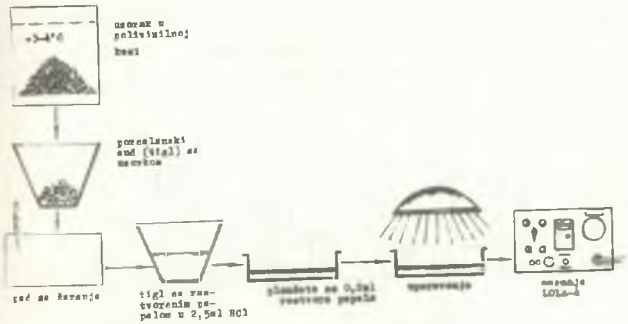
## REZULTATI

Radi bolje preglednosti , dobijeni rezultati predvidjeni planom ispitivanja , prikazani su grafički ( graf.1-4 ) .

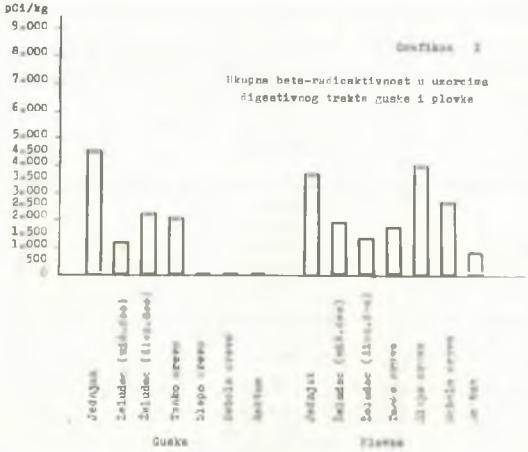
Postojeće razlike u distribuciji i količini prisutnih radioaktivnih rezidua pojedinih unutrašnjih organa (srce, pluća, jetra, slezina , bubrezi i pojedini delovi digestivnog trakta ), kao i u konzumnom mesu ( bela i crna muskulatura) , odnosno u različitim kostima , posledica su morfološke strukture i funkcionalnih karakteristika , zatim načina ishrane i gajenja , kao i niza drugih , a posebno ekoloških faktora vezanih za ove dve vrste domaće vodene perad i .

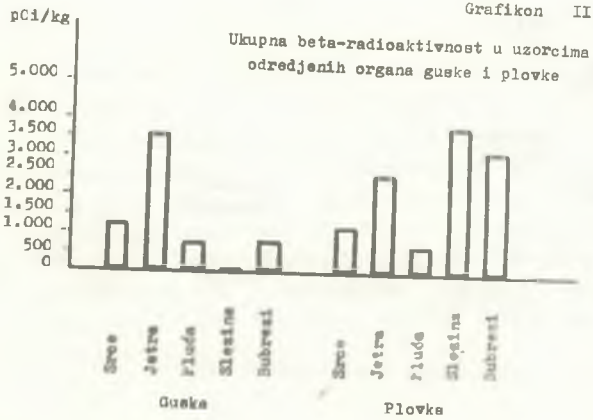
Tabela I

| | | |
|---|---|---|
| DIGESTIVNI TRAKT | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6<br>7 | Jednjak<br>Želudac (mišićni deo)<br>Želudac (žlezdani deo)<br>Tanko crevo<br>Slepo crevo<br>Debelo crevo<br>Rektum |
| ORGANI | 1<br>2<br>3<br>[illegible]<br>[illegible] | Srce<br>Jetra<br>Pluća<br>Slezina<br>Bubrezi |
| MIŠIĆI | 1<br>2 | Crni mišići<br>Beli mišići |
| KOSTI | 1<br>2<br>3<br>4 | Tibija<br>Humerus<br>Sternum<br>Rebra |

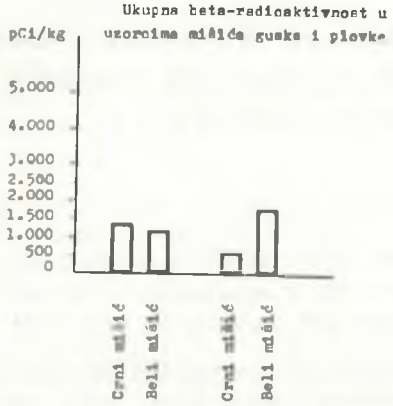



Sl. 1. - Šematski prikaz tehnike rada

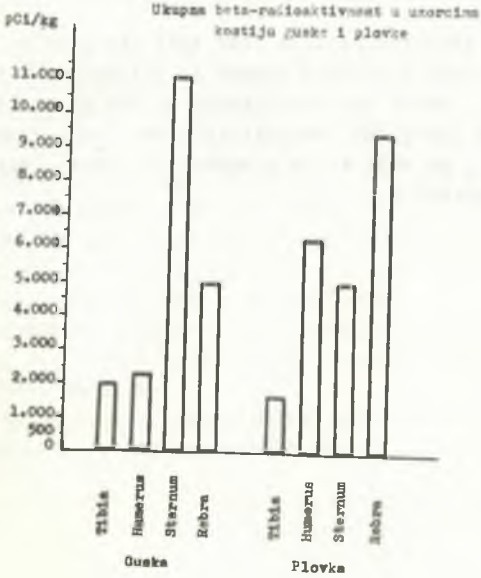

pCi/kg
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.500
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
Grafikon I
Ukupna beta-radioaktivnost u uzorcima
digestivnog trakta guske i plovke
Guske
Plovke


Grafikon II
pCi/kg
Ukupna beta-radioaktivnost u uzorcima
odredjenih organa guske i plovke
5.000
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
Srce
Jetra
Pluća
Slezina
Bubreži
Srce
Jetra
Pluća
Slezina
Bubreži
Guske
Plovke

Grafikon III




Grafikon IV



# TOPOGRAPHYC ANALYSIS OF THE RADIACTIVE RESIDUES IN ORGANS AND CONSUMPTION MEAT IN DOMESTIC WATER -FOWL

Topography of distribution of the radioactive residues, presented as total beta-activity, was investigated in organs and consumption meat in domestic water-fowl .

The examinations ware carried out geese and ducks - home breed , both sexes , about 1 year old , app. weight 2000 gr . In this work is described and graphically presented the technique for abtaining of samples for radiometry , which was performed on the low activity counter (LOLA-4) .

The obtained results show that the levels of the total beta activity in single organs of the examined animals were different , which was conditioned by the morphological structure and functional characteristics , way of nutrition and breeding , as well as by a number of other , particularly ecological factors .

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mr.R.G. Radovanović
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SR Srbije
"Dr Dragomir Karajović" - Beograd

# IZLOŽENOST ZRAČENJU I KONTAMINACIJI LJUDI PRI BALNEOLOŠKOJ TERAPIJI

Rezime

U ovom radu prezentirani su rezultati istraživanja ozračenja populacije na teritoriji SR Srbije.

Opisane su vrednosti koje su neophodne za ocenu izloženosti zračenju i kontaminaciji ljudi pri balneološkoj terapiji.

Izračunate su doze ozračenja pacijenata za različite procedure balneoterapije u Niškoj Banji.

## Uvod

Kao početak proučavanja uloge radionuklida i njihovih zračenja u balneološkoj terapiji može se uzeti otkriće prisustva radona u termalnim - mineralnim vodama, koje su 1904.godine objavili P.Curie et E. Laborde (1), te H. Mache (2).

Interes za prisustvo prirodnih radionuklida u ovim vodama bio je karakterističan i na našem terenu. Poznat je podatak da je F. Brösler (3) 1908. godine izmerio koncentracije radona u vodi i gasovima iz Stubičkih Toplica. U većoj ili manjoj meri takav interes održan je do danas.

U proteklom periodu ocena uloge prirodnih radionuklida i njihovih zračenja u balneološkoj terapiji prošla je kroz tri karakteristične faze:

I. Do 1924-1930.godine radon je smatran čudotvornim lekom sposobnim da izleči mnoge bolesti.

II. Od 1924-1930 do 1950. godine došlo je do promene ocene patogene uloge radona. Otvoreno je pitanje uloge malih doza ozračenja ljudskog organizma, koje je i u ovom trenutku aktuelno.

III. Pitanje ozračenja ljudskog organizma pri balneološkoj terapiji nakon 1950.godine karakteriše dozimetrijski pristup.

## Osnovi koncenpcije za proučavanje ozračenja i kontaminacije ljudi pri balneološkoj terapiji

U životnoj sredini čovek se nalazi u prirodnom radijacionom polju koje sa ljudskim organizmom interaguje integralno, kako u odnosu na izvore zračenja, tako i po putevima kontaminacije. Složena kriterijalna funkcija povezuje nivo radijacionog polja u životnoj sredini i odgovor ljudskog organizma na to polje. Ljudsku populaciju iz odredjene životne sredine, najverovatnije na odredjen način karakteriše i nivo radijacionog polja te sredine, kao što je karakteriše i niz drugih neradijacionih faktora. Na ovoj polaznoj osnovi očigledno da se postavljaju dva bitna pitanja.

1. Kolika je razlika izmedju ozračenja ljudskog organizma u životnoj sredini i pri balneološkoj terapiji?

2. Kakav je odgovor ljudskog organizma na radijaciono polje pri balneoterapiji(koje može biti isto ili različito od onog u životnoj sredini) s obzirom da su neradijacione komponente značajno izmenjene u odnosu na životnu sredinu?

U ovom radu ukratko se navode rezultati naših ispitivanja, koji daju jedan broj elemenata po kojima se može tražiti odgovor na prvo pitanje.

## Izloženost zračenju i kontaminaciji ljudi u životnoj sredini

Osnovne radijacione karakteristike za stanovnike sa teritorije SR Srbije date su u tabeli 1 za vode, u tabeli 2 za hranu, a u tabeli 3 za neke ostale izvore.

Detalji o podacima iz tabela 1,2 i 3 mogu se naći u našim ranijim radovima (3,4,5,6) i u radu D. Panova (7).

TAB. 1

Osnovne radijacione karakteristike za stanovnike sa teritorije SR Srbije

/Vode/

| Vrsta vode | Ukupna alfa aktivnost | | Ukupna beta aktivnost | | $^{226}Ra$ | | U pr. | $^{222}Rn$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | n | pCi/l | n | pCi/l | n | pCi/l | n | µg/l | pCi/l |
| vodovodna | 9 | 0,1-34 (1,1) | 9 | 1,4-93 (4,5) | 9 | 0,1-93 (1,2) | 9 | 0,1-0,22 (0,12) | - |
| bunarska | 21 | 0,1-82 (1,0) | 34 | 0,1-37,1 (7,8) | 11 | 0-31 (1,5) | 11 | 0-1,7 (0,33) | 1-10 |
| izvorska | 19 | 0,1-136 (2,2) | 19 | 0,1-196 (6,7) | 19 | 0,1-75 (1,3) | 19 | 0,01-0,5 (0,25) | - |
| rečna | 6* | (1,5) | 8* | 1-10 (4) | 8* | 0,3-1,1 (0,76) | 8 | 0,2-37 (1,4) | - |

n - broj ispitivanih lokacija

* - broj reka (kontinualna merenja 3 god.)

( ) srednja aritmetička vrednost

TAB. 2

Godišnje unošenje prirodnih radionuklida u organizam stanovnika SR Srbije putem hrane

| Faktor | Karakteristična vrednost | | |
|---|---|---|---|
| | Srednje | od | do |
| U pr. µg/god. | 424 | 126 - | 1353 |
| $^{226}Ra$ pCi/god. | 462 | 280 - | 1195 |
| $^{210}Pb$ pCi/god. | 1770 | 755 - | 5243 |
| $^{210}Po$ pCi/god. | 1150 | - | 6060 |
| $^{40}K$ pCi/god. | 1000000 | | - |

TAB. 3

Ostale radijacione karakteristike za stanovnike sa teritorije SR Srbije

| Faktor | Karakteristična vrednost | | |
|---|---|---|---|
| | Srednje | od | do |
| Jačina ekspozicione doze gama zračenja 1 m iznad tla | 11,5 μR/h | 1,0 μR/h - | 35 μR/h |
| Jačina ekspozicione doze gama zračenja u kucama | 12,0 μR h | 3,8 μR/h - | 27,5 μR/h |
| Ukupna beta aktivnost vazduha (dugoživeći radionuklidi) | $1,7.10^{-16}$ | | |
| Koncentracija $^{222}Rn$ u vazduhu | $10^{-13}$ Ci 1 | $(0,5 - 7,5).10^{-13}$ Ci/1 | |
| Unošenje $^{210}Po$ pušenjem pCi/god. | 550* | | |
| Jačina ekspozicione doze kosmičkog zračenja | 38 mR/god. | (33-77) mR/god. | |

* Samo za pušače (po D. Panovu).

Neke radijacione karakteristike za balneološku terapiju

U tabeli 4 dati su podaci o koncentraciji nekih prirodnih radionuklida u mineralnim vodama sa teritorije SFRJ.

TAB. 4

Prirodni radionuklidi u mineralnim vodama iz SFRJ

| Ukupna alfa aktivnost | | Ukupna beta aktivnost | | $^{226}Ra$ | | U pr. | | Th pr. | | $^{222}Rn$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | pCi/l | n | pCi/l | n | pCi/l | n | μg/l | n | μg/l | n | pCi/l |
| 52 | 0,1-65,0 (8,2) | 78 | 0,1-280 (33,2) | 50 | 0,1-7,4 (2,1) | 50 | 0,1-5,4 (0,88) | 50 | 0,1-7,2 (1,24) | 48 | 1-10000 |

n - broj ispitivanih voda

Poredjenjem podataka iz tabele 4 sa podacima u tabeli 1 za obične pijace i rečne vode uočljiva je razlika za pet

uporedljivih komponenti.

Odredjene razlike u dnevnom unošenju prirodnih radionuklida sa hranom u odnosu na prosečnu populaciju mogu se videti iz tabele 5.

TAB.5

Dnevno unošenje U, 226 Ra i 21o Pb u organizam stanovnika N. Banje i prosečne vrednosti u SR Srbiji putem hrane

| Stanovnik | U µg/dan | 226 Ra pCi/dan | 21o Pb pCi/dan |
|---|---|---|---|
| iz N. BANJE | o,47 | 3,7o | 5,1o |
| iz SRBIJE | 1,16 | 1,27 | 4,84 |

Veoma značajne razlike u odnosu na životnu sredinu javljaju se u pogledu koncentracije prirodnih radionuklida u vazduhu gde se izvodi balneološka terapija.

## Procena ozračenja ljudi pri balneološkoj terapiji

Detalji postupka za procenu ozračenja ljudi pri različitim procedurama balneološke terapije dati su u jednom našem ranijem radu (8). Ovde navodimo karakterističan slučaj Niške Banje.

U tabeli 6. date su osnovne radijacione karakteristike za balneološku terapiju u ovoj banji.

U tabeli 7 date su srednje doze ozračenja pluća čoveka koji u inhalatorijumu Niške Banje provede 1 sat. Očigledan je predominantan značaj udahnutih potomaka radona (RaA, RaB i RaC).

U tabeli 8 date su doze ozračenja pacijenata za različite vrste balneološke terapije u toku 21 dana u Niškoj Banji.

TAB. 6

Osnovne radijacione karakteristike za balneološku terapiju u Niškoj Banji

| R.br. | Naziv | Veličina |
|---|---|---|
| 1. | Radon u pijaćoj vodi | $10^{-8}$ Ci/l |
| 2. | Radon u vazduhu inhalatorijuma | $2,33.10^{-8}$ Ci/l |
| | RaA " " | $7,049.10^{-9}$ Ci/l |
| | RaB " " | $5,592.10^{-9}$ Ci/l |
| | RaC " " | $2,178.10^{-9}$ Ci/l |
| 3. | Radon u vazduhu kupatila | $10^{-10}$ Ci/l |
| | Rn: RaA:RaB:RaC = | 1:0,30:0,24:0,09 |
| 4. | Radon u vodi kupatila | $2,5.10^{-9}$ Ci/l |
| 5. | Peloid | 12 $\beta$ /min $cm^2$ |
| | | E = 0,6 MeV |
| 6. | RaA+RaB+RaC | 15 pCi/$cm^2$ |
| 7. | $40_K$ | 5 pCi/$cm^2$ |
| 8. | Alfa aktivnost na koži pri inhalaciji | 16 pCi/$cm^2$ |
| 9. | Jačina ekspozicione doze gama zračenja u inhalatorijumu | 250 $\mu$R/h |
| 10. | Peloid (alfa aktivnost) | 0,33 $\alpha$ /min $cm^2$ |
| | | $E_\alpha$ = 5,3 MeV |

TAB. 7

Zrednje doze ozračenja pluća čoveka u Inhalatorijumu u N. Banji (vreme inhalacije 1 sat)

| Faktor | mRad | mRem |
|---|---|---|
| Udahnuti RaA, RaB, RaC | 18,5 | 169,0 |
| Udahnuti Rn-222 | 0,35 | 3,5 |
| Potomci Rn iz vazduha u plućima | 0,22 | 2,1 |
| Potomci Rn iz plućnog tkiva | 0,22 | 2,1 |
| Svega | 19,49 | 176,7 |

.TAB. 8

Ozračenje pacijenta za 21 dan boravka u Niškoj Banji

| Procedura | Karakteristike | Naziv | mRema/ 21 dan |
|---|---|---|---|
| Ingestija vode | 1,2 l/dan | želudac | 66-87 |
| | | celo telo | 1,8 |
| | | jetra | 1,8 |
| | | bubrezi | o,75 |
| | | masno tkivo | 1,5 |
| | | pluća srednje | o,75 |
| | | krv | o,o18 |
| Inhalacija | 14 h/21 dan | gornji disajni putevi(epitel) | 2576o |
| | | pluća srednje | 2474 |
| | | celo telo | 65 |
| | | krv | 8o |
| | | otkrivena koža /7o/u) | 126o |
| | | gonade | 83 |
| Peloidoterapija | 24 h/21dan | koža (7o/u) | 1,5 |
| Kupanje | 1o,5h/21dan | Gornji disajni putevi(epitel) | 84 |
| | | pluća srednje | 9 |
| | | celo telo | o,3 |
| | | krv | o,37 |
| | | koža(7o/u) | 29 |
| | | gonade | o,26 |

## Zaključak

Za ocenu terapeutske vrednosti radionuklida i njihovih zračenja u balneološkoj terapiji, koji su samo jedna komponenta iz kompleksa balneoloških faktora, potrebno je njihovo kvantifikovanje.

Koncentracija prirodnih radionuklida u mineralnim vodama u našoj zemlji veća je nego u pijaćim i rečnim vodama.

Dominantnu ulogu u ozračenju pacijenata pri balneološkoj terapiji imaju potomci raspada radona.

Summary

RADIATION AND CONTAMINATION EXPOSURE OF PEOPLE AT BALNEOTHERAPY

In this paper results of investigations of natural level of iradiation of population at the territory of SR Serbia have been presented.

A review of value indispensable to obtain the data on exposure of people to radiation and contamination at the balneotherapy.

Irradiation doses of the patients at various procedures of the balneotherapy were accounted up.

Literatura

1. P. Curie, M. Laborde
C.r. Acad. Sci, Paris 138, 1150-1153. 1904

2. H. Mache
Sitzber. Akad. Wiss. Wiss. Wien, Mathemnatw. Kl., Abt. IIa, 113, 1329, 1904

3. R.G. Radovanović, D. Hajduković.
Zbornik radova IV jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti B. Polje, 1969

4. R.G. Radovanović i sar.
V jugoslovenski simpozijum iz radiološke zaštite, Bled, 1970

5. R.G. Radovanović et al.:
Symposium international de Radioecologie Vol. II pp 1065-1082. Cadarache, 1969

6. R.G. Radovanović et al.:
II. Congress IRPA. No.136. Brighton.1970

7. Đ. Panov
Doktorska disertacija. Medicinski fakultet Beograd, 1970

8. R.G. Radovanović
Magisterski rad. Farmaceutsko-biokemijski fakultet, Zagreb, 1971

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Dragoslav Stojanović i Katarina Milivojević*

Institut "Boris Kidrič", Vinča - Medicinska zaštita

# DEKONTAMINACIONI TRETMAN USNE DUPLJE KONTAMINIRANE RADIONUKLIDIMA

U izučavanju nastanka interne kontaminacije preko sluzokože usne duplje ispitivana je dinamika i stepen resorpcije radiostroncijuma i uticaj primenjene metode i sredstava za dekontaminaciju na obim resorpcije. U dekontaminacionom tretmanu korišćena je originalna metoda, a od sredstava su ispitani voda 2% rastvor taninske kiseline. Dinamika resorpcije praćena je metodom ekstrakorporalne cirkulacije, a ukupni telesni sadržaj radiostroncijuma meren je pomoću adaptiranog uredjaja za detekciju ukupne telesne radioaktivnosti za eksperimentalne životinje. Dobijeni rezultati pokazuju, da se pri kontaminaciji usne duplje uticaj pH rastvora ogleda u promenama dinamike i stepena resorpcije radiostroncijuma. Primena taninske kiseline kao adstringentnog sredstva u tretmanu usne duplje ne povećava resorpciju, a efikasnost dekontaminacije se ne razlikuje prema vodi zbog rezidualne aktivnosti u kontaminiranoj lokaciji.

Kontaminacija usne duplje različitim radionuklidima najčešće nastaje pri akcidentima u laboratorijama koje koriste izotope u istraživačke i druge svrhe. Ispitivanja dekontaminacije usne duplje kontaminirane radionuklidima sa aspekta uticaja primenjenog tretmana na obim interne kontaminacije omogućavaju pružanje adekvatne pomoći. Naša ispitivanja su obuhvatala posmatranja obima i dinamike transbukalne resorpcije radiostroncijuma i radiocezijuma, kao i uticaj primenjenih sredstava za dekontaminaciju na obim interne kontaminacije organizma. Izučavana je zavisnost obima i dinamike resorpcije od hemijskog oblika radiokontaminanta, pH kontaminirajućeg ras-

* Autori zahvaljuju R. Sapundžiću za tehničku saradnju.

tvora, dužine trajanja kontaminacije, koncentracije radioaktivnosti rastvora i vrste sredstava za dekontaminaciju.

Materijal i metod rada

Ogledi su izvedeni na belim pacovima, mužajacima, telesne težine oko 200 grama. Životinje su bile pod narkozom (0,8 ml 25% rastvora uretana injicirano je i.m.).

Uslovi kontaminacije: kontaminacija je izvodjena nanošenjem 0,05 ml rastvora $^{85}SrCl_2$ čija je aktivnost iznosila 20 µCi, a pH je bio regulisan na 1.0, 3.0 ili 7.0. Radiostroncijum je bio u kontaktu sa sluzokožom usne duplje 1 čas. U cilju eliminisanja akta gutanja i inhalacije neposredno pre kontaminacije izvedena je operacija podvezivanja jednjaka i traheje.

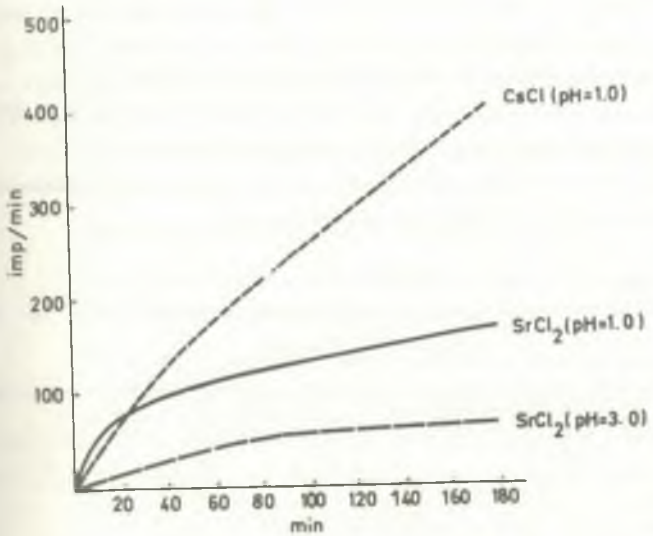
Uslovi dekontaminacije: dekontaminacioni tretman zasniva se na akciji ispiranja primenjenim sredstvom za dekontaminaciju uz korišćenje vakum sistema. Korišćena su sredstva koja ne pokazuju agresivno dejstvo na mukozu usne duplje. Usna duplja ispirana je sa 20 ml dekontaminacionog rastvora, a tretman je trajao 5 minuta.

Dinamika resorpcije preko mukoze usne duplje praćena je metodom ekstrakorporalne cirkulacije koja omogućava kontinuirano merenje radioaktivnosti krvi (1). Životinje su žrtvovane jedan čas nakon kontaminacije, ili su dekontaminirane pa žrtvovane, dekapitacijom ispod mesta podvezivanja.

Ukupni telesni sadržaj prodrlog radiostroncijuma i rezidualna aktivnost u kontaminiranoj lokaciji odredjivani su pomoću uredjaja za direktno merenje ukupne telesne radioaktivnosti.

Rezultati i diskusija

Na dijagramu 1. prikazana je dinamika resorpcije radiostroncijuma preko mukoze usne duplje u zavisnosti od pH kontaminirajućeg rastvora. Radi uporedjenja, dat je i prikaz evolucije radioaktivnosti krvi kod kontaminacije usne duplje sa $^{137}CsCl$(2). Pri kontaminaciji rastvorom radiostroncijuma sa pH 1.0 brzina resorpcije je veća u odnosu na pH 3.0 a uočava se kontinuirano povećanje aktivnosti krvi u posmatranom periodu. Pri kontaminaciji rastvorom čiji je pH iznosio 3.0 maksimum resorpcije javlja se oko 120 minuta posle čega dolazi do održavanja aktivnosti krvi na približno istom nivou. Vidi se, da se radiocezijum resorbuje brže i obimnije nego radiostroncijum.




Dijagram 1. Aktivnost radiostroncijuma i radiocezijuma u krvi

Na tabeli 1 prikazan je sadržaj $^{85}Sr$ u telu pri kontaminaciji usne duplje u funkciji pH kontaminirajućeg rastvora. Vidi se da je sadržaj prodrlog radiostroncijuma najveći pri kontaminaciji rastvorom sa pH 1.0, dva puta manji pri aplikaciji rastvora sa pH 7.0, a najmanje je prodrlo stroncijuma u organizam kada je rastvor imao pH 3.0.

TAB. br.1

Sadržaj radiostroncijuma u telu, u % nanete radioaktivnosti u usnu duplju

| $^{85}SrCl_2$ | Sadržaj u telu | | |
|---|---|---|---|
| | N | M ± SD | p |
| pH = 7.0 | 10 | 0.86 ± 0.75 | - |
| pH = 3.0 | 10 | 0.24 ± 0.06 | 0.05 - 0.02 |
| pH = 1.0 | 10 | 1.71 ± 1.51 | 0.2 - 0.1 |

N - broj životinja

M±SD - srednja vrednost ± standardna devijacija

p - verovatnoća prema Student-ovom t - testu.

Na tabeli 2 prikazana je efikasnost dekontaminacije usne duplje kontaminirane sa $^{85}SrCl_2$ (pH = 3.0) procenjene na osnovu rezidualne radioaktivnosti u kontaminiranom regionu i telesnog sadržaja prodrlog radiostroncijuma. Voda, primenjena kao sredstvo za dekontaminaciju povećava procenat prodrlog radiostroncijuma u organizam. Primena taninske kiseline kao adstringentnog sredstva u dekontaminacionom tretmanu ne povećava ukupni telesni sadržaj prodrlog radiostroncijuma, ali ostavlja veću rezidualnu aktivnost u kontaminiranom regionu, te finalna efikasnost dekontaminacije ne pokazuje izrazite razlike kod primenjenih sredstava.

TAB. br. 2

Efikasnost dekontaminacije usne duplje kontaminirane sa $^{85}SrCl_2$, u % nanete radioaktivnosti

| Sredstvo za dekontaminaciju | Broj životinja | Aktivnost u telu M±SD | Aktivnost u glavi M±SD | Efikasnost dekontaminacije M ± SD |
|---|---|---|---|---|
| Nedekontaminirane kontrole | 10 | 0.24 ±0.06 | - | - |
| Voda | 10 | 0.91 ± 0.33 | 36.45 ± 13.30 | 62.64 ± 13.30 |
| 2% rastvor taninske kis. | 10 | 0.24 ± 0.12 | 41.78 ± 10.73 | 57.98 ± 10.73 |

Izučavanje dinamike transbukalne resorpcije omogućava sagledavanje hitnosti izvodjenja dekontaminacionog tretmana. Obzirom, da je intaktnost sluzokoža jedan od najvažnijih faktora kod sprečavanja prodiranja različitih supstancija u organizam, za dekontaminaciju su korišćena sredstva koja ne ispoljavaju agresivno dejstvo. Povoljan efekat taninske kiseline na telesni sadržaj prodrlog radiostroncijuma ogleda se u smanjenju transbukalne resorpcije u odnosu na vodu, a može se objasniti mehanizmom delovanja adstringentnih sredstava koja lokalno deluju hemijski ili koloidno hemijski na površinske slojeve. Postignuti dekontaminacioni efekat ukazuje na težinu izvodjenja efikasnog tretmana usne duplje, zbog mogućnosti zadržavanja kontaminanta u pojedinim lokacijama koje su teže pristupačne pri sprovodjenju tretmana.

Zaključak

Resorpcija radiostroncijuma preko sluzokoža usne duplje može da uslovi obimniju internu kontaminaciju organizma.

Dinamika i obim transbukalne resorpcije ispoljavaju zavisnost od pH kontaminirajućeg rastvora.

Dekontaminacioni tretman usne duplje treba što pre izvesti

Tretman usne duplje vodom povećava resorbovane količine radiostroncijuma i uslovljava veću dekontaminabilnost resorptivne površine.

Taninska kiselina kao adstringentno sredstvo ne pospešuje resorpciju radiostroncijuma, ali ispoljava manji dekontaminacioni efekat usne duplje.

Summary

The degree and dynamics of radiostrontium absorption were observed through the mucous membrane of the buccal cavity, and the effect of some agents for decontamination from the buccal cavity on the absorption was stded. Decontamination of the buccal cavity was performed by an original method, while water and the tannic acid solution were investigated as the decontaminants. The dynamics of absorption was observed by the method of extracorporal circulation which allows continual measurement of blood radioactivity while the total of radiostrontium penetrated into the body was measured with a Whole body counter for experimental animals. The results obtained have shown the influence of pH solution on the dynamics and degree of radiostrontium absorption. Water as the decontaminant increase the percentage of radiostrontium penetrated in the organism, while the tannic acid solution as an adstringent agent does not increase the radiostrontium in the body. The efficiency of decontaminations did not show the difference marked on account of residual radioactivity in the contaminated zones.

REFERENCE

1. Michon G. et Maillard M. J., Proc. of a Conf. held in Mexico City, Ac. Press, New York, 2, 3 (1962).

2. Stojanović D., Milivojević K., Zbornik materijala IV Jug. simp. o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, 127 (1969).

3. Stojanović D., Milivojević K., Iugoslav. Physiol. Pharmacol. Acta, Vol. 6, No. 3, 503 (1970).

4. Zlobinski M. Bezopasnost rabot s radioaktivnimi veščestvami, Medgiz, Moskva, 152-155, (1959).

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mr.Ing.D.Hajduković

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

# PROCENA OZRAČENJA RESPIRATORNOG SISTEMA RADONOM I NJEGOVIM KRATKOŽIVEĆIM POTOMCIMA PRIMENOM MODELA PLUĆA M O R R O W KOD RUDARA URANSKOG RUDNIKA

## Rezime

Dat je sumaran pregled obračuna doza na plućima usled inhalacije radona i njegovih kratkoživećih potomaka raspada sadržanih u atmosferi rudnika urana prema publikacijama raznih autora.

Opisan je model pluća istraživačke grupe Morrow. Sa podacima koncentracija RaA,RaB i RaC u pCi/l i podataka granulometrije prašine moguće je primeniti model pluća Morrow i odrediti doze od svakog radonovog potomka posebno na bronhijama i posebno na plućima rudara.

Prikazani su primeri obračuna doza za razne koncentracije RaA,RaB i RaC radilišta rudnika urana Gorenja Vas , za čestice prašine dijametra 0,04 , 0,1 i 0,5 mikrona , uporedo , za periode eliminacije po Morrow 10 i 15 i po Hamardu 15 i 20 minuta ,respektivno za bronhije i pluća .

## Uvod

Dugogodišnja merenja radona i potomaka radonovog raspada u našim rudnicima urana (1960-1970),ukazuju da prema maksimalno izmerenim koncentracijama radona u Kalni 17,9 x $10^{-9}$ , Zletovskoj Reci 9,25 x $10^{-9}$ i Gorenjoj Vasi 5,24 x $10^{-9}$ Ci/lit. (1)(2) i potomaka do 40 W.L. ,pri velikoj zaprašenosti i slaboj ventilaciji - postoji znatna opasnost od kontaminacije usled inhalacije radona i potomaka njegovog raspada .Medjutim,procene doza na respiratornom sistemu rudara uranskih rudnika prestavljaju složen problem ,tako da medju istraživačima postoje mnoge neusaglašenosti kako u pristupu problemu procene tako i u načinu obračunavanja doza . Naše uverenje je da je model pluća istraživačke Task Group Lung Dynamic (3) 1966 , koju je vodio Morrow za sada najprihvatljiviji u primeni za uranske rudnike .

Procene doza na respiratornom sistemu prema raznim autorima

Procena ozračenja respiratornog sistema rudara inhalacijom radona i potomaka kao i odredjivanje maksimalno dozvoljenih koncentracija za radon i potomke u rudnicima urana već dugi niz godina je predmet izučavanja pojedinih istraživača i specijalnih grupa . Još 1940 g. su Evans i Goodman(4) objavili na osnovu proračuna da su srednje koncentracije za radon dugi niz godina u rudnicima Joachimovo i Schneeberg bile reda $10^{-9}$Ci/lit i zaključili da se ove koncentracije mogu dovesti u vezu sa učestalom pojavom smrtnosti rudara usled kancera pluća .Uvodeći sigurnosni faktor od 100 preporučili su MDK za radon od $10^{-11}$Ci/l. Kasnije je u MDK uvedeno eksponiranje od 40 časova i ukazano na doprinos dozi od potomaka radona . Uvodjenje faktora "f" koji definiše postotak slobodnih jona RaA ,nekombinovanih sa česticama prašine ,koji znatno doprinosi dozi , MDK je 1955 dobila oblik 3 x $10^{-10}$ Ci/lit za f= 1% odn. 1959 za f=10% , 3x $10^{-11}$Ci/lit. tako da je danas i jedna i druga MDK u praktičnoj upotrebi i ako se razlikuje za jednu potenciju . Medjutim brojni istraživači su merili "f" raznim metodama , pod raznim uslovima zaprašenosti i vlažnosti , i našli vrednosti za"f" od 0 do 73% (2) što je malo verovatno s obzirom na uslove zaprašenosti u rudnicima urana. Pored ovoga u MDK se ne vodi računa u kolikom odnosu učestvuju RaB i RaC kao slobodni .

S obzirom na istican značaj uloge radonovih potomaka u dozi inhalacijom , uveden je Working Level ,kao jedinica za koncentraciju potomaka ,na osnovu posmatranja najfrekfentnije koncentracije od 100 pCi/l radona u rudnicima urana USA ,koja i posle dugog godina izlaganju nije imala posledicu kancera pluća . Koncentraciji od 100 pCi/l radona odgovara u ravnoteži po 100 pCi/l svakog od kratkoživećih radonovih potomaka ,što daje 1,3 MeV/lit.vazd. alfa energiju raspada radona do RaC′. Znatan nedostatak W.L. je što se u rudniku urana zbog uslova ventilacije i radnih operacija ne nalaze radonovi potomci u ravnoteži i što se mereći direktno W.L. uprošćenim metodama zanemaruju stvarne koncentracije svakog radonovog potomka.

Najveće neusaglašenosti istraživača kod procene doza od inhaliranja radona i potomaka su kod odabiranja kritičnog organa u respiratornom sistemu (pluća, glavne bronhije,bronhijole ili

njihovi delovi),u pogledu odabiranja izotopa (radon,radon +potomci ,radon +RaA,samo potomci) u pogledu prodiranja alfa čestice u tkivo ,vremena zadržavanja i eliminacije iz respiratornog sistema, i koncentracijama radona i potomaka . Na Tab.1 daje se sumarno prikaz obračunatih doza prema raznim istraživačima .

TAB.1

Literaturni prikaz procene ozračenja respiratornog sistema usled inhalacije Rn , RaA, RaB, RaC i RaC′

| No. ref. | AUTORI (god.) | KRITIČNI ORGAN | IZOTOP Ref.Konc. Atmosfere (pCi/lit.) | DOZA (rad/ god) | UJEDNAČENE doze svedene na (rad/W.L.M.) |
|---|---|---|---|---|---|
| (4) | Evans i Goodman (1940) | Pluća | Radon 1ooo | 0,250 | 0,002 |
| (5) | Lorenz (1944) | Pluća | Radon 1ooo | 0,250 | 0,002 |
| (6) | Mitchell (1945) | Bronhije | Radon 1ooo | 1,6 | 0,01 |
| (7) | Shapiro (1954) | Tercijalne bronhiole | Radon+ RaA,RaB,RaC 1o | 0,66 | 0,60 |
| (8) | Chamberlain i Dyson (1956) | Glavne bronhije | Radon+RaA 1ooo | 46,00 | 0,40 |
| (9) | Holaday i dr. (1957) | Bronhijalno tkivo | Radon + RaA,RaB,RaC 1oRaA,5 RaB,C | 5,00 | 2,30 |
| (10) | Altshuler i dr. (1964) | Segmentalne bronhije | RaA,RaB,RaC do 1ooo | 24,00 | 3,00 |
| (11) | Jacobi (1964) | Sekundarne-kvartenalne bronhiole | RaA,RaB,RaC 1o | 23,80 | 2,90 |
| (12) | Hague i Collinson (1967) | Segmentalne bronhije | RaA,RaB,RaC 1o | 13,80 | 12,00 |
| (13) | Holleman (1968) | Tercijalne bronhiole | RaA i RaC′ | - | 0,80 |
| | | Pluća | RaA i RaC′ | - | 0,10 |

U Tab.1 su doze (rad/god) ujednačene na vrednosti svedenih doza (rad/W.L.M.) . Uopšte uzevši iz Tab.1 se vidi da se dugogodišnjim istraživanjima na osnovu brojnih eksperimenata i obrada modela došlo do saznanja da su najktitičniji organi bronhije

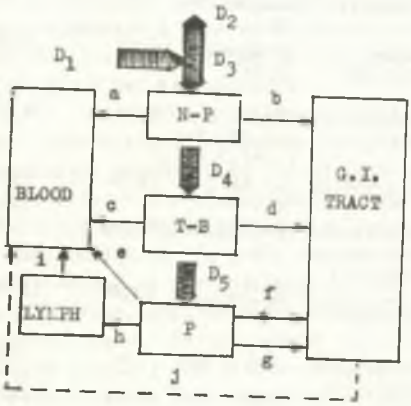
i da su značajnije doze od potomaka nego od radona .

Primena modela pluća Morrow

Istraživačka grupa Morrow(3) obradila je model pluća koji vodi računa o dozama koje potiču pojedinačno od RaA,RaB i RaC i to posebno na bronhijama ,posebno na plućima u zavisnosti od inhaliirane prašine. Model prestavlja respiratorni sistem sastavljen iz tri anatomska regiona:rhinopharynx(RP),traheje bronhijalnih grana (TB) i region pluća (P).Za biološko poluvreme eliminacije postoje tri klase: D(manje od 1 dan do 10 dana) , W (više od 10 dana do 100 dana ) i klasa Y (više od 100 dana) primenljiva kod inhalacije nerastvorljivih čestica.Površine bronhija $2,19x10^4$ $cm^2$ prema anatomskom modelu Weibel.Prodor alfa čestice za bronhije 60 $\mu$ a ukupno ozračena zapremina 130 $cm^3$ .Faktor RBE za alfa 10 , za beta koje nije zanemareno kod izračunavanja doza na plućima , jedan. Zapremina pluća 1000 $cm^3$ .

ŠEMA 1.

Model pluća Task Group on Lung Dynamic-Morrow




(a) eliminacija brza u krv ,4 min (klasa D,W,Y)

(b) brz cil.muc.trans. 4 min ( -"-)

(c) adsorp.brza 10 mn 50% ( kl.D,W,Y)

(d) -"-

(e) dir.translok.30mn 80% kl.D ; 90 dan kl.W , 360 d.kl.Y

(f) preko makrofaga 24 časa (kl D,W,Y)

(g) pr.endocitoze , 90 dana kl W.

(h) 30 mn 20% kl D., 90 d kl W. 360 d. kl.Y

(i) i (j) -"-

Sa $D_1$,$D_2$,$D_3$,$D_4$ i $D_5$ obeleženi su faktori depoa . $D_2$=47%$D_1$. $D_3$ iz grafika 13 (3) i iznosi oko 5% od inhaliranog. $D_4$ je 8% od $D_1$ . Faktor depoa $D_5$ se uzima iz grafika 14(3) zavisan od dijametra čestice.

Primenjujući model pluća za inhaliranje rastvorljivih čestica prašine uzeto je vreme eliminacije Tb po preporuci Morrow 10 min za bronhije i 30 minuta za pluća .Francuski istraživači Hamard i sar.(14)1968 ,nalaze da je podesnije uzeti vreme od 15 i 20 minuta respektivno za bronhije i pluća . U našim primerima Tab. 2 i Tab.3 dat je obračun dela ili umnoška doza na bronhijama i plućima ,prema MDK 3 rem/40 h, a za oba vremena eliminacije .U sumarnoj dozi za bronhije i pluća ne nalazimo značajne razlike a posmatrajući pojedinačne doze na plućima i bronhijama ,imaju se nešto veće doze na plućima prema Morrow a na bronhijama prema Tb Hamard-a ,što dolazi od uzetih većih vremena eliminacije Tb u obračunu.

Na osnovu izmerenih pojedinačnih koncentracija za RaA,RaB i RaC na radilištima rudnika urana i za datu granulometriju prašine od 0,04 $\mu$ koja se smatra najopasnijom kod inhalacije,zatim 0,1 $\mu$ koja je veoma bliska reprezantativnoj granulometriji u rudnicima urana i 0,5 $\mu$ -izvršeni su obračuni doza na pojedinim radilištima koje bi mogli primiti pojedini rudari .

U Tab.2 vidi se : - da su znatno veće doze koje na bronhijama potiču od RaC , ma da je njegova koncentracija bila manja od RaB i RaA ; -kod pluća su znatne doze i od RaB s obzirom na sadržan udeo od beta aktivnosti ; - da su za iste koncentracije RaA, RaB i RaC znatno veće doze kod inhalacije manji čestica . U primeru IV u Tab.2 imaju se doze na bronhijama za granulometriju 0,04 : 0,1 : 0,5u odnosu 0,972 :0,373 :0,253 odnosno na plućima 1,117 :0,933 :0,504 a za istu vrednost koncentracija RaA=231 , RaB=128 i RaC=85 pCi/lit.

U Tab.3 prikazali smo uporedo 5 radnih mesta sa koncentracijama radona od 160 do 2665 pCi/l i sa odgovarajućim W.L. od 0,194 do 12,30 a sa raznim koncentracijama radonovih potomaka .

Ukupne doze na bronhijama i plućima za granulometriju 0,04 $\mu$ idu od 0,30 do 21,10 a za granulometriju 0,1 $\mu$ od 0,16 do 11,25 . Uticaj ove dve granulometrije veoma je uočljiv na visinu doze , tako da se za ove primere ima skoro dvostruko veća doza kada u njoj učestvuju čestice od 0,04 nego kada su inhalirane 0,1 $\mu$ .

Uopšte uzevši smatramo da je model pluća Morrow za sada najprihvatljiviji ,jer daje pojedinačne doze i na bronhijama i na plućima od svakog radonovog potomka pojedinačno u zavisnosti od koncentracije prašine koja igra značajnu ulogu u rudnicima urana.

TAB. 2

Primljene doze na bronhijama i plućima na jednom radnom mestu rudnika urana

PRIMER IV Rudnik urana GORENJA VAS, H 53C, H4 čelo
Bušenje sa dva bušaće garniture 16.3.1971

IZMERENE KONCENTRACIJE:
RADON - 25o pCi/l (doza 0,83 MDK)
RaA=231; RaB=128; RaC=85 pCi/l; W.L. 1,2o4

STANJE RAVNOTEŽE:

$$fA = \frac{RaA}{Rn} = 0,92$$

$$fB = \frac{RaB}{Rn} = 0,50$$

$$fC = \frac{RaC}{Rn} = 0,34$$

D O Z E N A B R O N H I J A M A (MDK 3 rem/4o h)

| Perioda elimin. | | Po preporuci Morrow Tb = 1o' | | | | Po preporuci Hamarda Tb= 15' | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Granul. | Fak.dep. | RaA | RaB | RaC | SUMA | RaA | RaB | RaC | SUMA |
| 0,o4 | 0,15 | 0,334 | 0,213 | 0,425 | 0,972 | 0,398 | 0,388 | 0,500 | 1,286 |
| 0,1 | 0,06 | 0,128 | 0,085 | 0,160 | 0,373 | 0,154 | 0,160 | 0,217 | 0,531 |
| 0,5 | 0,04 | 0,089 | 0,056 | 0,108 | 0,253 | 0,105 | 0,106 | 0,141 | 0,352 |

D O Z E N A P L U C I M A (MDK 3 rem/4o h)

| Perioda elimin. | | Po preporuci Morrow Tb=3o' | | | | Po prep. Hamarda Tb=2o' | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Granul. | Fak.dep. | RaA | RaB | RaC | SUMA | RaA | RaB | RaC | SUMA |
| 0,04 | 0,60 | 0,272 | 0,441 | 0,404 | 1,117 | 0,231 | 0,290 | 0,340 | 0,861 |
| 0,1 | 0,40 | 0,178 | 0,290 | 0,265 | 0,933 | 0,154 | 0,193 | 0,223 | 0,570 |
| 0,5 | 0,25 | 0,156 | 0,182 | 0,166 | 0,504 | 0,096 | 0,128 | 0,141 | 0,365 |

TAB.3

Uporedni prikaz doza na (TB) i (P) na raznim radnim mestima

| Primer | Izmerene koncentr. (pCi/lit.) | | | | W.L. | Granul. (μ) | Doze od RaA, RaB i RaC po m.p. Morrow | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | za Tb po Morrow | | | za Tb po Hamard | | |
| | | | | | | | Doza MDK= 3rem/4oh | | | Doza MDK= 3rem/4oh | | |
| | Rn | RaA | RaB | RaC | | | (TB) | (P) | UKUPNO | (TB) | (P) | UKUPNO |
| I | 160 | 24 | 19 | 14 | 0,19 | 0,04 | 0,14 | 0,16 | 0,30 | 0,18 | 0,12 | 0,30 |
| | | | | | | 0,1 | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,08 | 0,07 | 0,15 |
| II | 247 | 245 | 90 | 50 | 0,9 | 0,04 | 0,75 | 0,83 | 1,58 | 1,20 | 0,64 | 1,84 |
| | | | | | | 0,1 | 0,29 | 0,55 | 0,84 | 0,40 | 0,43 | 0,83 |
| III | 247 | 121 | 70 | 63 | 0,72 | 0,04 | 0,61 | 0,68 | 1,29 | 0,79 | 0,53 | 1,32 |
| | | | | | | 0,1 | 0,29 | 0,46 | 0,74 | 0,32 | 0,36 | 0,68 |
| IV | 250 | 231 | 128 | 85 | 1,20 | 0,04 | 0,97 | 1,12 | 2,09 | 1,29 | 0,86 | 2,15 |
| | | | | | | 0,1 | 0,37 | 0,93 | 1,30 | 0,53 | 0,57 | 1,10 |
| V | 2665 | 2168 | 1358 | 856 | 12,3 | 0,04 | 9,70 | 11,30 | 21,10 | 12,88 | 8,67 | 21,56 |
| | | | | | | 0,1 | 3,72 | 7,43 | 11,25 | 5,28 | 5,75 | 11,03 |

## Summary

EVALUATION ON EXPOSURE DOSES OF RESPIRATORY SYSTEM DUE TO RADON AND ITS SHORT LIVED DAUGHTERS IN URANIUM MINE WORKERS BY USE OF MORROW LUNG MODEL

A summary of the dose calculations for the lungs due to inhalation of Radon and its short lived daughters contained in atmosphere of uranium mine published after various authors is presented.

The lung model of the Task Group on the Lung Dynamic - Morrow is described. With the data on RaA,RaB and RaC concentrations in pCi/l and the data on dust granulometry it was possible to apply the Morrow lung model and determine doses of each Radon daughter on the bronchus and lungs in miners .

The examples on the dose calculations for concentracions of RaA,RaB and RaC contained in uranium mine Gorenja Vas , and for dust being 0.04 , 0.1 and 0.5 microns in dijameter , are presented comparatively for the elimination periods for the bronchus and the lungs being after Morrow 10 and 15 minutes and after Hamard 15 and 20 minutes ,respectively.


## Literatura


1. Izveštaji Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu,o kontrolnim merenjima u rudnicima urana , 1960-1970, Beograd
2. Hajduković D.- Magistarski rad , Beograd , 1971.
3. Morrow P.- Health Physics, 12 , 173 , 1966 .
4. Evans R.,Goodman C.- Ind.Hyg.and Toxicol.22:89-99, 1940.
5. Lorenz E.- J.Nat.Can.Inst. 5 : 1-15 , 1944 .
6. Mitchell J.S. -Montreal Report HI ,17 , 1945.
7. Shapiro J.-Doctoral Dissertation ,Dep.Rad.Biol.University of Rochester, 1954.
8. Chamberlaine A.C.,Dyson E.D., -Britt. J. of Rad. 29 : 317-325 , 1956.
9. Holaday D.A. and al. -Public Health Serv. Publication, no 494 , Washington 25 D.C. , 1957 .
10. Altshuler and al. -Health Physics , 10 :1137-1161,1964.
11. Jacobi W. - Health Physics, 10 :1163-1174 ,1964.
12. Hague A.K.,Collinson A.J.- Health Physics , 13:431 - 443 , 1967 .
13. Holleman D.F. -Report COO-1500-12 ,Colorade State University , Fort Collins ,140,1968.
14. Hamard et al. -Repport CEA, R 3583 , 1968 .

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mr Ing D. Hajduković
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr Dragomir Karajović" - Beograd

Dr N. Kunevski
Dispanzer za medicina na trudot rudnici olovo i cink "Zletovo"
Probištip

# HIGIJENSKI ZNAČAJ KONTROLE RADIOAKTIVNOSTI U (NEURANSKOM) RUDNIKU OLOVA I CINKA ZLETOVO - DOBREVO

## Rezime

Izneti su 10-to godišnji rezultati merenja radona 222 i njegovih kratkoživećih potomaka - 218 Po, 214 Pb i 214 Bi. Od 250 merenja u aktivnijem delu rudnika, relativna prosečna koncentracija $2,6 \times 10^{-10}$ Ci/lit vazd. Maksimalno izmerena koncentracija $13,7 \times 10^{-10}$ Ci/lit (1964). Relativni prosečan W.L. je 1,15. Date su koncentracije radona i potomaka na nekim radilištima u 1971 god. Za W.L. 1,15 obračunata je doza u rad/W.L.M., uporedo prema načinu obračunavanja 10 autora.

Sistem ventilacije prirodni. Koncentracije $SiO_2$ od 9,43 do 46,6%.

Medicinskim pregledom 600 rudara sa radnim stažom iznad 5 god. utvrdjeno je 47,81% slučajeva tegoba respiratornog trakta, i to bronhitisa sa emfizemom 17,5%, pneumokonioza (Z,L,$P_{1-3}$) 22,99%, silikoza ($M_{1-3}$, $N_{1-3}$ A) 7,32% slučaja. Dato je uporedjenje sa obolenjima u uranskim rudnicima Jugoslavije.

## Uvod

Rudni bazen Zletovo odn. Kratovsko-Zletovska oblast (1) otkriven je pre 700 godina. Oblast je deo rodopske mase sastavljena od dacitsko andezitske stene i njihovih tufova. Locirana je južno od planina Kozjaka i Osogova i prostire se izmedju Pčinja, Bregalnice i Zletovske Reke. Reljef izrazito planinski sa grebeni-

ma i vrhovima vulkanskih kupa od 700 do 1400 metara. Teren sačinjavaju uglavnom kristalni škriljci rodopskog tipa, efuzivne stene, piroklastične stene, vulkanski tufovi i kvartalne naslage. Rudnik eksploatiše rudu olova i cinka, koja ima najviše galenita, zatim sfalerita, pirita, magnetita, halkopirita. Mikroskopski sastav ukazuje da pored glinovitih materijala, serecita, karbonata, barita i dr. minerala, ima najveći procenat kvarca odn. $SiO_2$ u stenama zletovskih rudnika od 9,43 do 46,6%, što je, imajući u vidu njegovu štetnost po zdravlje od posebnog značaja u pogledu zaštite rudara.

## Kontrola radioaktivnosti

U literaturi je dato više prikaza kontrole neuranskih rudnika na radioaktivnost. Najviše su obradjivani rudnici uglja i neki metalni rudnici. Našim radom (2) na Kongresu preventivne medicine dali smo kratak pregled literature i rezultate nekih naših neuranskih rudnika. Medjutim, smatramo da rudnik Zletovo može da ima poseban tretman u kategoriji neuranskih rudnika.

Prva kontrolna merenja radona izvršena su u Zletovu 1961. a od 1968.g. meri se i koncentracija radonovih potomaka. Merenje radona vrši se tehnikom balon scintilatora a potomaka, uzimanjem uzoraka na filtru metodom usvojenom u rudnicima SAD(3).

Rezultati merenja (4), (5) dati su u tabeli 1.

TAB. 1

Raspodela koncentracija radona u vremenskom periodu od 10 godina u rudniku olova i cinka Zletovo-Dobrevo

| | Koncentracije 222 Rn | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | x $10^{-11}$ | x $10^{-10}$ Ci/lit | | | | | $10^{-9}$ |
| Intervali | do 1o | o,1-2 | 2,1-4 | 4,1-6 | 6,1-8 | 8,1-1o | o,1-2 |
| Broj merenja | 7 | 130 | 55 | 21 | 20 | 7 | 10 |
| Struktura u % | 2,8 | 52,o | 22,o | 8,4 | 8,o | 2,8 | 4,o |

Ukupan broj merenja 250.

Maksimalno dozvoljena koncentracija za radon u vazduhu za uranske rudnike je $3x10^{-10}$Ci/lit prema preporuci ICRP iz 1955.g koje se pridržavaju Euroatom, Francuska, Jugoslavija i dr. odnosno $3x10^{-11}$Ci/lit prema preporuci ICRP iz 1959.g koje se pridržavaju SAD i dr. zemlje.

Ako se izuzmu merenja koja su dala koncentracije radona ispod $10^{-10}$ i iznad $10^{-10}$Ci/lit jer su prestavljena sa malim brojem merenja, relativna prosečna koncentracija radona u izvršenom opsegu merenja od $10^{-10}$Ci/lit iznosi 2,58798 x $10^{-10}$Ci/lit.vazduha.

Distribucija rezultata merenja ukazuje na najfrekfentnije koncentracije u intervalu od 0,1 do 2,0 x $10^{-10}$Ci/lit sa učešćem od 52,0%. Vrednost visine koncentracija radona u pogledu frekfencije permanentno opada od 22% u intervalu 2,1 do 4,0x $10^{-10}$, sve do 2,8% u intervalu od 8,1 do 10 x $10^{-10}$Ci/lit.vazd.

Najveći broj merenja izvršen je na žici IV ili u njenoj blizini gde dopiru vazdušna kretanja obogaćena radonom s obzirom da rudne mase žice IV sadrže pehblendu u tragovima. Kako rudnik ima prirodnu i nedovoljno efikasnu ventilaciju, vazduh bogat radonom zadržava se duže vreme u galerijama i radon ima dovoljno vremena da se raspadne na svoje potomke, koji imaju često visoke koncentracije neuobičajene za neuranske rudnike.

Na sledećoj tabeli 2 daju se vrednosti koncentracija radona i njegovih kratkoživećih potomaka za neka radilišta prema merenjima u julu 1971.g.

Rezultati u tab.2 podeljeni su u dva dela radi lakšeg uočavanja zavisnosti koncentracija radona i odgovarajućih koncentracija potomaka od ventilacije. Proizilazi da bi sa uspešnom ventilacijom naročito uvodjenjem mehaničke ventilacije, u znatnoj meri smanjili koncentracije radona i u daleko većoj meri koncentracije potomaka.

Nameće se zaključak da bi ventilacija trebala da ima brzinu kretanja vazduha veću od 0,3 m/s da bi smanjila koncentraciju radonovih potomaka za jedan red veličine.

TAB. 2

Koncentracije radona i kratkoživećih potomaka na nekim radilištima rudnika olova i cinka Zletovo-Dobrevo

(juli 1971.g.)

| Radilište Radna operacija | Ventilacija Rel.vlažnost | Koncentracija (pCi/lit.vazd.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Radon (222Rn) | RaA (218Po) | RaB (214Pb) | RaC (214Bi) | W.L. |
| 1. H 625 Ž.IV Niskop | 0 98% | 650 | 555 | 408 | 343 | 3,55 |
| 2. H 625 Ž.IV Uskop | 0 100% | 467 | 450 | 250 | 160 | 2,32 |
| 3. H625/H580 Vent.prol. | 0 100% | 496 | 489 | 228 | 111 | 2,07 |
| 4. H 580 Ž.IV Širok otkop | 0 100% | 388 | 356 | 258 | 173 | 2,32 |
| 5. H 535 Slepo okno | 0,2m/s 100% | 192 | 190 | 145 | 115 | 1,30 |
| 6. H635 Ž.XII Transport | 0,2m/s 100% | 154 | 153 | 129 | 73 | 1,03 |
| 7. H 625 Ž.VIII Transport | 0 100% | 290 | 290 | 204 | 90 | 1,67 |
| 8. H 535 Ž.IV Gl.sipka | 0,3 m/s 98% | 328 | 57 | 35 | 23 | 0,322 |
| 9. H 535 Ž.IV St. sipka | 0,2 m/s 100% | 240 | 17 | 12 | 11 | 0,12 |
| 10. H 625 Ž.VII Bušenje | 0,2m/s 100% | 58 | 8 | 4 | 2,8 | 0,04 |
| 11. H 625 Ž.XII Raskršće | 0,3m/s 100% | 193 | 15 | 13 | 9 | 0,1 |

Doze inhaliranjem

Poznato je da kod odredjivanja doza inhaliranjem radona i potomaka u radnoj atmosferi rudnika, treba poznavati: količine potomaka prisutnih u inhaliranom vazduhu a koje su zavisne od koncentracija radona i uslova ravnoteže, poznavanje relativne distribucije potomaka prisutnih kao slobodni joni, nekombinovani sa česticama prašine kao i onih deponovanih na česticama, poznavanje načina deponovanja na različitim delovima respiratornog sistema i stepen njihove retencije i raspada.

Zbog svega napred izloženog postoji velika neusaglašenost načina izračunavanja doza od strane raznih autora. Ne ulazeći u ocenu njihovih metoda u tabeli 3 dajemo obračunate doze inhaliranjem prema raznim autorima. Naime, ako usvojimo prosečno izmerenu relativnu koncentraciju radona za ovaj rudnik $2,6 \times 10^{-10}$ Ci/lit. a na osnovu brojnih merenja potomaka najčešće ravnotežno stanje kao RaA/Rn=0,765, zatim RaB/Rn=0,52 i RaC/Rn=0,3 imali bi i relativnu prosečnu koncentraciju W.L. od 1,15 a za rad u toku meseca oko 200 W.L. uzimajući 170 radnih časova prema definiciji W.L.M. (mesečni), odn. 1,15 W.L.M.

TAB. 3

Doze inhaliranjem radona i potomaka u rudniku olova i cinka Zletovo-Dobrevo: rad/W.L.M. prema raznim ekspertima

| Autor metode(6) | Doza od izotopa | Kritični organ | Obračunata doza za W.L.M.=1,15 (rad) |
|---|---|---|---|
| (1940)Evans i Goodman | Radon | pluća | 0,0023 |
| (1944)Lorenz | Radon | pluća | 0,0023 |
| (1945) Mitchell | Radon | bronhie | 0,0115 |
| (1954)Shapiro | Radon + potomci | treće bronh. | 0,690 |
| (1956)Chamberlaine i Dyson | Radon + RaA | glav.bronh. | 0,460 |
| (1957)Holaday i dr. | Radon + potomci | bronh.tkivo | 2,645 |
| (1964)Altshuler i dr | potomci | segm.bronh. | 3,450 |
| (1964)Jaccobi | potomci | II.do IV. bronhije | 3,335 |
| (1967)Hague i Collinson | potomci | segm.bronh. | 13,800 |
| (1968)Holleman | potomci | b.C.III bron. | 0,920 |

Kontrola zdravstvenog stanja rudara

Prema sistematskim pregledima rudara Zletova u 1968 god. (1,7,8) kada je pregledano 600 rudara sa stažom iznad 5 godina nadjeno je 47,81% sa tegobama i obolenjem respiratornog sistema. Koristeći se podacima (9) za uranske rudnike na osnovu 6-god. praćenja nekoliko stotina uranskih radnika nadjen je procenat tegoba respiratornog trakta kod 40% ispitivanih rudara.

Radi uporedjenja i bolje preglednosti rezultati se daju tabelarno.

TAB. 4

Uporedjenje obolenja respiratornog trakta kod rudara uranskih rudnika u Jugoslaviji i rudnika Zletovo-Dobrevo

| Uranski rudnici: Kalna, Zletovska Reka i Gorenja Vas refer.(9) | | Rudnik olova i cinka Zletovo - Dobrevo refer.(1)(7)(8) | |
|---|---|---|---|
| O b o l e n j e | % | O b o l e n j e | % |
| Tegobe respiratornog trakta | 40,00 | Tegobe respiratornog trakta | 47,81 |
| Od toga: | | Od toga: | |
| Bronhitis sa emfizemom | 18,00 | Bronhitis sa emfiz. (od toga 14,6% udruženo sa silik.obol.) | 17,50 |
| Pneumokonioza L | 11,30 | Pneumokonioza L | 22,99 |
| Pneumokonioza Z | 7,60 | Pneumokonioza Z | |
| | | Pneumokonioza $P_{1-3}$ | |
| Silikoza | 2,3 | Silikoza ($M_{1-3}$, $N_{1-3}$, A) | 7,32 |

Ovako veliki broj pneumokoniotičkih kompleksa rudara Zletova, koji svakako potiče od velike zaprašenosti sa povećanim

Kontrola zdravstvenog stanja rudara

Prema sistematskim pregledima rudara Zletova u 1968 god. (1,7,8) kada je pregledano 600 rudara sa stažom iznad 5 godina nadjeno je 47,81% sa tegobama i obolenjem respiratornog sistema. Koristeći se podacima (9) za uranske rudnike na osnovu 6-god. praćenja nekoliko stotina uranskih radnika nadjen je procenat tegoba respiratornog trakta kod 40% ispitivanih rudara.

Radi uporedjenja i bolje preglednosti rezultati se daju tabelarno.

TAB. 4

Uporedjenje obolenja respiratornog trakta kod rudara uranskih rudnika u Jugoslaviji i rudnika Zletovo-Dobrevo

| Uranski rudnici: Kalna, Zletovska Reka i Gorenja Vas refer.(9) | | Rudnik olova i cinka Zletovo - Dobrevo refer.(1)(7)(8) | |
|---|---|---|---|
| O b o l e n j e | % | O b o l e n j e | % |
| Tegobe respiratornog trakta | 40,00 | Tegobe respiratornog trakta | 47,81 |
| Od toga: | | Od toga: | |
| Bronhitis sa emfizemom | 18,00 | Bronhitis sa emfiz. (od toga 14,6% udruženo sa silik.obol.) | 17,50 |
| Pneumokonioza L | 11,30 | Pneumokonioza L | 22,99 |
| Pneumokonioza Z | 7,60 | Pneumokonioza Z | |
| | | Pneumokonioza $P_{1-3}$ | |
| Silikoza | 2,3 | Silikoza ($M_{1-3}$, $N_{1-3}$ , A) | 7,32 |

Ovako veliki broj pneumokoniotičkih kompleksa rudara Zletova, koji svakako potiče od velike zaprašenosti sa povećanim

sadržajem $SiO_2$ i izloženosti radonu i potomcima koje je blizu maksimalno dozvoljene koncentracije za uranske rudnike, uzimajući u obzir i sinergetsko delovanje radona i $SiO_2$, koje prema nekim autorima, (1o), doprinosi pojavi pneumokoniotičnih kompleksa eksponiranih rudara, obavezuje na stalnu kontrolu radioaktivnosti, zaprašenosti i nastojanju da se poboljša ventilacija - u cilju ostvarenja boljih uslova na radnom mestu i na stalnu i sistematsku kontrolu zdravlja rudara da bi se blagovremeno otkrila oštećenja respiratornog trakta, što bi doprinelo efikasnijoj medicinskoj zaštiti zdravlja rudara.


Summary

HYGIENE ASPECTS OF RADIOACTIVE CONTROL IN MINE OF LEAD AND ZINC (NON-URANIUM MINE) IN ZLETOVO - DOBREVO

In the paper there are presented the results of 10 years period measurements of 222 Rn and its short lived daughters contents - 218 Po, 214 Pb, 214 Bi. The relative average concentration was found to be 2,6 x $10^{-10}$Ci/lit in air for 250 measurements in the mine area of higher activity. The maximum concentration was found to be 13,7 x $10^{-9}$Ci/lit(in 1964 y.). The relative average W.L. is being 1,15. Also, there are presented the concentrations of radon and its decay products that were measured in some of working spots during 1971. For W.L. being 1,15 there was evaluated the dose of rads/W.L.M. comparatively using the evaluating methods after 10 authors.

The ventilation system is natural. $SiO_2$ concentrations were found to be from 9,43 to 46,6%. The medical examinations of 600 miners with lenght of service being 5 years have shown 47,81% cases with troubles in the respiratory tract, and as follows: bronhitis with emphysema in 17,5%, pneumoconiosis (Z,L, $P_{1-3}$) in 22,99%, silicosis ($M_{1-3}$, $N_{1-3}$ , A) in 7,32%. There are presented the comparation with the diseases occurance in the uranium mines in Yugoslavia.


Literature


1. Kunevski N. - Profesionalite štetnosti vo rudnicite "Zletovo" so poseben osvrt kon silikotičnite zaboluvanja, Specijalistički rad. Skopje (1968)

2. Radovanović R., Hajduković D. i dr. - Higijenski značaj radioaktivne kontaminacije radne sredine u rudnicima bakra, olova i cinka. V Jug. kongres za prev.medicinu.Ohrid Zbornik I, str 546-552,Izd.Sav.Lek.dr.Skopje (1968).

3. Tsivoglou E.C., Ayer H.E., Holaday D.H., Occurence of nonequilibrium Atmosp. Mixtures Radon and its Daughters, Nucleonic, 11, no 9, p 4o (1953)

4. Interni izveštaji Instituta za medic.rada i radiološku zaštitu SRS od 1961 do 1971, Beograd

5. Hajduković D.- Studija o radioaktivnoj kontaminaciji radonom i njegovim kratkoživećim potomcima radnika u uranskim rudnicima. Magistarski rad. Beograd (1971)

6. Hajduković D. - Procena ozračenja respiratornog sistema radonom i njegovim kratkoživećim potomcima primenom modela pluća kod rudara uranskog rudnika. VI Jug. simpozijum radiološke zaštite, 25-28.IV. Ohrid (1972)

7. Izveštaji o sistematskim pregledima rudara rudnika Zletovo, Dispanzer na medicina na trudot rudnici "Zletovo" - Probištip

8. Izveštaji o sistematskim pregledima rudara u rudniku Zletovo, Institut za medic.rada i radiol.zaštitu SRS Beograd

9. Medjedović M., Kilibarda M., Vukotić M. - Radioaktivna prašina i dejstvo na organizam. Zbornik radova, str. 245-254. Simpozijum o pneumokoniozama. Vrnjačka Banja 11-13.X. (1965)

1o. Panov D., Višnjić V., Kilibarda M., Novak Lj. - Radon and $SiO_2$ toxicity on Rats Lungs. 8 th. Annual Meeting of the European Society for Radiation Biology. Baško Polje, Yugoslavia, Sept. 2o-23(1971).

VI. Simpozium Jugoslovenskog društva za zaščitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

J. Batista, M. Grgić, Z. Gabrovšek

Inženirski biro "ELEKTROPROJEKT" - Ljubljana

# VARNOST IN NORMATIVNA PROBLEMATIKA NUKLEARNIH ENERGETSKIH OBJEKTOV

Gradnjo nuklearnih energetskih objektov je potrebno skladno z obstoječimi predpisi za zaščito pred ionizirajočimi sevanji prilagoditi tudi drugim predpisom in varnostnim kriterijem, ki predstavljajo osnovo za planiranje varnega reaktorskega koncepta, ustrezajočega lokacijskim pogojem, zahtevam nuklearne in radiološke kontrole, zaščiti proti radioaktivnim razcepkom ter varstvu osebja, prebivalstva in okolice. Dosledno izpolnjevanje vseh predpisov in kriterijev, baziranih na zadnjem stanju tehnološkega razvoja, daje glavno garancijo za varno in zanesljivo izvedbo nuklearnega postrojenja in njegove eksploatacije.

## 1) Splošno

Pri uvajanju nuklearnih elektrarn v jugoslovanski elektroenergetski sistem je dolžnost projektanta in izvajalca oslanjati se razen na zakonska določila v zvezi z investicijsko gradnjo tudi na obsežno normativno dokumentacijo (predpisi, navodila, kriteriji, priporočila, . . ), ki regulirajo varno in zanesljivo izvedbo projekta, način gradnje, testiranje in eksploatacijo nuklearnih postrojenj. Poleg ob-

Upoštevati se mora meteorološke, hidrološke, geološke, seizmične, ekološke karakteristike kot tudi ostale specifične posebnosti lokacije. Sistemi in komponente postrojenja, ki bistveno doprinašajo k preprečevanju nezgod, morajo biti projektirani in izvedeni na osnovi odgovarjajočih standardov za kvaliteto, katera ustreza njihovi pomembnosti, namenu oziroma opravljanim varnostnim funkcijam. Kjer domača normativna dokumentacija ne obstaja ali ne zadovoljuje, naj se oslani na internacionalne, ameriške ali evropske normative in kriterije. Zahtevana varnost, zanesljivost in razpoložljivost posameznih sistemov in komponent, naj se dokaže z izvedenim testnim programom v času gradnje in med obratovanjem.

b) Zaščita proti radioaktivnim razcepkom

Okolica mora biti zaščitena proti radioaktivnim razcepkom z večkratnimi barierami, ki jih predstavljajo:

- srajčke gorilnih elementov ob varni in zanesljivi izvedbi konstrukcije sredice reaktorja skupno s sistemi za odvod procesne toplote (med pogonom) in toplote razcepkov (po ustavitvi) v vseh pričakovanih okoliščinah med normalnim obratovanjem (tranzientnih situacijah, izgubi energije, izpadu turbogeneratorskega dela, izgubi reaktorjevega primarnega toplotnega ponora) ter funkcionalno vsklajenost vseh regulacijskih in varnostnih sistemov reaktorja;
- tlačna bariera reaktorskega hladila z ekstremno nizko verjetnostjo abnormalnega puščanja, preprečenim nenadnim širjenjem napak ali nastankom večjih razpok;
- varnostni hram - kontainment, v katerem je zaprta reaktorsko postrojenje in ki skupno s svojimi varnostnimi sistemi predstavlja tesno zaščito proti nekontroliranemu puščanju radioaktivnosti v okolico; kontainment mora brez izgube zahtevane integritete vzdržati obremenilne efekte tudi v primeru razpoke v tlačni barieri reaktorskega hladila in skupno z drugimi sistemi zadržati funkcionalno sposobnost tako dolgo kot zahtevajo okoliščine.

c) Nuklearna in radiološka kontrola

Regulacijske in kontrolne akcije se izvajajo v komandnem prostoru, zaščitenem s primerno radiacijsko zaščito, ki dovoljuje, če je potrebno, tudi v nezgodnih okoliščinah dostop in bivanje pri tisti opremi, s pomočjo katere se ustavi obratovanje in vzdržuje varen nadzor postrojenja. Pri tem personal v času trajanja nezgode ne sme biti izpostav-

ljen sevanju preko dovoljenih mej (v USA 5 remov celo telo ali ekvivalentno deli telesa); varno obratovanje naj omogočijo naslednji sistemi:

- regulacijski sistemi z instrumentacijo za vzdrževanje in nadzor obratovalnih spremenljivk v predpisanem območju; predvideni naj bodo sistemi za stalen nadzor in regulacijo procesa cepitve pri vseh pogojih, ki jih povzročajo variacije reaktivnosti sredice;
- varnostni sistemi sredice reaktorja, ki delujejo v smislu preprečevanja ali zadušitve pogojev, kateri vodijo k poškodbam gorivnih elementov;
- kontrolna instrumentacija za nadzor tlačne bariere reaktorskega hladila v smislu ugotavljanja tesnosti ali detekcije puščanja;
- sredstva za radiološki nadzor v objektih in okolici NE s ciljem ugotavljanja sproščene radioaktivnosti med normalnim obratovanjem in nezgodnimi okoliščinami;
- sredstva za radiološko zaščito osebja;
- sredstva za nadzor nad shranjevanjem goriva in aktivnih odpadkov.

d) Zaščitni sistemi in regulacija reaktivnosti reaktorja

Reaktor mora imeti zaščitne sisteme za pravočasno in zanesljivo odkrivanje nezgod, izvirajočih iz motenj in posluževalnih napak ter za avtomatsko sproženje protiukrepov za obdržanje reaktorja v mejah varnosti. Ti sistemi morajo imeti visoko funkcionalno zanesljivost, njihove zaščitne in varnostne funkcije pa naj bo možno testirati tudi med obratovanjem. Reaktor naj razpolaga z najmanj dvemi sistemi z regulacijo reaktivnosti, ki lahko obvladata vse med pogonom pričakovane reaktivnostne spremembe. Spremembe reaktivnosti morajo biti omejene na takšno mero, da potencialni efekti iz večjih in hitrih sprememb ne morejo poškodovati sredico ali povzročiti razpoko v tlačni barieri reaktorskega hladila.

e) Tlačna bariera reaktorskega hladila

Pri definiranju konstrukcijskih parametrov bariere je potrebno upoštevati, da mora brez prekoračitve konstrukcijskih limit prenesti možne in nenadne sprostitve energije v hladilo reaktorja na podlagi izvedene podrobne analize nastalih obremenitev in skrbne izbire materialov ter izvajanja kontrole kvalitete v fazi gradnje in med obratovanjem. Izvedba komponent tlačne bariere mora odgovarjati najstrožjim standardom za kvaliteto.

f) Varnostni sistemi reaktorja

Reaktorsko postrojenje mora imeti instalirane varnostne sisteme z izključno nalogo varovati zahtevano varnost oziroma omejevati posledice nezgod na minimum tako, da morebitne sevalne obremenitve prebivalstva v nobenem slučaju ne prekoračijo dovoljenih doz predvidenih odgovarjajočih pravilnikih o zaščiti proti sevanju. Varnostni sistemi morajo biti grajeni z visoko funkcionalno zanesljivostjo, izvedba pa naj bo primerna za občasno testiranje njihovega stanja oziroma funkcionalne pripravljenosti. Zadovoljivo morajo opraviti varnostne funkcije tudi ob delni izgubi svojih kapacitet. Varnostni sistemi izvajajo naslednje naloge:

- zasilno hlajenje sredice reaktorja,
- čiščenje atmosfere, odvajanje toplote in redukcijo tlaka v varnostnem hramu ter izolacijo hrama od okolice.

g) Kontrola nad radioaktivnimi materiali ter sproščanje radioaktivnih odpadkov

Shrambe radioaktivnih materialov in nuklearnega goriva morajo biti izolirane od okolice z varnostnim hramom, pri čemer morajo biti izpolnjene vse zahteve iz predpisov za radiološko zaščito. Nuklearna elektrarna mora razpolagati tudi s potrebnimi sredstvi za stalno kontrolo nad sproščanjem radioaktivnih snovi v okolico. Instalirane morajo biti naprave s primernimi zadrževalnimi in čistilnimi kapacitetami za zadrževanje oziroma sproščanje le dovoljenih količin oziroma koncentracij trdnih, tekočih ali plinastih radioaktivnih odpadkov, posebno še v primerih, kjer se lahko pričakuje neugodne lokacijske razmere, katere lahko diktirajo začasno omejitev sproščanja radioaktivnih snovi v okolico. V vseh slučajih naj kontrola nad radioaktivnimi snovmi baziro na zahtevah odgovarjajočih predpisov.

h) Varnost osebja, prebivalstva in okolice nuklearnih objektov

Nuklearna postrojenja morajo biti projektirana in zgrajena tako, da omogočajo izredno visok standard varnosti za osebje, posamezne člane javnosti, celotna prebivalstvo, dejavnosti v okolici in rekreacijske pogoje. Varnostne zahteve v zvezi z radioaktivnimi snovmi morajo biti izpolnjene za vso življenjska dobo nuklearnega postrojenja, kakor tudi za končna konzerviranje ostankov postrojenja po izteku življenjske dobe. Projektant, dobaviteli in koristnik nuklearne opreme morajo ugoditi vsem omejitvam, ki jih diktirajo razni normativi kot so:

- normativi za zaščito zraka, ki definirajo dovoljeno onesnaženje zraka oziroma maksimalne dovoljene koncentracije radioaktivnosti v zraku skladno z osnovnimi omejitvami letnih doz za posameznike in celotno prebivalstvo okolice, upoštevajoč strukturo prebivalstva (otroci, ribiči, druge "kritične grupe"), pojave rekoncentriranja in transport radioaktivnosti; v obravnavo je treba vzeti predvsem tri radioaktivne grupe, tipične za plinaste efluente nuklearnih postrojenj: inertne radioaktivne pline, tritijev oksid ter radioaktivne halogene in aerosole;

- normativi za zaščito voda, ki definirajo dovoljeno radioaktivno in drugo onesnaženje; po ustaljeni praksi je treba omejiti onesnaženje okolice v skladu s praktičnimi možnostmi; praktične možnosti dopuščajo pri nuklearnih postrojenjih znatno nižje omejitve radiološkega onesnaženja kot predpisujejo razni normativi (ICRP, IAEA, SFRJ). Naši normativi so za sedaj pomanjkljivi in je potrebno upoštevati mednarodne normative in kriterije. Pri obravnavanju radiološkega onesnaženja okolice nuklearnega postrojenja je potrebno razločevati 3 grupe: tritijev oksid, korozijske obrabne produkte in razcepke;

- normativi za varstvo osebja, prebivalstva in okolice nuklearnih postrojenj, ki slonijo na mednarodnih predpisih (ICRP, IAEA) in katerim so v glavnem prirejeni tudi jugoslovanski predpisi;

- normativi o rokovanju s cepljivimi materiali in radioaktivnimi snovmi (IAEA, SFRJ).

3) Izdaja lokacijskega, gradbenega in obratovalnega dovoljenjo za NE

Postopek za izdajo dovoljenj poteka podobno kot za klasične energetske objekte razen izjeme, da je za NE potrebno še dodatno soglasje Republiškega sanitarnega inšpektorata na osnovi Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji (Ur.l. SFRJ št.12/65). Ta organ izda soglasje po podrobni proučitvi vse dokumentacije za NE, ki se nanaša za zagotovitev varnosti. Naši zakoni še ne predpisujejo obseg dokumentacije, katero je potrebno predložiti za pridobitev posameznih dovoljenj, niti ni še uradnih kriterijev za ocenjevanje, zato se je potrebno za sedaj osloniti na mednarodno prakso upoštevajoč domače specifičnosti in pogoje. Tako naj bi za pridobitev soglasij za izdajo lokacijskega dovoljenja investitor NE izpolnil kriterije in pripravil dokumentacijo iz varnostnega področja, ki je omenjena v točkah 2a, 2b, 2d (delno), 2e in 2f. Ta doku-

mentacija predstavlja "delno varnostno poročilo" in je tudi sestavni del dokumentacije za pridobitev gradbenega dovoljenja, ki je predpisano z veljavnimi predpisi.

V skladu s Temeljnim zakonom o varstvu pred ionizirajočimi sevanji mora investitor pred prvim polnjenjem sredice imeti obratovalno dovoljenje, ki se izda na osnovi predloženega "končnega varnostnega poročila", ki obsega vso dokumentacijo iz področij navedenih v točkah 2a do 2h in drugo dokumentacijo kot jo zahtevajo predpisi za klasične energetske objekte. Seveda je težišče dela republiških nadzornih organov pred izdajo dovoljenja za obratovanje na podrobni analizi količin radioaktivnih odpadkov, ki jih sme NE puščati v okolico med normalnim obratovanjem in v primeru nezgod, kot tudi na podrobni oceni varnosti. Obratovalno dovoljenje mora določiti maksimalno dovoljeno sproščanje radioaktivnih snovi v atmosfero in po vodnih poteh med normalnim obratovanjem.

According to the safety philosophy the deisgn and construction of nuclear power plants shall be performed on the basis of nuclear standards and safety criteria which lead to safe and reliable plant suitable to particular site conditions and that will also comply with the requirements of nuclear and radiation controls and protection against fission products. Standards and criteria shall also provide necessary protection for personel, population and environment of the nuclear plant. Consistent accomplishments of all safety requirements in standards and safety criteria, based on latest state of science and technology, represent the principal warranty for realization of safe and reliable nuclear power plant and its operation.

Reference:

1. Temeljni zakon o varstvu pod ionizirajočimi sevanji, Ur. l. SFRJ, 12/1965.
2. Pravilnik o dovoljenih dozah ionizirajočih sevanj, Ur.l. SFRJ, 31/1965.
3. Pravilnik o prometu in uporabi radioaktivnih snovi, pri katerih aktivnost presega določeno mejo in o ukrepih za varstvo pred sevanji teh virov, Ur.list SFRJ, 31/1965.

4. IAEA Safety Series, No. 6, 9, 17, 28, 29.
5. USA - AEC, Standards for Protection Against Radiation, 10 CFR 20.
6. USA - AEC, Licensing of Production and Utilization Facilities, 10 CFR 50.
7. USA - AEC, General Design Criteria for Nuclear Power Plants, 10 CFR 50, 1971
8. USA - AEC, Reactor Site Criteria, 10 CFR 100.
9. Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, ZRN, IRS-R-2, 1969.
10. ICRP, Recomendation of the International Commission on Radiological Protection Publications 6,9, 1962, 1965.
11. ICRP, Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials, Publication 7.
12. Batista J. in drugi, Osnovni načrt uputstva za sastavljanje izveštaja o sigurnosti NE, Report NIJS, 1967.
13. Grgič M., O nevarnosti onesnaženja okolice nuklearne elektrarne, V. jugoslovanski simpozij o radiolaški zaščiti, Bled 1970.
14. Gabrovšek Z. in drugi, Odvisnost konstrukcije NE od lokacije v pogledu nuklearne varnosti, I. simpozij UNO, Hercegnovi, 1968.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Dipl.fiz. Slobodan Ignjatović
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu S.R. Srbije
"Dr Dragomir Karajović" - Beograd

# RADIJACIONO POLJE ISPOD GROMOBRANA SA RADIOAKTIVNIM EUROPIUMOM JAČINE 300 MILIKIRIJA I PROBLEMI KONTROLE OVIH GROMOBRANA

## Rezime

Uz opis gromobrana sa radioaktivnim izotopom daju se doze iza i ispred zaštitnog olovnog bloka. Analizira se mogući rizik za lica koja se kreću u podnožju gromobrana.

Obzirom da je do 1 januara 1971 na teritoriji SRS postavljen 371 gromobran sa radioakt'vnom glavom to smo smatrali celishodnim da iznesemo neke tehničke i dozimetrijske podatke koji se odnose na ove instalacije.

Radioaktivni izvor, u našem slučaju smeša EUROPIUM 152-154 stavlja se u segment od aluminijuma prečnika 74 mm. Ovaj aluminijski segment se stavlja u zaštitni segment od nehrdjajućeg čelika čije debljine zidova iznose 4 mm.

Segment sa radioaktivnim izvorom se stavlja u olovni blok koji ima oblik zarubljene kupe. Debljina zidova ovoga bloka iznosi 12 cm.

Olovni blok sa radioaktivnim segmentom postavlja se na metalni stub visine 2 do 10 metara.

Kada je segment napunjen sa 300 milikirija Europiuma 152-154 merimo sledeće doze na otvorenoj strani bloka:

| | |
|---|---|
| na 1 metru od segmenta | 60 mR/h |
| na 2 metra od segmenta | 22 mR/h |
| na 3 metra od segmenta | 10 mR/h |

Nepravilnost opadanja doze očigledno proističe iz više

razloga, kao što su debljina košuljice segmenta, zatim smeša dva izotopa koji daju nehomogen snop zračenja i najzad geometrija samog materijala.

Sa ledjne strane bloka doze su vidljivo smanjene. Tako merimo

na 1 metru ispod bloka 20 mikro R/h

na 2 metra ispod bloka 12 mikro R/h

Sa aspekta radiološke zaštite postavljaju se dva pitanja:

a) zaštita stanovništva u radiacionom polju gromobrana.

b) zaštita poslužioca ili prolaznika ispod postolja gromobrana.

Prvi zahtev za zaštitu stanovništva je udovoljen time što je postavljen uslov projektantu da gromobran mora biti udaljen najmanje 100 metara od susedne stanbene zgrade koja gleda na otvorenu stranu izotopa.

Drugi zahtev da se obezbedi zaštita prolaznika ispod gromobrana, za kratkotrajni boravak do par sati, realizuje se samom minimalnom dozom koju propušta olovni blok ispod gromobrana (20 mikro R/h). Medjutim, ako bi bilo potrebno trajnije zadržavanje na krovu zgrade ispod samog gromobrana onda se pravilnikom zahteva prethodno obavještenje službi radiološke zaštite kako bi ova imala potpunu kontrolu zadržavanja ljudi profesionalno izloženih ovom radijacionom polju.

Smatramo da za uobičajene poslove na krovovima zgrada, a to su opravci oluka, čišćenje snega, nema nikakve opasnosti po lica koja vrše taj posao, pošto se svi ti poslovi završe za nekoliko sati rada kada bi ozračeno lice najviše primilo do 0,2 mR što predstavlja deseti deo dopustive dnevne doze.

Pravilnikom o korišćenju izvora jonizujućih zračenja nisu posebno obuhvaćene gromobranske instalacije pošto se u vreme donošenja ovih propisa nisu nikakve konstrukcije ni postavljale. Medjutim, od 1966 godine ovaj novitet ulazi prvo u industrijska područja a zatim i u vlasništva društvenih organizacija. Zbog toga se za mere bezbednosti uzimaju norme opšteg karaktera, t.j. planiraju se takve zaštitne mere da profesionalno izložena lica pri postavljanju gromobrana ne prime dozu veću od 5 Rema godišnje i da najbliže pristupačno mesto nema veće radijaciono polje od dvostrukog gama fona prirodne radioaktivnosti.

Primenjivanjem ovakvih normi služba radiološke zaštite sprovodi mere bezbednosti pri postavljanju gromobranske glave punjene radioaktivnim izvorom.

Postupak je sledeći:

Na krov zgrade najpre se postavi postolje gromobrana koje je sastavljeno od ukrštenih traverzi oslone površine 4 x 3 metara ili veće što zavisi od visine projektovanog stuba.

Za postolje pričvršćuje se stub koji se može oboriti u horizontalan položaj i vratiti u vertikalan položaj.

Nakon ove pripreme prinosi se kontejner sa olovnom glavom u kome se nalazi radioaktivni izotop jačine do 300 mC. Kontejner je cilindričnog oblika sa osnom šupljinom tako da se može navući na stub gromobrana.

Tek kada je glava gromobrana prčvršćena centralnim šiljkom za stub gromobrana oslobadja se olovni poklopac i skida sa stuba. Ovo je momenat kada izvor zračenja postaje otkriven i kada na 1 metru daje dozu od 60 mR/h. Medjutim, radnici koji skidaju olovni poklopac obave ovu operaciju za 3 - 4 sekunde nakon čega su već zaklonjeni iza olovnog bloka.

Završna operacija je uspravljanje gromobranskog stuba. Iz horizontalnog položaja diže se u vertikalni okrečući ga oko ose u postolju. Ova operacija traje 10-20 sekundi i za to vreme svi radnici su iza olovne kape.

U ovaj redosled operacija uvlače se poteškoće koje donosi rad na strmom krovu, ili ako je stub duži od dva metra. Dizanje stuba teškog i do 500 kg zahteva pomoć dizalice sa visokim krakom. Ovakve dizalice se ne nalaze u svakoj varoši tako da se ova operacija često izvodi zajedničkim naprezanjem više radnika. Ako bi se u toku dizanja omakao stub i pao nazad verovatno bi se odlomila olovna glava i radioaktivni izvor ispao. Tada se javlja opasnost od neposrednog zračenja.

Radiološka zaštita mora pre svake instalacije da predvidi i takvu mogućnost i plan akcije u slučaju da se ona dogodi. Treba predvideti mesto za uskladištenje radioaktivnog izvora, daljinsku štipaljku za prenos izvora, kao i rezervne lične dozimetre za neposredno očitavanje doze ako bi bilo nužno duže angažovanje oko ugroženog mesta.

Kao poseban problem uočavamo postavljanje ovakvih gromobrana na stanbene zgrade koje nemaju rešen pravni status već

predstavljaju neku vrstu stanbene zajednice. Obično krovovi takvih zgrada su načičkani TV antenama oko kojih se često neko lice bavi duže ili kraće vreme. Da bi sprečili nepotrebna ozračivanja u susret ovom problemu izlazimo sa predlogom da gromobranski stubovi na stanbenim zgradama imaju visinu najmanje 4 metra i da o njima preuzima brigu stanbeno preduzeće toga grada.


## Summary

### RADIATION FIELD BENEATH RADIOACTIVE LIGHTNING ARRESTER WITH RADIOACTIVE EUROPIUM OF INTENSITY BEING 300 MILLICURIES AND PROBLEMS ON CONTROL OF THESE LIGHTNING ARRESTERS

In this paper there is presented the description of a radioactive lightning arrester as well as the exposure doses in front of and behind protective lead block. The possible risk for the persons who walk beneath the lightning arrester is discussed.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Jelić Ljiljana, ITMZ, Beograd

# ISPITIVANJE ATHEZIJE ČESTICA NA MATERIJALIMA KOJI SE KORISTE ZA IZRADU ZAŠTITNE ODEĆE

Rezime

Athezija sfernih čestica prečnika 29-103 ,u merena je centrifugalnom metodom na tri materijala koja se koriste za izradu zaštitne odeće. Athezija je ispitivana u funkciji veličine čestica i relativne vlažnosti vazduha. Eksperimentalni rezultati su pokazali sa kojih materijala se najlakše uklanjaju praškasti kontaminanti, kao i da ovakva merenja mogu da daju jedan od kriterijuma pri izboru materijala za izradu zaštitnih odela.

## Uvod

Čestice prašine, koje padnu na neku površinu, drže se na njoj odredjenim silama, silama athezije. Veličina ovih sila zavisi od osobina čestica i površine, kao i od okolne sredine. Ponekad su sile manje od težine čestica, tako da ove mogu da se odvoje i usled dejstva sopstvene sile teže, a ponekad su za nekoliko redova veličine veće od težine čestica.

Posmatrajmo sada problem kada su čestice prašine radioaktivne, i kada ih treba ukloniti sa nekog materijala. Tada je jasno da što su sile athezije manje, R-dekontaminacije može lakše da se izvede.

Mi smo ovaj problem razmatrali za jedan specifičan slučaj- za zaštitna odela, čija je namena- zaštita tela od direktne kontaminacije. Zapaženo je, naime, da se čestice prašine veoma teško uklanjaju sa nekih materijala koji se koriste za zaštitnu odeću,

i da o tome treba povesti računa prilikom izbora materijala za ove svrhe. Ukoliko to nije moguće, treba ispitati i drugu mogućnost, a to je da se modifikacijom materijala umanje sile athezije čestica na njima. Da bi se razmatrala ova mogućnost bilo je neophodno da se sile athezije kvantitativno izmere, što je bio i predmet ovoga rada. Sile su merene za čestice različitih dijametara (od 29 - 103 $\mu$) i pri različitim vlažnostima vazduha.

Eksperimentalni rad

Athezija čestica ispitivana je na tri materijala:

1. Gumirano platno BP-150, koje se sastoji od poliestarske tkanine gumirane butil kaučukom. Od ovog materijala izradjuju se zaštitni kombinezoni.

2. Polietilen folija debljine 0,1 mm, koja se koristi za izradu zaštitnih ogrtača, predvidjenih za zaštitu tela i opreme.

3. Butil neopren, koji se sastoji od poliamidne tkanine gumirane sa jedne strane butil kaučukom, a sa druge - neopren kaučukom. Ovo je materijal u razvoju i predvidjen je za izradu zaštitnih ogrtača. Ispitivana je athezija čestica na strani sa butilom.

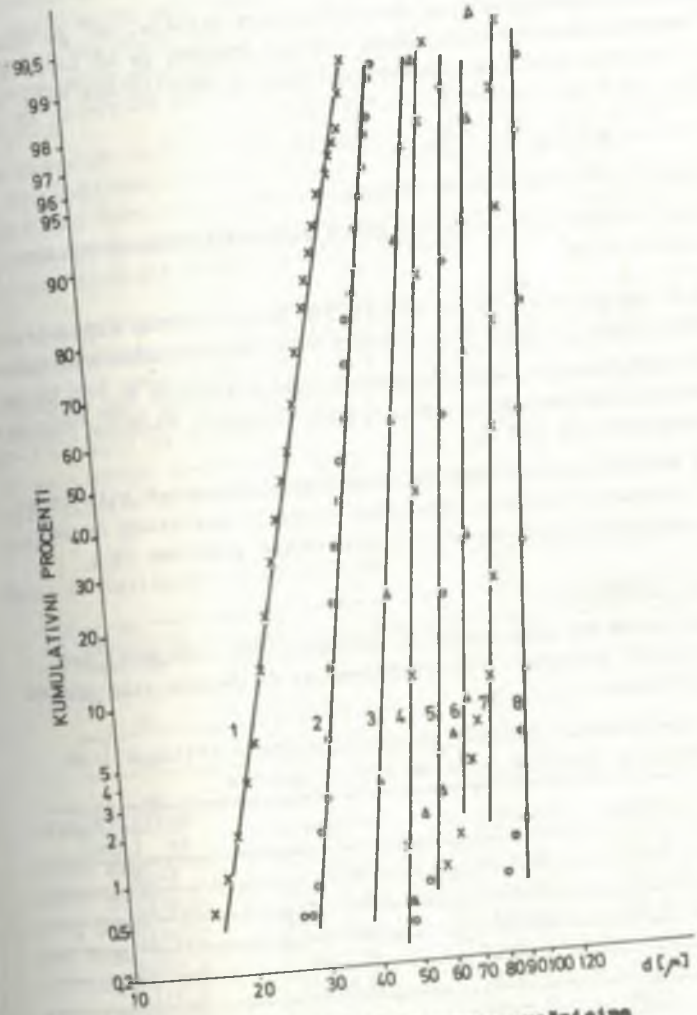
Staklene čestice sa kojima je radjeno bile su sfernog oblika, odnosno 95-99,9% čestica imalo je oblik pravilnih sfera. Čestice su dobijane propuštanjem mlevenog stakla kroz plamen, metodom A.D. Zimon-a (1).

Razdvajanje čestica na frakcije prema prečnicima vršeno je u struji vode (princip elutrijacije) (2). Za rad su korišćene sledeće frakcije.

| | |
|---|---|
| 1. 29 ∓ 5 $\mu$ | 5. 67 ∓ 6 $\mu$ |
| 2. 40 ∓ 5 $\mu$ | 6. 77 ∓ 7 $\mu$ |
| 3. 52 ∓ 7 $\mu$ | 7. 89 ∓ 8 $\mu$ |
| 4. 58 ∓ 7 $\mu$ | 8. 103 ∓ 5 $\mu$ |

Raspodela čestica unutar frakcije prikazana je grafički na sl.1.

Metoda brojanja čestica na uzorcima sastojala se u merenju aktivnosti $^{137}Cs$ kojim su čestice bile obeležene. Obeležavanje je




Sl. 1. Raspodela čestica prema prečnicima unutar pojedinih frakcija

vršeno atsorpcijom $^{137}Cs$ bez nosača iz neutralnih rastvora.

Sile athezije odredjivane su centrifugalnom metodom, $20^h$ po nanošenju čestica na uzorke (1). Broj obrtaja variran je od 1.000 do 10.000. Osnovne veličine, na osnovu kojih je odredjivana sila athezije, bili su athezioni brojevi, $I_F$:

$$I_F = A_x/A_o \cdot 100, \quad \text{gde je}$$

$A_o$ = početni broj čestica na uzorku

$A_x$ = broj čestica koji zaostaje posle dejstva odredjene centrifugalne sile.

Sila, koja je potrebna da se odvoji 50% čestica datog dijametra $F_{50}$, odredjivana je grafičkim putem i metodom najmanjih kvadrata.

Ogledi u prvoj seriji, kada je odredjivana zavisnost $F_{50}$ od prečnika čestica, radjeni su pri relativnoj vlažnosti vazduha 55-65% i na temperaturi 23 ∓ 3°C.

U drugoj seriji ogleda, kada je odredjivana zavisnost sile athezije od vlažnosti vazduha, odredjena vlažnost postizana je pri sustvom zasićenih rastvora soli u zatvorenim sudovima (3).

## Rezultati i diskusija

Paralelnim merenjem sile athezije čestica istih radijusa, pri istoj vlažnosti vazduha (60%) utvrdjeno je da se ove sile znatno razlikuju (tabela 1.).

Tab. 1. Sile athezije čestica na materijalima u zavisnosti od prečnika čestica; sile su date u dyn-ima

| d/ /u/ | BP-150 | Polietilen | Butilneopr. | Težina čestica (dyn) |
|---|---|---|---|---|
| 29 | 0,17 | $2,5 \cdot 10^{-3}$ | $4,2 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| 40 | 0,45 | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | $3,1 \cdot 10^{-2}$ | $7,9 \cdot 10^{-5}$ |
| 52 | 0 20 | $8,8 \cdot 10^{-3}$ | $4,5 \cdot 10^{-2}$ | $1,7 \cdot 10^{-4}$ |
| 58 | - | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | $2,1 \cdot 10^{-2}$ | $2,5 \cdot 10^{-4}$ |
| 67 | 0,19 | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | $5,8 \cdot 10^{-3}$ | $3,7 \cdot 10^{-4}$ |
| 77 | 0,34 | $2,6 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | $5,5 \cdot 10^{-4}$ |
| 89 | 0,83 | - | - | $9,2 \cdot 10^{-4}$ |
| 103 | 0,32 | - | - | $1,5 \cdot 10^{-3}$ |

Najveće sile izmerene su na materijalu BP-150. Za sve čestice dijametra od 29-103 μu, one su bile reda veličine 0,1 dyn, što znači da su malo varirale u funkciji veličine čestica. Naprotiv, na druga dva materijala, sile athezije opadaju sa povećanjem prečnika čestica, tako da najveći deo čestica iznad 77 μu otpada pod dejstvom sopstvene sile teže.

Interesantna je razlika u pogledu reda veličina sila athezije na dva gumirana platna. Iako je u oba slučaja gumiranje vršeno butil kaučukom, sile merene na BP-150 su bile 10-100 puta veće nego na butil neoprenu. Razlog tome je verovatno različit tehnološki postupak gumiranja ova dva materijala.

Ako se ovi materijali posmatraju sa stanovišta dekontaminacije, jasno je da će ova najlakše moći da se izvede kod polietilena, jer su kod ovog materijala i kod sitnijih čestica sile svega oko sto puta veće od sile teže. Sa druge strane, kod materijala BP-150, koji se koristi za izradu zaštitnih kombinezona, može da se očekuje otežana dekontaminacija, jer su sile kojima se drže čestice na materijalu i do 10.000 puta veće od njihove težine.

Tab. 2. Zavisnost athezionih sila od relativne vlažnosti vazduha

| Relativna vl. vazduha % | $F_{50}$ (dyn) | | |
|---|---|---|---|
| | BP-150 | Polietilen | Butil neopren |
| 60 | 0,20 | $8.8 \cdot 10^{-3}$ | 0,045 |
| 80 | 9,2 | $4.3 \cdot 10^{-2}$ | 0,50 |
| 90 | - | $7.4 \cdot 10^{-2}$ | 1,97 |

Dalja ispitivanja pokazala su da sa povećanom vlažnošću vazduha raste athezija čestica na sva tri materijala (tabela 2). Razlog ovoj pojavi je kapilarna kondenzacija vodene pare u zazoru između čestice i materijala, usled čega se povećava čvrstina veze čestice sa podlogom (1, 4, 5). U području visoke relativne vlažnosti vazduha, ove sile su ujedno i dominantne, tako da se isključuje uticaj elektrostatičkih i molekularnih sila.

## Zaključak

Merenjem sila athezije sfernih čestica dijametra od 29-103 μ na tri materijala za izradu zaštitne odeće zaključeno je sledeće:

1. Zavisnost sila athezije od prečnika čestica različita je na sva tri ispitivana materijala. Različite zavisnosti uočene su i kod dva gumirana platna, oba gumirana butil kaučukom, ali različitim tehnološkim postupcima.

2. Na sva tri materijala zabeležen je porast athezije čestica, kada se relativna vlažnost vazduha povećava iznad 65%.

3. Posmatrano sa stanovišta R-dekontaminacije, najnepovoljniji rezultati dobijeni su za gumirano platno koje se već koristi kod nas za izradu zaštitnih kombinezona (BP-150). Na ovom materijalu izmerene su sile reda veličine 0,1 dyn za sve ispitivane granulacije čestica, a zapažen je i najveći uticaj vlažnosti vazduha na povećanju athezionih sila.

## Literatura

1. A.D. Zimon, "Adgezija pili i poroškov", Izdat. "Himija", Moskva 1967.

2. Terence Allen "Particle size measurement", Chapman and Hall Ltd. London, 1968.

3. Handbook of chemistry and physics, 44 E. The chemical rubber comp. ed, str, 2259, 1963.

4. C. N. Davies "Aerosol science" Academic press, London, 1966.

5. B. V. Derjagin, A. D. Zimon, Kolloidnij žurnal, XXIII, N° 5, 544-552, 1961.

Investigation of the adhesion of particles on materials that are used for protective clothings

Summary

The adhesion of spherical particles 29-103 μu in diametar on three materials for protective clothings was measured by means of centrifugal method. The adhesion was studied as a function of particle size and the relative humidity of the ambient. It was shown that the experimental results could serve as a good illustration for the ability of removing particulate contamination from protective clothings, and that such measurements could give some criteria in choosing materials of what the protective clothings would be made.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUSTVA ZA ZASTITU OD ZRACENJA
Ohrid, 25. do 28. aprila 1972.

Ninković, M. M., Mininčić, T. Z.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič",
Vinča - Beograd

# ANALIZA OZRACIVANJA OSOBLJA KOD REAKTORA RA U VINČI

Rezime: Data ja analiza ozračivanja osoblja, koje radi kod reaktora RA, za protekli petogodišnji period od 1967. do 1971. godine. Numerički i histogramski prikazani su podaci o totalnim/za ceo kolektiv/, srednjim i maksimalnim individualnim godišnjim dozama ozračivanja. Ukupne godišnje doze ozračivanja kretale su se od 48 do 96 /ljudi x R/, a srednje i maksimalne individualne od 0,6 do 1,3 i od 2,3 do 4,5 /R/, respektivno. Takodje su izloženi podaci, za analizirani period, o prosečnim srednjim i maksimalnim dozama individualnog ozračivanja unutar osam karakterističnih radnih grupa.

## 1. Uvod

U prethodnom radu /1/, data je analiza ozračivanja osoblja koje radi na reaktoru Ra u Vinči zaključno do 1966. godine. Istovremeno su detaljnije prikazane specifične radne operacije, kao i karakteristične topografije zračenja oko samog reaktora i najvažnijih delova reaktorskih sistema.

U okvirima ovog rada daćemo najpre kratak prikaz merenja nivoa gama zračenja i neutrona; ukazaćemo na osnovne kontaminante radne atmosfere i površina i metode kontrole, da bi smo konačno veći deo pažnje posvetili analizi ozračivanja radnog osoblja u proteklom petogodišnjem periodu od 1967. do 1971. godine. Moramo odmah naglasiti da se u ovom radu operiše samo sa podacima o spoljašnjem ozračivanju, a da se ipak sve razmatra iz aspekta maksimalno dopuštenih doza zračenja. Ovakav prilaz omogućila nam je činjenica, da se doprinos internog ozračivanja, od inhaliranih

radioaktivnih aerosola i gasova, može zanemariti. Kao potvrda ove konstatacije služe merenja aktivnosti celog tela, kao i uopšte sadržaja radioizotopa u organizmu, koja se obavljaju u institutskoj laboratoriji za medicinsku zaštitu /2/.

## 2. Nivoi gama zračenja i neutrona

Na reaktoru se vrši stalna kontrola nivoa gama zračenja, po tehnološkim i radnim prostorijama, preko ugradjenog stacionarnog sistema. Sem toga, svakodnevno se vrše merenja, prema ukazanim potrebama, u reaktorskoj hali i ostalim radnim zonama, sa prenosnim instrumentima. Posebno se prate nivoi zračenja na karakterističnim mestima, i to pri radu reaktora na nominalnoj snazi i za vreme redovnih remontnih poslova.

Merenje nivoa neutronskih doza vrši se diskontinualno pomoću mobilnog, sfernog neutronskog dozimetra. Izmerene vrednosti u proseku su oko tri puta manje od odgovarajućih doza gama zračenja /3/.

## 3. Kontaminacija vazduha, površina i osoblja

Kontrola stepena kontaminacije radnih površina i atmosfere vrši se uglavnom diskontinualno. Kontinualno se prati samo opšti nivo aerosolne i gasne aktivnosti u vazduhu, koji se preko dimnjaka izbacuje u spoljnu sredinu.

Stepen aerosolne kontaminacije vazduha kontroliše se uzimanjem uzoraka na filtrima. Filtri su papirni, odnosno papirni impregnirani sa ugljem za sakupljanje $^{131}J$. Analiza sadržaja totalne beta aktivnosti na filtrima, vrši se pomoću stacionarnog sistema, sa protočnim proporcionalnim brojačima i prenosnog sistema RV – 4. U izvesnim slučajevima vrše se i selektivne analize na scintilacionim i poluprovodničkim gama spektrometrima.

Osnovni aerosolni kontaminanti su: $^{60}Co$, $^{51}Cr$, $^{59}Fe$, $^{110m}Ag$, $^{65}Zn$, $^{131}J$ itd.. Kobalt, hrom, gvožđje i cink dospevaju u spoljnu sredinu kao korozini produkti, sa teškovodnom parom. Jod i srebro, potiču od curenja uzoraka koji se ozraču-

ju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima. Posle prvog narušavanja hermetičnosti gorivnih elemenata u aktivnoj zoni reaktora, septembra meseca 1970. godine, medju aerosolnim kontaminantima zapaža se i prisustvo $^{137}Cs$, $^{140}Ba$, $^{140}La$, $^{239}Np$ i u tragovima ostalih fisionih produkata i transuranskih elemenata.

Ritam uzimanja aerosolnih uzoraka ustaljen je za normalne radne uslove. Pri svim specifičnim poslovima / zamena goriva, postavljanje novih eksperimenata itd. /, uzimaju se vanredni uzorci. Maksimalno registrovane koncentracije ne prelaze maksimalno dopuštene nivoe, a praktično u većini slučajeva kreću se u granicama fona /3/.

Osnovni gasni kontaminant radne atmosfere je tricijum. Tricijum dospeva u spoljnu sredinu pri dehermetizaciji teškovodnog i gasnog sistema reaktora i reaktorskog suda, kao i pri svim manipulacijama sa teškom vodom iz teškovodnog sistema /4/. Sem tricijuma i jod-131 se registruje i to posle svakog narušavanja hermetičnosti uzoraka telurne kiselune,koji se ozračuju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima reaktora.

Kontrola kontaminacije osoblja, radne odeće, površina, alata itd.,vrši se direktnim merenjima, odnosno metodom briseva. Merenja se izvode na brojačkim uredjajima, a u izvesnim slučajevima na gama spektrometru. Osnovni kontaminanti su radioizotopi: $^{60}Co$, $^{51}Cr$, $^{110m}Ag$ i produkti ozračivanja aluminijuma. Takodje se zapaža i prisustvo $^{137}Cs$ i u tragovima ostalih dugoživećih fisionih produkata.

## 4. Ozračivanje osoblja

Osoblje koje radi kod reaktora nosi lična dozimetrijska sredstva - filmove i penkalo-dozimetre, pomoću kojih se direktno mere i odredjuju doze ozračivanja kojima je izloženo. Film poseduje svako lice i nosi ga mesec dana,tako da se sa njega očitava mesečna doza ozračivanja. Penkalo-dozimetri sa direktnim očitavanjem, izdaju se osoblju po potrebi a očitavaju se svakodnevno i na taj način se prati ukupno dnevno ozračivanje ili ozračivanje pri pojedinim specifičnim operacijama.

Analiza ozračivanja osoblja,u proteklom petogodišnjem periodu, data je u tabelama I i II i na slikama od 1 do 4.U tabeli I,dati su podaci po godinama, o broju ljudi po arbitrerno izabranim intervalima doza ozračivanja; ukupan broj ozračivanih; ukupna doza za ceo kolektiv; maksimalna i srednja individualna doza ozračivanja. Kako se može videti, posmatrajući dati vremenski period u celini, maksimalne individualne doze ozračivanja bile su manje od 5/R/; više od 90%, od ukupno ozračivanih, bilo je izlagano godišnjim dozama manjim od 2/R/; kod preostalih oko 10% ozračivanih, doze su se kretale od 2 do 3/R/ godišnje sa izuzetkom najviše pet-šest slučajeva u celom petogodišnjem periodu. Kako se može videti u tabeli I i na sluci 1, ukupne godišnje doze ozračivanja celog kolektiva, kretale su se od oko 50 do oko 60/R/ izuzimajući 1970.. Skoro dvostruko veće ozračivanje, u 1970. godini, javilo se kao posledica izvodjenja intenzivnih remontnih operacija, odnosno generalnog remonta u smanjenom obimu.

Kod razmatranja ozračivanja osoblja, na jednom nuklearnom postrojenju, interesantno je da se prati ozračivanje pojedinih karakterističnih radnih grupa. Jedna ovakva analiza data je u tabeli II i na slici 4. Ceo radni koletiv podeljen je na osam specifičnih radnih grupa. Za svaku grupu date su srednja i maksimalna individualna doza ozračivanja, a na slici 4, prosečne vrednosti istih veličina za ceo petogodišnji period. Kao što se može videti, najizloženiju grupu čine mehaničari u reaktorskoj hali, zatim slede ostali mehaničari u pogonu dozimetristi itd.. Problem uvećanog ozračivanja mehaničara u reaktorskoj hali poajavio se još na početku rada reaktora, kao posledica neadekvatne zaštite pri operaciji manipulisanja sa ozračenim uzorcima materijala, što je isključivo posao ove radne grupe. Smanjenje ozračivanja postiglo bi se potpunom automatizacijom ovog procesa, medjutim, to još uvek nije moglo da bude učinjeno.Kako se može videti na slici 4, prosečne maksimalne i srednje individualne doze ozračivanja predtavljaju saglasna merila ozračivanja za većinu radnih grupa. Izuzetak čine grupe inženjera i osblja za održavanje opreme, gde su maksimalne individualne doze ozračivanja dva i više puta veće od srednjih.Do uvećanog ozračivanja pojedinih članova ovih grupa doš-

Tabela I

Pregled ekspozicionih doza kojima je bilo izloženo osoblje koje je radilo na reaktoru RA, u periodu od 1967. do 1971. god.

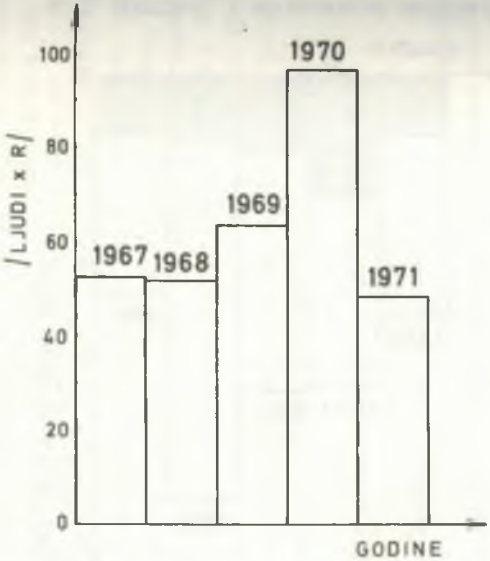
| Godina | Intervali eksp. doza /R/ | | | Ukupan broj ozračivanih | Ukupna doza /ljudi u R/ | Maksimalna doza po čoveku /R/ | Srednja doza po čoveku /R/ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0-0,4 | 0,4-2 | 2 - 5 | | | | |
| 1967 | 38 | 45 | 4 | 87 | 52,9 | 2,3 | 0,61 |
| 1968 | 40 | 32 | 5 | 77 | 51,8 | 4,5 | 0,67 |
| 1969 | 21 | 50 | 5 | 76 | 63,1 | 3,4 | 0,83 |
| 1970 | 13 | 47 | 15 | 75 | 96,3 | 3,3 | 1,28 |
| 1971 | 22 | 51 | 1 | 74 | 48,0 | 2,6 | 0,65 |

Tabela II

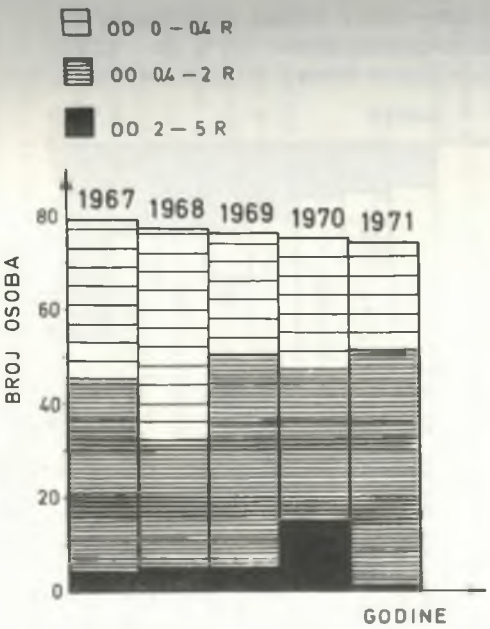
Pregled ozračivanja osoblja, razvrstanog po karakterističnim radnim grupama

| Red. br. | godine / rad. grupa | 1967 | | | 1968 | | | 1969 | | | 1970 | | | 1971 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | a | b | c | a | b | c | a | b | c | a | b | c | a | b | c |
| 1. | Mehaničari u reaktor.hali | 8 | 1,70 | 2,33 | 7 | 1,84 | 3,04 | 5 | 2,46 | 3,40 | 5 | 2,74 | 3,12 | 5 | 1,61 | 2,57 |
| 2. | Ostali mehaničari u pogonu | 17 | 0,71 | 1,09 | 15 | 0,68 | 1,07 | 18 | 0,78 | 1,23 | 17 | 1,83 | 3,33 | 17 | 0,82 | 1,12 |
| 3. | Dozimetristi | 7 | 0,97 | 1,37 | 7 | 0,71 | 1,20 | 7 | 0,86 | 1,12 | 7 | 1,13 | 1,95 | 7 | 0,68 | 1,12 |
| 4. | Šefovi smena | 6 | 0,45 | 0,77 | 5 | 0,61 | 1,24 | 5 | 0,93 | 1,58 | 5 | 1,95 | 2,54 | 5 | 0,60 | 0,90 |
| 5. | Inženjeri | 6 | 0,52 | 1,31 | 6 | 1,35 | 4,51 | 6 | 1,18 | 2,93 | 6 | 0,80 | 1,61 | 6 | 0,36 | 0,66 |
| 6. | Operatori | 10 | 0,37 | 0,82 | 10 | 0,27 | 0,38 | 10 | 0,57 | 1,24 | 10 | 1,12 | 1,75 | 10 | 0,58 | 0,96 |
| 7. | Električari u pogonu | 5 | 0,27 | 0,41 | 5 | 0,21 | 0,29 | 6 | 0,80 | 1,49 | 6 | 0,79 | 1,26 | 6 | 0,48 | 0,70 |
| 8. | Osoblje za održavanje opreme | 18 | 0,43 | 1,83 | 19 | 0,42 | 3,82 | 21 | 0,48 | 2,80 | 19 | 0,63 | 2,61 | 18 | 0,39 | 1,22 |

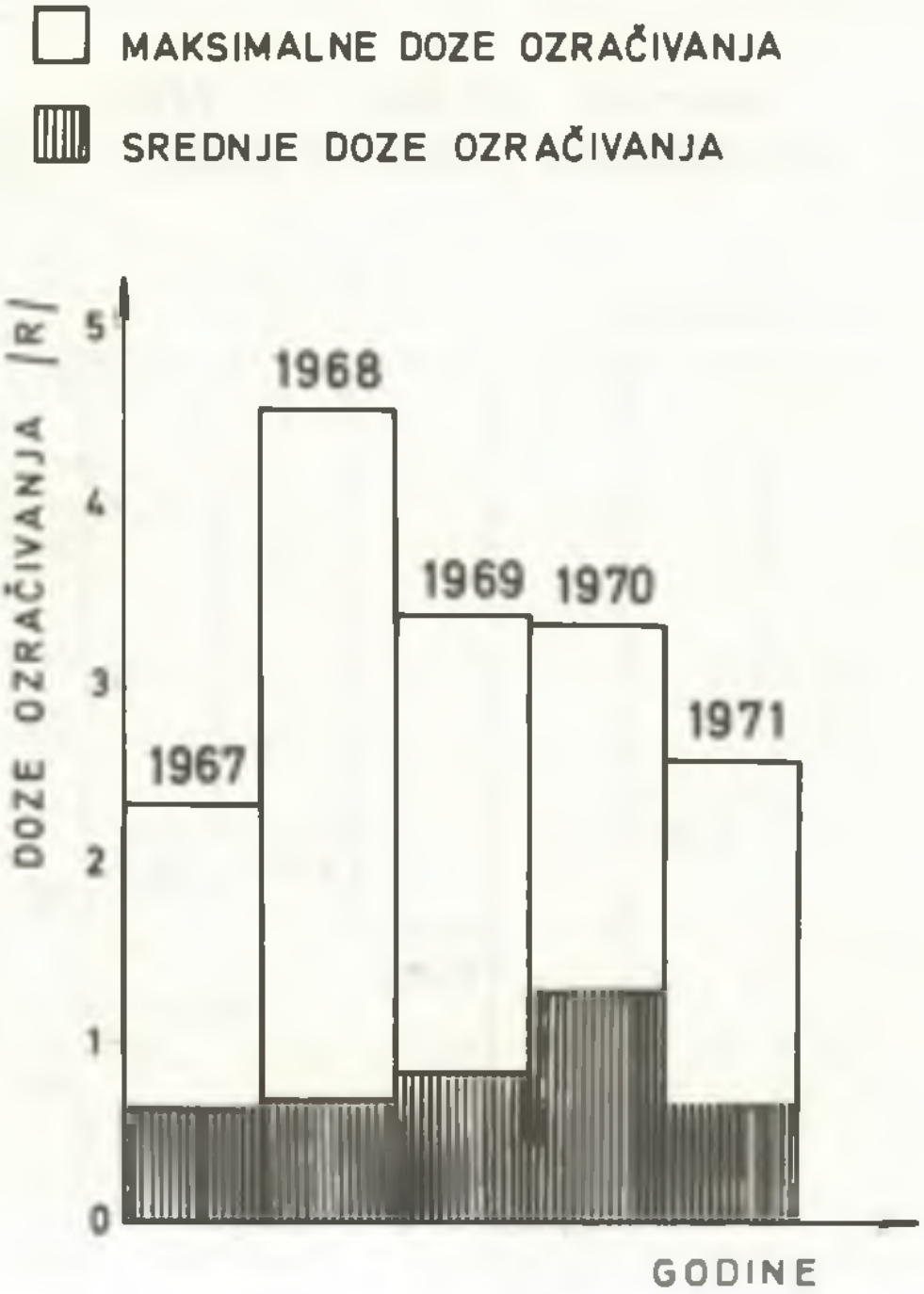
a - broj članova radne grupe
b - srednja individualna godišnja doza ozračivanja u grupi /R/
c - maksimalna individualna godišnja doza ozračivanja u grupi /R/.



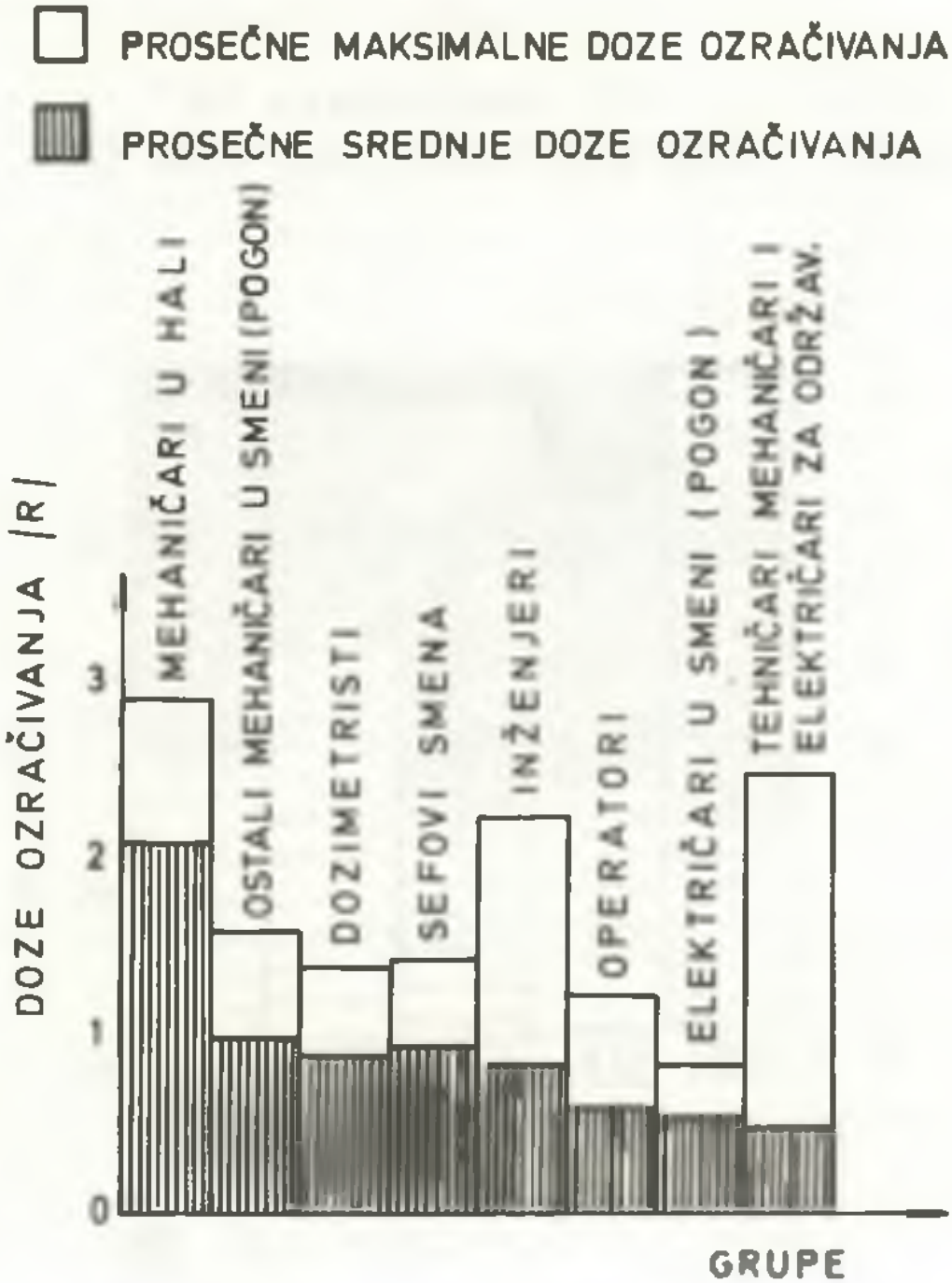

SL.1. UKUPNE GODIŠNJE EKSPOZICIONE DOZE ZA PERIOD 1967–1971




SL.2. BROJ OZRAČIVANIH OSOBA PO INTERVALIMA EKSPOZICIONIH DOZA OD 0–04R 04–2R I 2–5R.




SL. 3. SREDNJE I MAKSIMALNE GODIŠNJE EKSPOZICIONE DOZE PO POJEDINCU




SL.4. PROSEČNE SREDNJE I MAKS. EKSPOZICIONE DOZE PO ČLANU KARAKTERISTIČNIH GRUPA ZA PETOGODIŠNJI PERIOD (1967 — 1971)

lo je pri eksperimentalnom uhodavanju uredjaja za prepakivanje ozračenog goriva, koji je konstruisan i pušten u rad u proteklom periodu.

5. Zaključak

U okvirima ovog rada izloženi su podaci o ozračivanju radnog osoblja kod reaktora RA u Vinči u proteklom petogodišnjem periodu od 1967. do 1971. godine. Kako se moglo videti, posmatrajući dati vremenski period u celini, maksimalne individualne godišnje doze bile su manje od 5/R/; više od 90% od ukupno ozračivanih, bilo je izlagano dozama manjim od 2/R/; kod preostalih oko 10%, doze su se kretale od dva do tri rendgena godišnje, sa izuzetkom najviše pet-šest slučajeva u celom analiziranom vremenskom periodu. Konstatovano je da se doprinos ukupnom ozračivanju, od interne kontaminacije,može zanemariti, te da se u analizi ozračivanja može koristiti koncepcija maksimalno dopuštenih doza zračenja. Gledajući iz tog aspekta, očigledno je da možemo biti zadovoljni sa rezultatima dozimetrijske kontrole i zaštite koji su ostvareni na reaktoru u proteklom petogodišnjem periodu. Medjutim, ako se pak ovi podaci posmatraju iz aspekta dva osnovna aksioma zaštite od zračenja, tj.:

- da ozračivanje treba svesti na najmanju moguću, praktično prihvatljivu meru, i
- da se mora izbeći svako nepotrebno izlaganje zračenju,

i ako se naši rezultati uporede sa sličnim literaturnim /5,6, 7/, steći će se nešto drukčija slika. Interesantno je zato da se vidi slična analiza ozračivanja osoblja na jednom od reaktora u svetu,koji je po svojim karakteristikama i nameni blizak našem. Takav je naprime , reaktor EL-3 u Saclay u Francuskoj.U tabeli III, dati su podaci o evoluciji srednjih i maksimalnih individualnih doza ozračivanja u periodu od 1961. do 1965. godine na reaktoru EL-3.

Kako se može videti iz ovih, relativno starih podataka, kao i najnovijih literaturnih /8/, na polju praktične dozimetrije i zaštite, u svetu je permanentno prisutna tendenci-

ja snižavanja maksimalnih individualnih doza ozračivanja. Ove

Tabela III

Evolucija srednjih i maksimalnih individualnih doza ozračivanja na reaktoru EL-3, u Saclay-u

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 |
|---|---|---|---|---|---|
| Srednja individualna doza, /R/g/ | 3 | 3,5 | 1,8 | 1,1 | 0,6 |
| Maks. individualna doza, /R/g/ | 4,5 | 5,7 | 3,2 | 1,8 | 1 |

doze već sada su, u velikom broju slučajeva, manje za oko pet puta od trenutno maksimalno dopuštenih.

Konačno, gledani u kospektu delimično prikazanih najnovijih tendencija na polju zaštite od zračenja u svetu, izloženi rezultati dozimetrijske kontrole i zaštite kod reaktora RA u Vinči, ne mogu se prihvatiti kao sasvim zadovoljavajući. Medjutim, uzroci % očiglednom zaostajanju, leže uglavnom u nedovoljnom materijalnom ulaganju u dozimetrijsku i zaštitnu opremu, kao i evidentnom zaostajanju na planu potpunije automatizacije poslova u poljima zračenja.

Ninković, M. M., Mininčić, T. Z.

ANALYSIS OF PERSONNEL RADIATION EXPOSURES ON REACTOR RA AT VINČA

Abstract: An analysis of the personnel, working on the Vinča reactor RA, iradiation for the period 1967. to 1971. is given. Total, for whole comunity, and average and maximum individual exposures are given. Results are presented in tables and graphs. Total annual exposures were 48 to 96/men x R/. Average and maximum individual exposures were 0,6 - 1,3 and 2,3 - 4,5/R/, respectively. The special emphasis is given to a survey of exposures of the personnel classified, according to their post, into eight characteristic groups.

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

1. M.M.Ninković, Z.T.Mininčić, Spoljašnje ozračivanje osoblja koje opslužuje reaktor RA u Vinči u periodu od 1963. do 1966. godine, III simp. o rad. zaštiti, Banja Luka, oktobra 1967.

2. Interna dokumentacija Laboratorije za medicinsku zaštitu Instituta "Boris Kidrič", Vinča, Beograd.

3. M.M.Ninković, Dozimetrija i zaštita, Godišnji izveštaji " Pogon i održavanje reaktora RA", Interna dokumentacija Institua "Boris Kidrič", Vinča, Beograd.

4. M.M.Ninković, Radiološka detekcija tricijuma kod teškovodnih reaktora, III simp. o rad. zaštiti, Banja Luka, oktobra 1967.

5. K.A.Edvardsson and S.Hagsgard, Report on the personnel dosimetry at AB atomenergy during 1963, AE - 147, Stockholm, Sweden, 1964.

6. C.Candioti, En vue de la protection des travailleurs contre les radiations de 1958 a 1965, Serris des grandes piles de Saclay, Saclay, France, février 1966.

7. G.Cowper, G.B.Knight and P.C.Rowe, Analysis of external radiation exposures in 1965, AECL - 2540, Cholk River, Ontario, Canada, February 1966.

8. B.W.Emmerson, E.P.Goldfinch and B.W.Skelcher, Experience in the controle of radiation dose in United Kingdom civil Nuclear Power Station, Health Physics, 21, 643, 1971.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU
OD ZRAČENJA

Ohrid, 25 - 28. aprila 1972.

Dj.V. Pistić
Institut "Boris Kidrič", Vinča-Beograd

# OCENA I PROVERA ZAŠTITNIH SVOJSTAVA KONTEJNERA B-2

U referatu su izloženi problemi koji se sreću pri transportu radioaktivnih materija i mere koje se preduzimaju u cilju bezbednog transporta. Takodje su dati tehnički podaci kontejnera B-2 kao i kriterijumi, metode i rezultati merenja kod ocene i provere zaštitnih svojstava kontejnera B-2 koji po konstrukciji odgovara ambalaži tipa B.

## U V O D

Razvitak atomske industrije kao i primena izotopa u različitim oblastima tehnike, industrije, medicine i drugih oblasti, nalaže potrebu za razvojem i izradom specijalne ambalaže koja omogućava transport radioaktivne materije svim transportnim sredstvima.

U normalnim uslovima transporta radioaktivnih materija jedina opasnost potiče od spoljašnjeg ozračivanja i to se kontroliše ustanovljavanjem maksimalno dozvoljenih doza kako na površini ambalaže tako i na nekim odredjenim rastojanjima od ambalaže.

U slučaju havarije za vreme transporta javlja se dopunska potencijalna opasnost. U takvim slučajevima radioaktivne materije iz paketa se mogu prosuti i izazvati kontaminaciju ljudi i imovinsku štetu.

Opasnost od eventualnog ozračivanja i kontaminacije, i u jednom i u drugom slučaju, će zavisiti od niza faktora medju kojima su:

a. Konstrukcija ambalaže-kontejnera (naročito opasnost na mehanički udar i vatru).

b. Radiotoksičnost materije sadržane u paketu - kontejneru.

c. Količine i fizičko stanje radioaktivne materije u paketu.

Zbog toga normativi kojima se reguliše pakovanje i transport radioaktivnih materija treba da budu takvi da bezbednost drugih tovara zdravlje transportnih radnika i stanovništva pouzdano sačuvaju kako u nor-

malnim tako i u uslovima havarije. Osim toga neophodno je i ispitivanje ambalaže predvidjene za datu vrstu i uslove transporta.

S obzirom da je Medjunarodna Agencija za Atomsku energiju (MAAE) organ Ujedinjenih nacija koji se bavi problemima korišćenja atomske energije u mirnodopske svrhe i da je na osnovu svog Ustava pravno opunomoćena da uspostavlja norme bezbednosti za očuvanje zdravlja i imovine, to je sastavljanje Propisa o bezbednom transportu radioaktivnih materija bio samo jedan deo u ispunjavanju tih funkcija.

Spomenuti Propisi daju kriterijume i tehničke parametre kojima moraju odgovarati paketi i ambalaža za transport radioaktivnih materija. U zavisnosti od mehaničke otpornosti i otpornosti na vatru ambalaža može biti tipa A ili B.

Odelenje za reaktorske materijale (ORET) Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči je prvo u zemlji i za sada jedino koje se prihvatilo razvoja i izrade konstrukcije kontejnera koji pripada ambalaži tipa B.

Pri razvoju , izradi i ispitivanju konstrukcije kontejnera ORET se držao zahteva normativnih dokumenata MAAE i SEV-a.

Ispitivanja gotove konstrukcije vršena su po sledećem programu i redosledu:

1. Kontrola dimenzije; 2. Ispitivanje detalja za podizanje i nošenje; 3. Ispitivanje hermetičnosti;4. Ispitivanje zaštitnih svojstava; 5. Ispitivanje na slobodan pad; 6. Termičko ispitivanje; 7. Ispitivanje hermetičnosti; 8. Ispitivanje zaštitnih svojstava.

Ispitivanje hermetičnosti i zaštitnih svojstava vršeno je dva puta, pre i posle mehaničkih i termičkih ispitivanja i na taj način je najverodostojnije mogla da se utvrdi sigurnost konstrukcije ambalaže.

Cilj ovog referata je da prikaže metodu i iznese rezultate merenja kod ocene i provere zaštitnih svojstava kontejnera B-2, s obzirom da su zaštitna svojstva jedna od osnovnih karakterističnih parametara za ocenu kvaliteta ambalaže.

TEHNIČKI OPIS KONTEJNERA B-2

Kontejner B-2 je namenjen za transport radioaktivnih materija čija je maksimalna aktivnost adekvatna aktivnosti od 500 Ci Ir 192 pri tome jačina ekspozicione doze zračenja na bilo kojoj spoljnoj površini

ne prelazi 200mR/h ili ekvivalent.

Zaštitna moć kontejnera je adekvatna zaštiti od 75 mm Pb, u u svim pravicma u odnosu na unutrašnje zidove prostora za smeštaj radioaktivnih materija.

Konstrukcija kontejnera je data na crtežu Sl.1. Kontejner je cilindričan sud u tri osnovna podsklopa: čepa, tela i poklopca kontejnera.

Čep kontejnera je napravljen od nerdjajućeg čelika i ispunjen je olovom. Pritezanje čepa vrši se pomoću šest zavrtnja.

Telo kontejnera se sastoji od spoljnjeg omotača, termičke zaštite i olovne zaštite. U centru tela kontejnera se nalazi prostor za smeštaj radioaktivne materije. Na omotaču tela kontejnera se nalaze dve uške snabdevene ručicama za ručno pokretanje kontejnera.

Poklopac kontejnera služi za zaštitu čepa od udara. Pritezanje poklopca uz telo kontejnera vrši se pomoću šest zavrtnja.

ISPITIVANJE KONTEJNERA B-2

- Priprema za ispitivanje i kriterijumi za ocenu zaštitnih svojstava -

Prototip kontejnera B-2, koji je korišćen za ispitivanje, je svestrano pregledan i utvrdjeno je da nema nikakvih bitnih odstupanja u odnosu na date konstruktivne crteže.

Prototip kontejnera B-2 je pripremljen kao kad se koristi u stvarnom transportu, osim što su mu izvesni detalji dodavani pri ispitivanju hermetičnosti i otpornosti na vatru.

Osnovni kriterijumi za ocenu zaštitnih svojstava, koji se koriste pri razvoju, izradi i korišćenju paketa su jačine ekspozicionih doza gama zračenja ili odgovarajući ekvivalent za druga zračenja. Veličine doza paketa (ili kontejnera) za odredjene transportne kategorije odredjene su postojećim Propisima o bezbednom transportu, preporuke MAAE, Beč, 1967,[2] i date u tabeli 1.

Drugi parametar koji se primenjuje (u zemljama-članicama SEV-a) i čije je učešće poželjno pri konstrukciji, realizaciji i prijemu kontejnera, je homogenost zaštite ili tačnije ujednačenost veličine doze po celoj površini kontejnera. Tako je precezirano da odstupanje jačine ekspozicione doze u ma kojoj tački udaljenoj od kontejnera ne više od 0,2 m nesme preći 100% merenoj na površini od 1cm$^2$ ili 20%, merenoj na površini od 100 cm$^2$, od srednje vrednosti na tom rastojanju, a pri tome se pod srednjom vrednošću podrazumeva srednja vrednost svih merenja izvršenih

sa odredjenim korakom po površini kontejnera.

TABELA I.

| Kategorija PAKETA | MAKSIMALNA JAČINA DOZE U mR/h ILI EKVIVALENT | |
|---|---|---|
| | Na bilo kom mestu na spoljašnjoj površini paketa | Na rastojanju 1m od centra paketa |
| I (bela) | 0,5 | ne registruje se |
| II (žuta) | 10,0 | 0,5 |
| III (žuta) | 200,0 | 10,0 |

Drugu grupu parametara o zaštitnim svojstvima formuliše zahtev o opadanju zaštitnih svojstava u uslovima havarije prvog ili drugog stepena težine. Relativno smanjenje zaštitnih svojstava za ambalažu tipa B posle ozbiljne havarije jasno je odredjeno u propisima MAAE, izdatim 1967. godine. Tamo se kaže da ambalaža tipa B treba da sačuva zaštitna svojstva od zračenja, taka da jačina ekspozicionih doza zračenja na jedan metar rastojanja od površine ambalaže ne prekorači, posle svih ispitivanja-imitiranja ozbiljne havarije, 1000 mR/h, ako je ambalaža sadržala Ir 192, koji je davao dozu zračenja od 10mR/h na rastojanju od 1 m, od površine ambalaže, pre ispitivanja. Pri tome smanjenje zaštitne moći treba da bude samo rezultat promene svojstva samog kontejnera.

RADIOMETRIJSKA METODA ZA ISPITIVANJE ZAŠTITNIH SVOJSTAVA KONTEJNERA-AMBALAŽE I REZULTATI MERENJA

Opis uredjaja i metode

Za odredjivanje parametara zaštitnih svojstava preporučuju se dve metode : radiometrijska i radiografska.

Pri radiografskoj metodi do ovih parametara se dolazi merenjem zacrnjene površine, filma kojim je bio obmotan kontejner. Ova metoda nije predmet ovog referata.

Odredjivanje zaštitnih svojstava radiometrijskom metodom svodi se na registraciju jačine ekspozicionih doza gama zračenja po unapred odredjenim tačkama na površini kontejnera.

Za ovu svrhu služi uredjaj koji se sastoji od:

- Obrtnog postolja na koje se postavlja ispitivani kontejner.
- Sonde koja se sastoji od jonizacione komore i kolimatora

- Nosača sonde koji omogućuje promenu položaja sonde u vertikalnoj ravni.
- Instrumenta za registrovanje jačine ekspozicionih doza gama zračenja.

Jonizaciona komora i instrument su delovi dozimetra tipa VA-J-151.

Principijelna šema uredjaja data je u prilogu (str. 8.)

Kontejner se postavlja na obrtno postolje što omogućuje merenje sa svih strana tj. obrtanje kontejnera oko ose od $0^0$ - $360^0$ sa korakom od $15^0$. Posle merenja na gornjoj polovini kontejnera, kontejner se okreće za $180^0$ tako da svojim poklopcem leži na obrtnom postolju čime je omogućeno merenje na donjoj polovini.

Sonda se učvršćuje na nosač koji joj omogućuje promenu položaja po vertikalnoj ravni od $0^o$ - $90^o$ sa korakom od $10^o$ posle svakog punog obrtaja kontejnera. Rastojanje od čela jonizacione komore do centra kontejnera iznosi 26 cm. Otvor pravougaonog kolimatora je približno 1 $cm^2$. Ose obrtanja nosača i obrtnog postolja uzajamno su peripendikularne i seku se u centru izvora zračenja.

Rezultati ispitivanja zaštitnih svojstava kontejnera B-2.

Ispitivanja su vršena, kako je ranije rečeno, dva puta. Prvi put pre svih spomenutih ispitivanja tj. pre mehaničkih i termičkih ispitivanja. Drugi put posle izvršenih ispitivanja kojima se imitirala ozbiljna havarija pri transportu kontejnera tj. posle mehaničkih i termičkih ispittivanja (slobodan pad, požar).

Na strani 8 su date merne tačke i vrednosti jačina ekspozicionih doza merenih kontaktno i na 1m rastojanja. Iz tabele se vidi da su zadovoljena zahtevi iz Propisa MAAE i SEV-a, ali se u mernim ravnima, a naročito u donjoj mernoj ravni, uočavaju znatne razlike u izmerenim vrednostima. Kako je zaštita kontejnera B-2 homogena došli smo do zaključka da je uzrok razlike u dozama način na koji je izvor zračenja bio postavljen u kontejneru. Za izvor je bio upotrebljen $Ir^{192}$, sastavljen od pet malih izvora Ø 4x4 mm, ukupne aktivnosti 100 Ci. Ovi izvori su bili postavljeni u aluminijumski kener, unutrašnjeg Ø 40 mm. U tom keneru oni su mogli da zauzmu bilo koje mesto, da se grupišu ili da se rasture. Zbog toga se imao utisak da je debljina zaštite u različitim tačkama bila različita.

Da bi dokazali homogenost zaštite mi smo prvi kontejner iz serije (N°-B-200) ispitivali napred navedenom metodom.

Za ovu svrhu korišćen je izvor zračenja $Ir^{192}$ aktivnosti 115 Ci.

Izvor je postavljen u centar prostora za smeštaj radioaktivne materije u kontejneru i učvršćen tako da ne može da menja svoj položaj.

Na tabelama 3,4 su date vrednosti izmerenih jačina ekspozicionih doza gama zračenja. Vrednosti jačina ekspozicionih doza gama zračenja pokazuju da su zadovoljeni zahtevi u pogledu homogenosti zaštite kontejnera, jer odstupanja izmerenih vrednosti jačina ekspozicionih doza gama zračenja u bilo kojoj tački ne prelazi 100% od srednje vrednosti izmerenih jačina ekspozicionih doza gama zračenja u svim tačkama.

## Zaključak

Ispitivanje-ocena i provera zaštitnih svojstava kontejnera B-2 koji je napravljen saglasno zahtevima za ambalažu tipa B, sadržanim u Propisima o transportu radioaktivnih materijala, a kojih se pridržavaju zemlje članice MAAE i SEV-a, je pokazalo da kontejner B-2 ima:

- veliku mehaničku izdržljivost
- zadovoljavajuću homogenost zaštite od gama zračenja
- beznačajno smanjenje zaštitnih svojstava posle svih ispitivanja,

te se može pristupiti serijskoj proizvodnji.

## Abstract

Problems arising during radioactive material transportation, as well as precautions which has to be taken, are discussed in this paper. Technical data of B-2 container are given. In order to test shielding propreties of B-2 container some measurements has been undertaken and results are reported here.

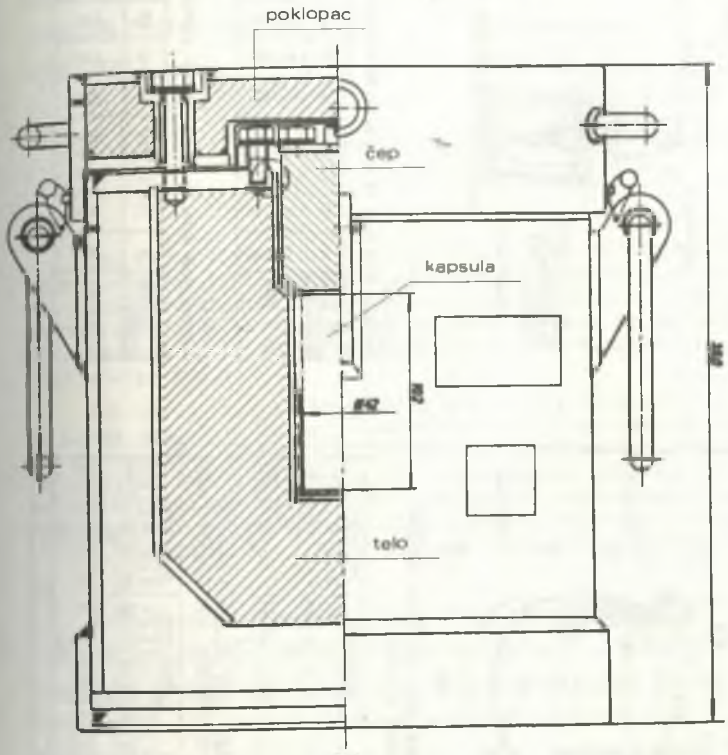
## Literatura:

1) "Regulations for the safe Transport of Radioactive Materials IAEA, Vienna, 1967. Safety Series No.6.

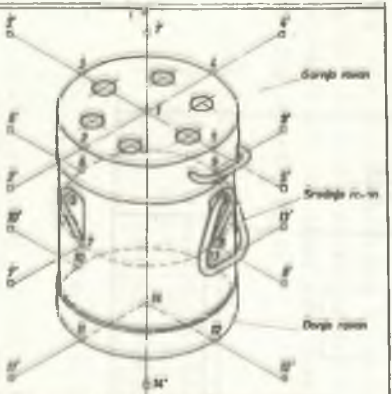
2) "Pravila perevozki radioaktivnih veščestv (dlja stran členov SEV-a)". SEV, Moskva, 1968.

3) "Radijacionaja zaščita. Rekomendacija MKRZ. Gosatomizdat Moskva 1967.

4) "Regulations, for the safe Transport of Radioactive Materials", Second Revised Draft, IAEA, Vienna, june 1970.




Sl.1




## VREDNOSTI EKSPOZICIONIH DOZA ZRAČENJA MERENE NA POVRŠINI KONTEJNERA U mR/h

TABELA 1

| Merna ravan | Gornja ravan | | | | | Srednja ravan | | | | Donja ravan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tačka ravni | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| [illegible] | 10 | 4,2 | 3,8 | 2,5 | 2 | 18 | 21 | 19 | 22,5 | 11 | 6 | 7,5 | 20 | 23 |
| [illegible] | 3,1 | | | | | 20 | | | | 14,1 | | | | |
| [illegible] | 15 | 3,5 | 3,8 | 4,8 | 2,5 | 26,5 | 27 | 24,5 | 19,5 | 10 | 20,5 | 21,5 | 8 | 18,5 |
| [illegible] | 3,85 | | | | | 24,2 | | | | 15,1 | | | | |

## VREDNOSTI EKPOZICIONIH DOZA ZRAČENJA MERENE NA 1m OSTOJANJA OD POVRŠINE KONTEJNERA U mR/h

| Merna ravan | Gornja ravan | | | | | Srednja ravan | | | | Donja ravan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tačka ravni | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| [illegible] | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 1,3 |
| [illegible] | 0,6 | | | | | 0,7 | | | | [illegible] | | | | |
| Doza posle [illegible] | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 1,2 | 1,3 |
| Srednja [illegible] | 0,9 | | | | | 0,95 | | | | 0,95 | | | | |

UREDAJ ZA ISPITIVANJE ZAŠTITNIH SVOJSTAVA KONTEJNERA

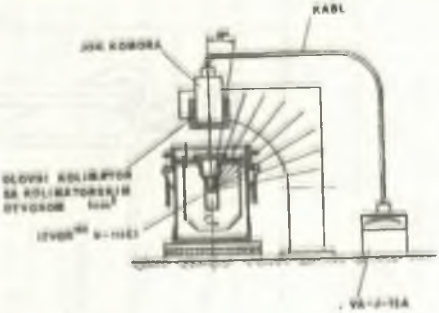



TABELA 3

VREDNOSTI EKSP. DOZA NA GORNJOJ POLOVINI KONTEJNERA U mR/h

| Položaj obrtanja sonde / kontejnera | 0 | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| od 0°-360° | 16,5 | 10-10,5 | 10 | 10,1 | 10,5-11,0 | 11,4-11,6 | 12,1-12,5 | 12,4-12,8 | 12,5-13,1 | 13,6-13,7 |

TABELA 4

VREDNOSTI EKSP. DOZA NA DONJOJ POLOVINI KONTEJNERA U mR/h

| Položaj obrtanja sonde / kontejnera | 0 | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| od 0°-360° | 17,0 | 15,0 | 14,9 | 12,4 | 11,8 | 11,7 | 12,0 | 12,2 | 13,7 | 14,1 |

VI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Milan Grgič
Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana

# Splošno o radioaktivnih odpadkih nuklearnih elektrarn pri normalnem obratovanju

Nuklearne elektrarne tvorijo enega izmed členov nuklearnega gorivnega cikla. Problem odpadkov nuklearnih elektrarn pri normalnem obratovanju je relativno enostaven v primerjavi s problemom odpadkov pridobivanja urana iz rud, in je mnogo enostavnejši od problema odpadkov predelave iztrpšenega nuklearnega goriva.

Pri nuklearnih elektrarnah lahkovodnega tipa (PWR in BWR) je treba omogočiti normalno obratovanje tudi pri manjših okvarah srajčk gorivnih palic, zato da ne bi takšne okvare zmanjševale razpoložljivosti NE in zgorevanje goriva, ker ni možnosti izmenjave goriva (okvarjenega ali iztrošenega) med obratovanjem. Takšne okvare lahko bistveno vplivajo na sestav in velikost radioaktivnosti odpadkov nuklearne elektrarne.

Nuklearne elektrarne lahkovodnega tipa (PWR in BWR) nimajo kontinuirane izmenjave goriva (na moči), ampak je treba izmenjati gorivo periodično pri ugaslem reaktorju. Zaradi tega tudi nimajo (in ne potrebujejo) sistemov za detekcijo okvarjenih gorivnih elementov, ker jih ni mogoče zamenjati med obratovanjem.

Izkušnje kažejo [1] - zlasti pri nuklearnih elektrarnah tipa BWR - da je možno in potrebno normalno obratovati, tudi

če pride do manjših okvar goriva. To je zelo pomembno, ker omogoča,doseči boljšo razpoložljivost NE in boljše zgorevanje goriva brez izmenjave goriva na moči (med obratovanjem). Seveda pa lahko takšne nezaželjene a dopustne okvare bistveno vplivajo na radioaktivne odpadke nuklearne elektrarne.To lahko precej vpliva na potrebe zadrževanja i tretiranja tekočih in plinastih odpadkov.

Pri nuklearnih elektrarnah tipa BWR navadno zahtevajo, da mora biti možno normalno obratovanje pri puščanju približno 10 Ci/s , difuzijske mešanice žlahtnih plinov (razpolovne dobe večje kot 1 sekunda) iz goriva v primarno hladilo. Pri nuklearnih elektrarnah tipa PWR pa navadno zahtevajo, da mora biti možno normalno obratovanje, če je okvarjenih (pušča) manj kot 1% gorivnih palic. Mišljene so male okvare, ki jih povzroča korozija ("pin holes"). Temu primerno morajo biti projektirani sistemi za ravnanje z odpadki.

Če ne pride do okvar goriva, je radioaktivnost razcepkov v primarnem hladilu in odpadkih nuklearne elektrarne zanemarljiva v primerjavi z radioaktivnostjo aktivacijskih produktov. Sledovi prisotnih razcepkov pa so v glavnem posledica sledov urana na površinah gorivnih elementov in v primarnem hladilu.

Primarno hladilo je direkten ali posreden vir radioaktivnosti pretežne večine radioaktivnih odpadkov nuklearne elektrarne, razen kontrolnih palic ter instrumentalnih in strukturnih komponent, ali kosov sredice.

Pretežna večina radioaktivnosti primarnega hladila se izloči v smolah demineralizatorja primarne čistilne zanke ter v usedlinah primarnega hladilnega kroga. To so radioaktivni odpadki, katerih začetna specifična aktivnost je lahko velikostnega reda približno 1 Ci/kg. Začetna radioaktivnost komponent

sredice (kontrolne palice i.dr.), pa je navadno velikostnega reda 10 Ci/kg, oziroma $10^4$Ci/tono. Za te najbolj aktivne odpadke nuklearne elektrarne bi bilo vsekakor ugodno, če bi jih lahko spravljali v primerne shrambne votline v neposredni bližini reaktorja, katerih kapaciteta naj bi zadostovala za celo življensko dobo nuklearne elektrarne (20 - 30 let). Nadaljna usoda teh odpadkov pa naj bi bila odvisna od usode ostankov nuklearne elektrarne po izteku njene življenske dobe. V ta namen bi verjetno potrebovali približno 5$m^3$ prostornine na leto oziroma za celo življensko dobo približno 100 do 200 $m^3$ shrambne prostornine. Zaradi močne navezanosti aktivnosti na smolo, ali v drugem primeru zaradi trdnega (kovinskega ali plastičnega) stanja komponent sredice, ni nevarnosti pomembnejšega puščanja radioaktivnosti visokoaktivnih odpadkov iz takih votlin.

V takšnih votlinah bi lahko zadrževali po nekaj tisoč kirijev aktivnosti smol, oziroma po nekaj desettisoč kirijev aktivnosti kontrolnih palic in drugih komponent ali kosov sredice (do $10^5$ Ci).

Radioaktivnosti ostalih trdnih odpadkov, - ki jih dobimo direktno pri raznih vzdrževalnih in oskrbovalnih delih, ali procesih ter pri dekontaminaciji naprav in prostorov; ali pa jih dobimo kot produkte tretiranja tekočih in plinastih odpadkov - so navadno relativno majhne. Hranjenje, ali odlaganje relativno nizkoaktivnih odpadkov nuklearne elektrarne, med katere sodi pretežna večina odpadkov nuklearne elektrarne (približno 300 sodov na leto) ni vezano na posebno restriktivna zadržitvene zahteve. Celokupna v več letih nakopičena aktivnost takšnih odpadkov verjetno ne bo nikoli presegla vrednosti $10^2$Ci.

Tekoče in plinaste radioaktivne odpadke nuklearne elektrarne pri normalnem obratovanju pa niti ne hranimo, niti ne odlagamo; ampak jih po ustraznem krajšem ali daljšem razpadnem zadrževanju in ustreznem tretiranju kontrolirano sproščamo v

okolico - v skladu z obveznimi omejitvami sproščanja.

Za grobo oceno akumulirane radioaktivnosti odpadkov nuklearne elektrarne, ki izvira iz primarnega hladila (in preko primarnega hladila) je dovolj upoštevati povprečne koncentracije radioaktivnih izotopov Co 60, Sr 90 in Cs 137 v primarnem hladilu. Ostali radioizotopi (aktivacijski in razcepni) dosežejo po enoletnem,ali dvoletnem obratovanju že skoraj končen (ravnovesen) velikostni red aktivnosti. Poleg koncentracije dolgoživih radioizotopov je treba poznati še količino primarnega hladila (200 - 300 $m^3$) ter časovno konstanto čistilne zanke (demineralizatorja) primarnega hladila (približno 10 ur).

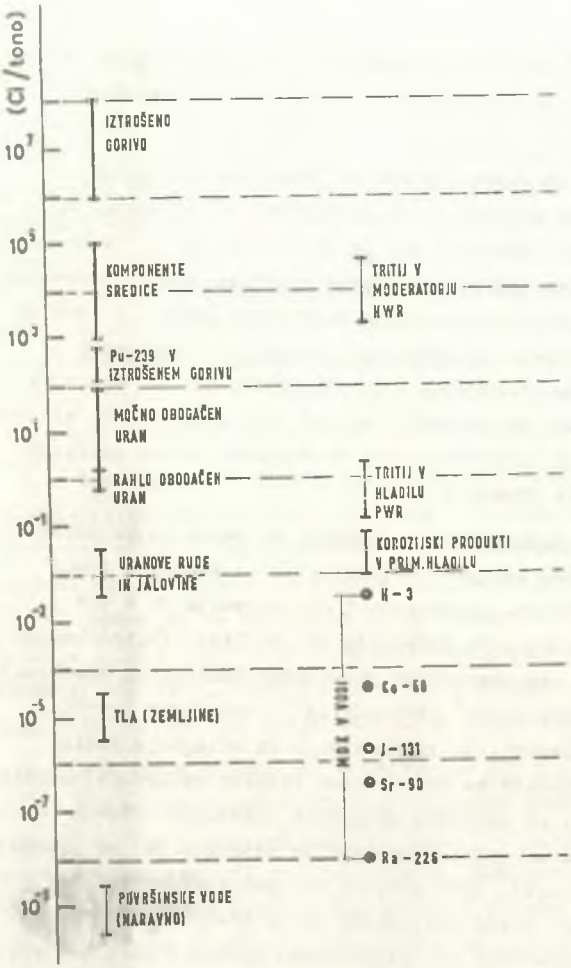
Navadno je koncentracija aktivnosti Co 60 v primarnem hladilu velikostnega reda $5.10^{-4}$Ci/$m^3$. To pomeni, da je v primarnem hladilu približno 0,10 - 0,15 Ci Co 60. Če vzamemo za časovno konstanto odstranjevanja kobalta iz primarnega hladila 10 ur, pomeni,da se na vsakih 10 ur izloči iz primarnega hladila 0,10 - 0,15 Ci kobalta-60. V povprečni življenski dobi kobalta - 60 (t.j. $7.10^4$ur) se v takem primeru izloči iz primarnega hladila manj ali približno $10^4$Ci kobalta 60.

Aktivnost stroncija 90 in cezija 137 v primarnem hladilu se pri normalnem obratovanju samo izjemoma približa aktivnosti kobalta 60 (aktivnost cezija 137 lahko včasih celo preseže aktivnost kobalta 60). V povprečju čez povprečno življensko dobo kobalta 60 (7 let) pa je aktivnost stroncija 90 in cezija 137 v primarnem hladilu znatno manjša od aktivnosti kobalta 60. To pa pomeni, da aktivnost razcepkov v radioaktivnih odpadkih ne more bistgeno vplivati na akumulirano aktivnost (izraženo v kirijih). Pač pa lahko bistveno vpliva na povprečno življensko dobo (dolgoživost) in na radiotoksičnost aktivnosti odpadkov - zaradi 6 krat daljše življenske dobe cezija 137 in stroncija 90

ter zaradi velike radiotoksičnosti stroncija 90, njegove večje topnosti in večje "pronicljivosti" skozi zemljo po podtalni vodi.

Celotna akumulirana aktivnost odpadkov, ki izvira iz primarnega hladila navadno ne bo presegala $10^4$ Ci, ampak bo celo znatno manjša. Pretežni del te aktivnosti pa je vsebovan v iztrošenih smolah demineralizatorja čistilne zanke primarnega hladila ter v usedlinah primarnega hlajilnega kroga. V ostalih odpadkih, ki zavzemajo pretežni del volumna radioaktivnih odpadkov nuklearne elektrarne, oziroma približno 300 sodov na leto, pa se navadno ne nakopiči več kot približno 100 Ci aktivnosti - niti po 30 letih življenske dobe elektrarne, ko se nakopiči že kakih $10^4$ sodov odpadkov.

V takšnih nizkoaktivnih odpadkih se morda lahko nakopiči nekaj (manj kot 10) kirijev stroncija 90 od katerega lahko uide v zemljo kvečjemu približno 1 Ci stroncija 90 v eni povprečni življenski dobi stroncija 90 (40 let). Toliko stroncija 90 pa je padlo z radioaktivnimi padavinami nuklearnih eksplozij na približno vsakih 10 $km^2$ (100 $mCi/km^2$) zemeljske površine. Iz tega lahko sklepamo, da za hranjenje in odlaganje takih nizkoaktivnih odpadkov ne potrebujemo posebno zahtevnih zadržitvenih struktur niti na geološko neugodnih lokacijah. Glavni problem hranjenja ali odlaganja takšnih odpadkov je, če zasedajo zemljišče, ki je morda urbanistično, ali poljedelsko zelo pomembno in drago. Glede nevarnosti pa je treba predvsem preprečiti nepooblaščene, ali nestrokovne posege v shrambe, ali odlagališča (pokopališča) takšnih odpadkov.




Slika 1. Velikostni razredi radioaktivnosti v nuklearnem gorivnem ciklu in v okolici.

Abstract

The problem of radioactive wastes from nuclear power plants is relatively simple in comparisson with the problems of radioactive wastes from other nuclear fuel - cycle operations, such as fuel reprocessing and production of uranium concentrates from uranium ores.

The light water type power plants must be designed to safely allow normal operation even in the case of minor fuel failures on about 1% of fuel rods. This must be achieved by designing and maintaining of suitable radwaste management systems. The light water type nuclear power plants, have no possibility of fuel changing durig operation on power.

The fuel failures may significantly influence the composition and magnitude of radioactivity of radioactive wastes at nuclear power plants.

A rough estimation of types, quantities and activities of radioactive wastes at nuclear power plants is given, and some possibilities of solid waste disposal at nuclear power plants is discussed.

Literatura

1. IAEA: Management of Radioactive Wastes of Nuclear Power Plants; Safety Series No. 28 (1968).

2. Randohr H., Brennstoffzyklus und Radioactive Abfälle; Kerntechnik 11, No. 2 (1969).

VI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Milan Grgič
Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana

# Ocenitve in upoštevanje pojavov rekoncentriranja pri omejevanju sproščanja radioaktivnosti iz nuklearnih elektrarn.

V referatu je pojasnjeno, kako je treba upoštevati pojave rekoncentriranja radioaktivnosti iz zraka in vode, pri omejevanju sproščanja radioaktivnosti v okolico iz nuklearne elektrarne. Poudarjeno je, da pojavi rekoncentriranja niso omejeni samo na vlogo mikroorganizmov, oziroma planktona, ampak da imajo podobno vlogo pri pojavih rekoncentriranja tudi aerosoli (v zraku) ter suspendirane anorganske in organske koloidne snovi v vodah. Vloga trave (pašnikov in travnikov) ter listnatih pridelkov pri rekoncentriranju radioaktivnosti iz zraka pa je primerjana z vlogo flore in favne dna ter deloma tudi z vlogo samega planktona.

Znano je, da upoštevanje maksimalnih dovoljenih koncentracij radioaktivnosti za zrak in vodo, ki jih je priporočila Mednarodna komisija za radiološko varstvo (ICRP), ne zadoščajo za omejevanje onesnaženja okolice, ker v njih niso upoštevani pojavi rekoncentriranja radioaktivnosti iz zraka in vod; niti niso upoštevane posebne kritične grupe prebivalstva, ki ne ustrzajo standardnemu človeku. Takšna kritična grupa prebivalstva so n.pr. otroci v odnosu na onesnaženje okolice z jodom 131 (preko inhalacije in preko mleka).

Pojavi rekoncentriranja so v splošnem zelo odvisni od segregacijskih in sorpcijskih lastnosti obravnavane radioaktivnosti zraka ali vode ter od povprečne življenjske dobe obravnavane radioaktivnosti.

Pojavi rekoncentriranja v zraku

Znano je, da je pretežen del radioaktivnosti zraka (razen inertnih plinov) v obliki aerosolov, ki se deponirajo na zemeljsko površino ter na raslinstvo in živalstvo na zemeljski površini, kakor tudi v pljuča ljudi in živali. Za razne kemijsko aktivne pline in pare (jod in žveplov dioksid) pa je pomembna tudi direktna sorpcija na floro in favno. Ker je koncentracija mase aerosolov v zraku navadno velikostnega reda $10^{-7}$ kg/m$^3$, lahko sklepamo, da je aktivnost na enoto mase aerosolov približno $10^7$ krat večja kot aktivnost na enoto mase zraka (če je pretežni del aktivnosti zraka v obliki aerosolov) - vsaj za posamezne izotope je to izpolnjeno. Če bi torej lahko govorili o koncentracijskem faktorju aerosolov podobno kot govorimo o koncentracijskih faktorjih raznih mikroorganizmov, bi dobili, da je koncentracijski faktor aerosolov velikostnega reda $10^7$. Koncentracijski faktor aerosolov pa nas navadno ne zanima; oziroma nas zanima kvečjemu kadar imamo opravka z usedlinami radioaktivnega prahu (aerosolov), ali pa z radioaktivnim prahom, ki se nabira v raznih zračnih filtrih. Pričakovati je, da bo specifična aktivnost takega prahu približno $10^7$ krat večja od aerosolne specifične aktivnosti zraka (aktivnost na enoto teže).

Pogosteje kot koncentracijski faktorji samih aerosolov (oziroma prahu) pa nas zanimajo koncentracijski faktorji trave

in listnatih pridelkov za radioaktivnost iz zraka. V tem primeru lahko ocenimo koncentracijski faktor, če poznamo povprečno depozicijsko hitrost radioaktivnosti iz zraka na travo in povprečno rast trave. Za grobo oceno lahko vzamemo, da je efektivna depozicijska hitrost (empirična količina) velikostnega reda $3.10^{-3}$m/s, oziroma $10^{4}$m/mesec. To pomeni, da se na kvadratni meter pašnika ali travnika deponira v enem mesecu približno toliko aktivnosti, kolikor je povprečno v tem času (en mesec) aktivnosti v $10^{4}$ $m^{3}$ zraka pri tleh (približno en meter od tal). Če zraste na kvadratnem metru travnika v enem mesecu en kilogram trave in se nanjo deponira toliko aktivnosti, kolikor je je povprečno v tem času v $10^{4}$ kg zraka pri tleh, dobimo za koncentracijski faktor trave vrednost velikostnega reda $10^{4}$. Masay aerosolov je pri tem v odnosu na maso trave zanemarljiva (približno tisočkrat manjša). Tu smo seveda zanemarili razpadanje radioaktivnosti v času kopičenja na rastočo travo, kar pa je uporabno samo za izotope, katerih življenska doba je daljša ali istega velikostnega reda kot življenska doba trave (več kot en mesec). Za kratkoživejše izotope pa dobimo manjše koncentracijske faktorje zaradi razpada aktivnosti v času kopičenja. Efektivna doba kopičenje je enaka eni povprečni življenski dobi izotopa.

Včasih pa nas ne zanima rekoncentracija radioaktivnosti iz zraka, ampak samo akumulacija na enoto površine. Ta pa je enaka produktu depozicijske hitrosti in povprečne življenske dobe aktivnosti. To nas zanima predvsem, kadar obravnavamo onesnaženje kot površinski izvor sevanja, ali pa samo onesnaženje površin.

Pojavi rekoncentriranja v vodah

Podobno je tudi s pojavi rekoncentriranja radioaktivnosti vod, le da nastopajo v vodah namesto aerosolov suspendirane anorganske in organske koloidne snovi; namesto trave pa plankton ter flora in favna dna.

V vodah je koncentracija suspendiranih koloidnih anorganskih in organskih snovi ter mikroorganizmov navadno velikostnega reda $10^{-4}$. Zaradi tega lahko pričakujemo koncentracijske faktorje velikostnega reda $10^{4}$ tudi za anorganske koloidne suspendirane snovi (gline in blata) in ne samo za mikroogranizme ali za plankton.

Koncentracijski faktorji usedlin na dno so odvisni od sestava usedlin. Če imamo opravka z usedlinami finega (drobnega) koloidalnega blata, so koncentracijski faktorji lahko istega velikostnega reda kot koncentracijski faktorji suspendiranih koloidnih snovi. Zaradi razpada kratkožive radioaktivnosti in zaradi mešanja sedimentiranega koloidnega blata s peskom in prodom pa so koncentracijski faktorji usedlin (zlasti rečnih) navadno znatno nižji).

Očitno je torej, da pojavi rekoncentriranja nikakor niso omejeni na vlogo mikroorganizmov, oziroma planktona, ampak imajo podobno vlogo tudi v vodi suspendirane koloidne anorganske in organske snovi. Morda imajo mikroorganizmi, oziroma plankton nekoliko pomembnejšo vlogo v prehrambenih verigah večjih organizmov, vendar lahko večji organizmi presnavljajo tudi anorganske in organske suspendirane snovi.

Omejevanje sproščanja radioaktivnosti v okolico NE

Pri omejevanju sproščanja radioaktivnosti iz nuklearnih elektrarn v obliki plinastih in tekočih odpadkov upoštevamo pojave rekoncentriranja tako, da obravnavamo posebej oblike radioaktivnosti, katerih rekoncentriranje je možno (in pričakovano) ter posebej oblike radioaktivnosti, katerih rekoncentriranje ni možno.

Med oblike radioaktivnosti odpadkov nuklearne elektrarne pri katerih ni potrebno upoštevati pojavov rekoncentriranja štejemo pri plinastih odpadkih predvsem inertne pline (dušik, argon, kripton, ksenon); poleg tega pa bi lahko sem prištevali tudi vse dovolj kratkožive radioaktivnosti zraka, da je kopičenje takšne radioaktivnosti v depozitu zanemarljivo (depozicija v eni povprečni življenski dobi aktivnosti).

Pare tritijevega oksida (tritijeve vode) se lahko rekoncentrirajo iz zraka v obliki rose, slane in megle v času ko ni padavin; vendar pa takšna aktivnost navadno kmalu ponovno izpari in se tritijev oksid v glavnem razredčuje s padavinami (1 $m^3$ padavin na $m^2$ na leto).

Pri tekočih odpadkih pa smemo zanemariti pojave rekoncentriranja predvsem pri tritijevem oksidu (tritijeve vode), ter pri vseh dovolj kratkoživih aktivnostih, ki se zaradi kratkoživosti ne morejo v pomembni meri prenašati preko prehrambenih verig do človeka (n.pr. tudi jod 131 v vodi!).

Pojave rekoncentriranja je treba pri plinastih odpadkih nuklearnih elektrarn upoštevati predvsem za jod 131 in dolgožive aerosole (Sr 90, Cs 137, Co 60, Ce 144, Rn 106, Zn 65).

Za te je treba vzeti maksimalno dovoljeno koncentracijo v zraku velikostnega reda $10^{-13}$ Ci/m$^3$. Pojave rekoncentriranja kratkoživih aerosolov (tudi jod 132, 133, 135) pa lahko upoštevamo tako, da vzamemo za maksimalno koncentracijo v zraku vrednost $10^{-11}$ Ci/m$^3$. Pri tem je upoštevana tudi večja občutljivost otrok za radioaktivne jode.

Pojave rekoncentriranja v vodah pa lahko upoštevamo tako, da za dolgoživo radioaktivnost, ki se utegne rekoncentrirati, ne upoštevamo samo omejitev koncentracije glede na vodo, ampak upoštevamo tudi omejitev aktivnosti v vodi na enoto suspendiranih koloidnih anorganskih in organskih snovi ter planktona. Takšna omejitev pa je navadno zlasti za rečne vode zelo konservativna, ker zahteva, da koncentracije takšne aktivnosti v vodi ne sme presegati $10^{-8}$ Ci/m$^3$, oziroma približno $10^{-7}$ Ci na kilogram v vodi suspendiranih koloidnih snovi in planktona. Takšna omejitev bi bila dejansko potrebna samo za dolgoživo aktivnost (Co 60, Cs 137, Sr 90) glede na depozicijo koloidalnega rečnega blata.

Tabela št. 1

Potrebne omejitve sproščanja radioaktivnosti v okolico nuklearne elektrarne z upoštevanjem rekoncentriranja

a.) V atmosferò, pri $\frac{\chi}{Q} = 10^{-6} \frac{sek}{m^3}$

- Inertnih plinov (MDK = $4.10^{-8}$ Ci/$m^3$) . . . . $10^6$ Ci/leto
- Joda 131 in dolgoživih aerosolov (MDK = $10^{-13}$ Ci/$m^3$) . . . . . 1 Ci/leto
- Kratkoživih halogenov in aerosolov (MDK = $10^{-11}$ Ci/$m^3$) . . . . . $10^2$ Ci/leto
- Tritijevega oksida (MDK = $4.10^{-8}$ Ci/$m^3$) . . . $10^6$ Ci/leto

b.) V kanal kondenzatorske hladilne vode s pretokom $10^9$ $m^3$/leto

- Razcepnih produktov (MDK = $10^{-8}$ Ci/$m^3$) . . . 10 Ci/leto
- Korozijskih in obrabnih produktov (MDK = $3.10^{-7}$ Ci/$m^3$) . . . . . 300 Ci/leto
- Tritijevega oksida (MDK = $10^{-3}$ Ci/$m^3$) . . . $10^6$ Ci/leto

Abstract

Estimations and Applications of Concentration Factors in Limiting the Radioactivity Releases from Nuclear Power Plants: It is shown in this paper that the role of aerols, and of the inorganic and organic (colloidal) suspended mathers in water is similar to the role of microorganisms or plan ton in the reoncentration of released radioactivity. A derived working level of $10^{-13}$ Ci/$m^3$ should be taken as the maximum permissible concentration of J-131 and of the longlived aerosol radioactivity.

Literatura

1. Eisenbud,M., Environmetal Radioactivity (1963), Mc Graw - Hill, New York.

2. Ponudbe za nuklearno elektrarno Krško.

3. Grgič, M., Zagadjenje okoline u normalnom pogonu NE i tendencije u pogledu lociranja; v okviru študije: "Dosadašnja iskustva i analiza pogonske sigurnosti komercialnih nuklearnih elektrana", Energoprojekt Beograd; Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, juli 1970 - izdelane za Zajednicu Jugoslovenske elektroprivrede.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštutu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

S.Muždeka, M.Šmelcerović
Institut za nuklearne nauke "B.Kidrič" , Vinča

# LABORATORIJA ZA MERENJE I PRIPREMU UZORAKA U AKCIDENTALNIM USLOVIMA

Opisana radiometrijska laboratorija služi za merenje uzoraka hrane,mleka,vode kao i bioloških i medicinskih uzoraka na beta aktivnost metodom debelog uzorka.Merni uredjaj se sastoji od olovnog oklopa sa ugradjenim GM brojačem i elektronskog dela koji sadrži skaler,tajmer i visoki napon.U laboratoriji se nalazi i kompleta za pripremu uzoraka i za dekontaminaciju. Monitor zračenja,koji je deo kompleta,prilagodjen je takodje za brza merenja uzoraka.

## Uvod.

Radiometrijska laboratorija je namenjena za merenje specifične aktivnosti materijala kontaminiranih fisionim produktima u akcidentalnim i vanrednim uslovima.Laboratorija omogućava pripremu i merenje uzoraka hrane,mleka,vode, a takodje i bioloških i medicinskih uzoraka.

Merenja se vrše na beta aktivnost fisionih produkata metodom debelog uzorka i za odredjivanje specifičnih aktivnosti u opsegu od $10^{-1}$ µCi/kg do $3x10^{3}$ µCi/kg(lit) sa maksimalnim greškama do ± 40%.

Vreme potrebno za analizu uzoraka,odredjeno je vremenom pripremanja preparata i merenja aktivnosti i kreće se do 10 analiza po času za tečne ili 5-10 analiza po času za proizvode hrane i drugih materijala.

Laboratorija je teška oko 100 kp, sa mernim kompletom i kompletom za pripremu 800 uzoraka.

Laboratoriju opslužuju dva saradnika od kojih jedan rukovodi radom laboratorije,vrši sva dozimetrijska merenja i daje analizu rezultata merenja; drugi saradnik priprema uzorke, vrši dekontaminaciju i brine se o potrebnim zalihama potrošnog materijala.

Opis i sastav laboratorije.

Instrumentacija za merenje,laboratorijski inventar i potrošni materijali razmešteni su u standardnim metalnim i plastičnim kutijama,koje su smeštene u dva velika metalna sanduka.

U prvom sanduku nalazi se pribor za uzimanje uzoraka,pribor za pripremu uzoraka,pribor za zaštitu lica koje priprema uzorke i materijal za dekontaminaciju.

U drugom sanduku se nalaze: ugradjeno olovno kućište sa detektorom,skaler sa tajmerom i napajanjem SVIT-10,ugradjeni ispravljač u slučaju napajanja iz mreže,monitor zračenja KOMO-TM i materijal potreban za merenje i analizu rezultata merenja.

Celokupan rad laboratorije može da se odvija preko tri osnovna radna mesta.

Sl.1. Radno mesto za pripremu uzoraka

Radno mesto za pripremu uzoraka dato je na sl.1.Ovde se primaju,

registruju i sortiraju doneti uzorci i pripremaju za merenje.Radna površina pokriva se plastičnom folijom i filter papirom i na nju se stavljaju potrebni elementi iz plastičnih kutija kao što su: planšete,avan sa tučkom,oblikovač proba,metalna ploča sa šablonom za otsecanje proba,pincete,skalpel,makaze,drvene špatle,pipete,talk, stakleni štapići,plastične bočice i sl.

Sl.2. Radno mesto za merenje aktivnosti uzoraka

Sl.3.Radno mesto za obradu podataka i za brzo merenje uzoraka

Na sl.2 dato je radno mesto za merenje radioaktivnosti uzoraka. Radna površina za ovo mesto pokriva se filter papirom i na to se postavljaju: skaler sa tajmerom,sat,kutija sa filterima,čančići sa izvorima i bez izvora za merenje fona,olovka,sveska,pincета,alat za postavljanje uzoraka i dr.

Na radnom mestu datom na sl.3 vrši se obrada podataka merenja, evidentiranje uzoraka i davanje zaključaka na osnovu rezultata merenja.Ovde se nalaze: uputstvo za rad,formulari za evidenciju,logaritamsko računalo,olovka i sl. Ovde se vrši i kontrola nivoa radioaktivnosti okoline i po potrebi selekcija uzoraka pomoću brže metode,direktnim merenjem uzoraka sa monitorom zračenja KOMO-TM.

Priprema i merenje uzoraka.

Za merenje specifične beta-aktivnosti uzoraka koristi se metoda "debelih uzoraka",sa debljinom aktivnog sloja uzorka od 10 mm.

Uzorci se pripremaju u okruglim aluminijumskim čančićima prečnika 40 mm i visine 12 mm.Čančići su označeni rednim brojevima.

Razradjeni su propisi za količine i način pripreme za uzorke koji su podeljeni po grupama,kao na pr.:

- voda i druge tečnosti,
- brašno,sp,šećer,žitarice,
- kačamak,pire,jogurt i ostali žitki materijali,
- hleb,meso,sveže voće,
- povrće,
- biološki uzorci.

Merenja beta aktivnosti svih pripremljenih uzoraka vrši se pomoću GM brojača u olovnom oklopu i skalera sa tajmerom SVIT-10.

Vrednosti minimalne aktivnosti uzoraka koje se mogu izmeriti dovoljno tačno zavise od vrednosti fona. U TAB.br.1 date su minimalne dovoljno tačne merljive vrednosti ukupnog odbroja $N_u + N_{fon}$ i odbroja pri merenju uzorka $N_u$ , u zavisnosti od odbroja fona $N_{fon}$.

Podaci u tabeli odnose se na vrednosti odbroja sa očekivanom statističkom greškom $\pm 15\%$.Vreme merenja odbroja uzorka može da se skra-

ti ako je odbroj uzorka veći od minimalnog iz tabele 1.

TAB. br.1

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_{fon}$ ,imp/s | 0,2 | 0,4 | 2 | 8 | 20 | 80 | 200 | 800 | 2000 |
| $N_u+N_{fon}$,imp/s | 0,4 | 0,8 | 2,8 | 12 | 28 | 100 | 240 | 880 | 2120 |
| $N_u$, imp/s | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 4 | 8 | 20 | 40 | 80 | 120 |
| Vreme merenja | 1000 s | | | 100 s | | | 10 s | | |

Pri merenju uzoraka predvidja se da se merni komplet nalazi u polju gama zračenja manjem od 20 mR/h.

Merenje specifične aktivnosti uzorka vrši se sledećim postupkom:

1° Na donju policu kasete u olovnom kućištu stavi se prazan neaktivan čančić za merenje fona i izmeri $N_{fon}$ ;

2° Na gornju policu kasete u kućištu stavljaju se filtri sa brojevima od 1 do 5 i meri $N_{fonf}$ ;

3° Na donju policu kasete stavi se čančić sa uzorkom i izmeri odbroj uzorka i fona $N_o$ .Zatim se meri odbroj uzorka i fona sa filtrima od 1 do 5 ($N_{of1}$ ..... $N_{of5}$).

Za dalja merenja treba odabrati filtar za koji se odbroj ($N_{of}$) smanji 1,45 do 2,6 puta u odnosu na odbroj bez filtra ($N_o$).

Tada je:

$$\frac{N_u}{N_f} = \frac{N_o - N_{fon}}{N_{of} - N_{fonf}} = [1,45 \text{ do } 2,6]$$

Dobijene vrednosti $N_{fon}$, $N_o$, $N_{of}$, $N_{fonf}$ i broj filtra upisuju se u registarski kartom.

Izračunavanje specifične aktivnosti uzorka vrši se na sledeći način:

- odredi se odnos $N_u/N_f$ ;
- iz TAB. br.2 odredjuje se vrednost koeficijenta F ;
- specifična aktivnost se odredjuje po obrascu:

$$A = F \cdot N_u \qquad \mu C/kg(lit) .$$

TAB. br.2

Odredjivanje koeficijenta F

| $N_u$ / $N_f$ | Broj aluminijumskog filtra | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1,50 | 0,9584 | 0,3917 | 0,1757 | 0,0656 | 0,0320 |
| 1,60 | 1,1800 | 0,4695 | 0,2073 | 0,0766 | 0,0373 |
| 1,80 | 1,6410 | 0,6233 | 0,2676 | 0,0971 | 0,0469 |
| 2,00 | 2,1197 | 0,7741 | 0,3246 | 0,1159 | 0,0557 |
| 2,20 | 2,6111 | 0,9219 | 0,3786 | 0,1332 | 0,0637 |
| 2,50 | 3,3645 | 1,1377 | 0,4549 | 0,1571 | 0,0746 |

Na osnovu dobijenog rezultata za specifičnu aktivnost ocenjuje se kolika je aktivnost ispitivanog uzorka u odnosu na granično dozvoljene norme propisane za date materijale.

Pri merenjima sa tajmerom mogu se odabrati vremena merenja 10 - 100 - 1000 sekundi, a rezultati merenja $N_o$, $N_f$, $N_{of}$, $N_{fonf}$ direktno se očitavaju na skaleru kao broj impulsa/s.

Realizacija radiometrijske laboratorije ostvarena je u Laboratoriji za elektroniku Instituta "B.Kidrič".

LABORATORY FOR MEASUREMENT AND PREPARATION OF SAMPLES UNDER EMERGENCY CONDITIONS

The described laboratory for health physics applications is developed for measurements of beta activities of samples of food, milk,water,and also biological and medical samples by the method of thick samples.The measuring assembley consists of a lead shield,containing a built-in GM counter,and an electronic part comprising scaler,timer,and H.T. supply.The laboratory also includes a sample preparing set and a docontamination set.Radiation monitor of laboratory is also suitable for fast sample measurement.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Fiz.hem. D. Petrović; Dr D.Panov,
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SR. Srbije
"Dr Dragomir Karajović" - Beograd

# c) ISPITIVANJE SREDSTVA ZA GAŠENJE POŽARA (laka pena) U POGLEDU SORPCIJE RADIOAKTIVNIH I DRUGIH ŠTETNIH SUPSTANCIJA

Rezime

Primena lake pene kao sredstva za dekontaminaciju,koja na osnovu teoriskih razmatranja obećava široke mogućnosti,je izvršena u rudnicima urana, olova i cinka (Rudnik, Gorenja Vas. Zletovo).

Ovi prethodni rezultati, kao praktična provera teorijskih razmatranja su bili neophodni pre početka jedne višegodišnje studije na ovom problemu. Dobijeni rezultati su uglavnom dati u funkciji dimenzija čestica.

## Uvod:

Pre izvesnog vremena u literaturi se pojavio predlog (1). da prateći kontaminanti nuklearnog incidenta u prostoru mogu biti uklonjeni ispunjavajući prostor sa visoko ekspanzionom penom preko koje se difuzijom mogu pokupiti kontaminanti. Efikasnost ovakve jednostavne operacije zavisi u prvom redu od povratnog (parcijalnog) pritiska kontaminanata (gasne faze).

Matematička analiza ove operacije je izvršena na osnovu-računanja difuzije radioaktivnih čestica i gasova u jednostaven model mehura.

Ovako dobijeni stepeni dekontaminacije, odnosno mogućnosti pene kao sredstva za dekontaminaciju su veoma visoki. Medjutim slaganja izmedju ovih proračuna i dobijenih vrednosti su veoma slabi.

Ova neslaganja mogu poticati iz raznih izvora, kao:

- povratni pritisak (parcijalni pritisak kontaminanata u mehuru),
- pucanje mehura u toku operacije,
- metoda detekcije kontaminanata u obliku aerosola i gasova.

## Difuzija

Difuznost čestica aerosola u rudniku može se predstaviti sa Ajnštajnovom relacijom:

$$D = \frac{RTGe}{6\pi \mu r N}$$

Gde je:

D - difuznost, $cm^2$/sec po molekulu
R - gasna konstanta, g.sila cm/g mola $K^0$ (75.000)
T - apsolutna temperatura, $K^0$
Ge - zemljina teža, 980 g masa cm/g sila $sec^2$
$\mu$ - viskoznost gasa nosača (vazduha) pri temperaturi T, G.masa/cm.sec (0,0017)
r - prečnik čestice, cm
N - Avogadrov broj $6,06.10^{23}$ molekula/g.molu.

i iznosi za čestice dima prečnika 10 $\mu$

$$D = 2,1.10^{-8} cm^2/sec$$

dok za molekula joda iznosi:

$$D = 0.1 \ cm^2/sec$$

Kretanje energije difuzije u zavisnosti od prečnika data je na grafiku (1).

Krive na grafiku, date za kretanje koeficijenta difuzije D u vazduhu za čestice raznih prečnika, dozvoljava da se odredi prečnik čestica kao funkcija njene pokretljivosti i njenog koeficijenta difuzije za čestice prečnika većeg ili jednakog $10^{-7}$ $\mu$.

U slučaju naelektrisanih čestice promene - jonova ne posmatramo njihovu energiju difuzije već pokretljivost (K) u funkciji električnog polja E, koje je dato jednačinom:

$$\vec{V} = K \vec{E}$$

gde K ima dimenzije $cm^2/V.sec$

Praktično u slučaju naelektrisanih čestica-jonova posmatramo koeficijenat difuzije D u odnosu na električno polje.

Koeficijent difuzije D u odnosu na mobilnost K dato je takodje Ajnštajnovom relacijom.

$$D = \frac{k\,KT}{e}$$

K - Baltzman-ova konstanta, T - apsolutna temperatura, e - elemetarno naelektr.

Kada se zamene vrednosti za konstante dobija se jednostavan odnos izmedju D i k:

$$D\ (cm^2/sec) = 2{,}5.10^{-2}\ k\ (cm^2/V.sec)$$

$$k\ (cm^2/V\ sec) = 40\ D\ (cm^2/sec)$$

Odnos ovih veličina u zavisnosti od prečnika čestica data je na grafiku 1.

## Primena teoriskih rezultata difuzione jednačine na pojedinačan mehur

Vrednost koncentracije gasn. faze u mehuru u odnosu na koncentraciju gasne faze u atmosferi može biti definisano kao odnos Q/Qo tj. krajnju kroz početnu koncentraciju, pa dobijamo sledeći izraz:

$$\frac{Q}{Q_0} = 6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{n^2\pi^2}{R^2} Da\, t}}{n^2\pi^2}$$

Zbog matematičke pogodnosti faktor dekontaminacije je ovde definisan kao odnos krajnje kroz početnu koncentraciju, što je recipročna vrednost klasične definicije faktora dekontaminacije.

U ovoj formuli pojedini simboli predstavljaju: Cag- aerosolna koncentracija u gasnoj fazi; r - radijalna pozicija; t - vreme, (u sec); Da - difuznost aerosola kroz gasnu fazu; R- prečnik mehura.

Ako eksponent u prethodnim jednačinama obeležimo sa $\tau = \frac{R^2}{\pi^2 Da}$, tada dobijamo dekontaminacioni faktor u obliku:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad \text{iii}$$

$$2{,}303 \log \frac{Q}{Q_0} = 2{,}303 \log \frac{6}{\pi^2} - \frac{t}{\tau}$$

Pa prema tome za faktor dekontaminacije od $\frac{Q}{Q_0} = 10^{-9}$ mi nalazimo

$$\frac{t}{\tau} = 20{,}2$$

Ako uzmemo ranije nadjenu vrednost za difuznost aerosola u vazduhu pri $20^0C$ (čestice dima) $Da=2{,}1.10^{-8} cm^2/sec$ za čestice prečnika od $10\mu$.

Ako uzmemo da je prečnik mehura dobijene pene R= 2,5 cm tada je t = 7.000 dana.

Za čestice prečnika od $0{,}05\mu$ $Da = 4{,}2.10^{-6} cm^2/sec$, a samo t = 35 dana

Za faktor dekontaminacije $10^{-3}$ vreme t će biti manje za faktor 3.

Očigledno je iz ovih proračuna da treba upotrebiti vrlo male prečnike mehura da bi dekontaminacija penom bila u stvarnosti efektivna u kratkom vremenu i to je verovatno razlog zašto obaranje penom nije dalo veće faktore dekontaminacije u prethodnim istraživanjima.

U našim istraživanjima mi smo postigli distribuciju prečnika mehura ispod 1 cm sa najvećim brojem mehura od 0,5 cm i manji.

Ako ovu vrednost zamenimo u prethodnim jednačinama, za čestice aerosola od $0{,}05\mu$ čija je difuznost: $Da=4{,}2.10^{-6} cm^2/sec$. i faktor dekontaminacije $10^{-3}$ imamo za optimalno vreme: $t=11^h 28min$.

U ovoj matematičkoj analizi nisu obuhvaćeni pojedini faktori koji mogu da smanje ovo optimalno vreme, a to su: -pokretljivost K i brzina kretanja čestica aerosola usled ventilacije.

**Metoda rada:**

Ispitivanje zaprašenosti na radnom mestu su vršena sa metodama koje su uglavnom u upotrebi u rudnicima (3) i to: -koniometriska metoda (3); - gravimetriska metoda (3); - termoprecipitatorska metoda (3); i metoda odredjivanja kratkoživećih potomaka radona (4).

Ispitivanje gasova na radnom mestu vršena su na: - azotne okside (NO i $NO_2$); - ugljen monoksid(CO); radon (Rn-222)

Sam način ispitivanja obesprašivanje penom vršeno je u rudnicima na radnim mestima u uslovima rada koji vladaju u rudnicima.

Ispitivanja obesprašivanja su vršena pri sledećim operacijama: 1. Bušenje čela, 2. Miniranje čela.

Naime prema literaturnim podacima (5) izvori prašine u rudniku su sledeće operacije sa odgovarajućim doprinosom: bušenje 60%; miniranje 30%; utovar i drugi izvori 10%.

1. Bušenje čela:

Iz jednog rezervoara zapremine 150 l napravljen je rastvor od 5% vode i ekstrata lake pene. Pod pritiskom od 5 atm. ovaj rastvor je ubacivan pored burgije u buštoinu prilikom bušenja. Koncentracije i distribucija prašine je merena u toku operacije sa i bez primene ovoga rastvora.

2. Miniranje čela:

Miniranje čela je vršeno sa i bez pene i to na 2 načina: - prskanjem i pokrivanjem zidova hodnika u blizini mesta miniranja; - punjenjem hodnika, koji vodi do čela, sa penom.

Neposredno posle miniranja ekipa je ulazila u hodnik i uzimala uzorke zaprašenosti ranije pobrojanim metodama.

S obzirom na koncentracije gasova i prašine neposredno posle miniranja uzimanje uzoraka je vršeno pod izolacionim aparatima na komprimirani vazduh - tipa SPIROTECHNIQUE -francuske proizvodnje.

## Naši rezultati

Sva merenja, kao i prikazani rezultati data su kao poredjenje koncentracije štetnih gasova i aerosola bez upotrebe pene i sa upotrebom pene.

Odmah napominjemo da veći broj merenja nije dat zbog neadekvatnosti metoda u uslovima velike vlažnosti prilikom eksplozija i bušenja.

Na tabeli 1 prikazan je efekat prskanja zidova hodnika penom prilikom miniranja. Dobijeni rezultati iako pozitivni nisu pouzdani zbog nereproduktivnosti, što se naročito odnosi na gasove.

Na grafiku 2 su prikazana gravimetriska odredjivanja ($mg/m^3$) efekta pene kod bušenja. Na ordinati su date koncentra-

cije prašine a na apscisi su časovi računajući od ulaska u jamu. Program rada u toku ispitivanih smena je bio: - ulazak u jamu u 0 h.; bušenje čela u prirodu izmedju I i IV h.; i miniranje oko VI h.

Iz grafika 2. vidimo da je smanjenje evidentno i to za faktor 5 (faktor dekontaminacije = 5) odnosno za oko 80%.

Na grafiku 3. imamo prikazan broj čestica u zavisnosti od prečnika - distribuciju kod miniranja - pri punjenju hodnika sa penom. S obzirom na uslove rada, kada je merenje u tačno odredjenim intervalima i pod tačno odredjenim uslovima veoma teško, mi smo postigli sledeće: - merenja su vršena na istim radnim mestima (isti sastav stena) prilikom miniranja sa istim količinama eksploziva, - merenja sa penom su uvek vršena ranije (15 i 2o min posle miniranja) nego bez pene (27 do 34 min posle miniranja), da bi se izbegla mogućnost prikazivanja efekta ventiliranja, odnosno taloženja kao efekta uticaja pene; - situacija na susednim radilištima je uvek bila ista; - uzimajući u obzir ove navedene uslove možemo posmatrati grafik 3 i videti efekat smanjenja broja čestica iznad 1-2 mikrona protumačiti na sledeće načine:- prilikom upotrebe pene krupnije čestice od 1-2 mikrona se efikasnije obaraju sa penom; - prilikom upotrebe dolazi do lepljenja čestica za penu, njihovog kvašenja i zatim takve čestice se brže talože.
Ako uporedimo grafik 4 vidimo da je situacija slična i posle 15 min odnosno 2o min posle miniranja.

Na grafiku 5 imamo prikazane rezultate smanjenja ukupnog broja čestica u toku odredjenog vremena posle miniranja. Ovde vidimo da je efekat taloženja sve dominantniji u toku vremena, a da verovatno prvih 5 min i manje nekih vidnih promena.

## Zaključak

Ranije opisanim metodama rada mi smo vršili merenja koncentracije štetnih gasova i aerosola i to bez upotrebe pene i sa upotrebom pene. Pri tome smo uvek birali takva radna mesta gde su u najvećoj mogući uslovi za reproduktivnost merenja. Gde su uslovi rada dozvoljavali mi smo pratili kretanje koncentracije u toku vremena sa upotrebom pene i bez.

Naša iskustva u tom pogledu su da napred navedene me-

tode ni u kom slučaju nisu pogodne za ovakvo posmatranje toka kretanja kontaminacije radne atmosfere.

S druge strane pojedinačna merenja, zbog uslova rada, mogućnosti reprodukcije rezultata, ne daju stvarni uvid u problem, a ni u efikasnost smanjenja koncentracija.

Odmah da napomenemo, da praćenje kratkoživećih potomaka radona i radona nije bilo moguće navedenim metodama zbog velike količine vodene pare u vazduhu prilikom miniranje.

Gravimetrijska metoda, zbog svoje neosetljivosti, nije pouzdana metoda za praćenje niti samih koncentracije prašine u vazduhu, a to pogotovu za praćenje eventualnih razlika u koncentracijama prašine. Zbog toga, da bi se ovakav rad produžio neophodno je uvesti osetljivije metode i preciznije koje bi nam dale statistički značajne i pouzdane rezultate.

Od navedenih metoda, jedino je pouzdana metoda termoprecipitatora - čiji rezultati su dati kao ukupan broj čestica i distribucija čestica prema prečniku.

Obaranje prašine kod bušenja (80%) je dobijeno gravimetriskim odredjivanjima prašine što nije najpouzdanije.

Vrednosti dobijene termoprecipitacionom metodom (kod miniranja) su pouzdanije i realnije.

Primena laka pena i njene mogućnosti su ovim samo dotaknute, i ma da su prvi rezultati skromni, oni dosta obećavaju.

Naročito je interesantan efekat bržeg sedimentiranja čestica, koji najverovatnije može i da se ubrza i poveća.

Sa aspekta radiološke zaštite, ovi rezultati su još interesantniji, pošto vreme dalovanja laka pena na aerosole može da se produži, a kombinacijom pena sa pojedinim hemijskim agensima da se njena efikasnost poveća i za gasove.

Summary

INVESTIGATION ON FIRE-EXTINGUISHING MATERIAL (LIGHT FOAM) RELATIVE TO ITS SORPTION OF RADIOACTIVE AND OTHER HAZARDOUS SUBSTANCES

The application of light foam as a mean in decontamination purposes, that according to the theoretical considerations promises wide possibilities, was performed in the mines of uranium, lead and zinc (Rudnik, Gorenja Vas, Zletovo).

These preliminary results, as a practical approvement of the theoretical considerations, were indispensible before approaching the study on this problem which would last several years.

The obtained results, in general, are presented in the functions of particle dimensions.

## Literatura

1. S.H. Jury: Foam decontamination of air containing radioactive iodine and particulates following a nuclear incident; ORNL-TM-1589, october 1966.

2. G.J. Madelaine: Formation et evolution des aerosols dans l'air filtre et dans l'air naturel action de la radioactivite: Repport CEA-R-3614, decembre 1968.

3. Lj.Jablanov: Metode merenja zaprašenosti koniometrijskim putem: Medjunarodna konferencija o prašini u rudarstvu i metalurgiji, Beograd 15-19. 12.1970.

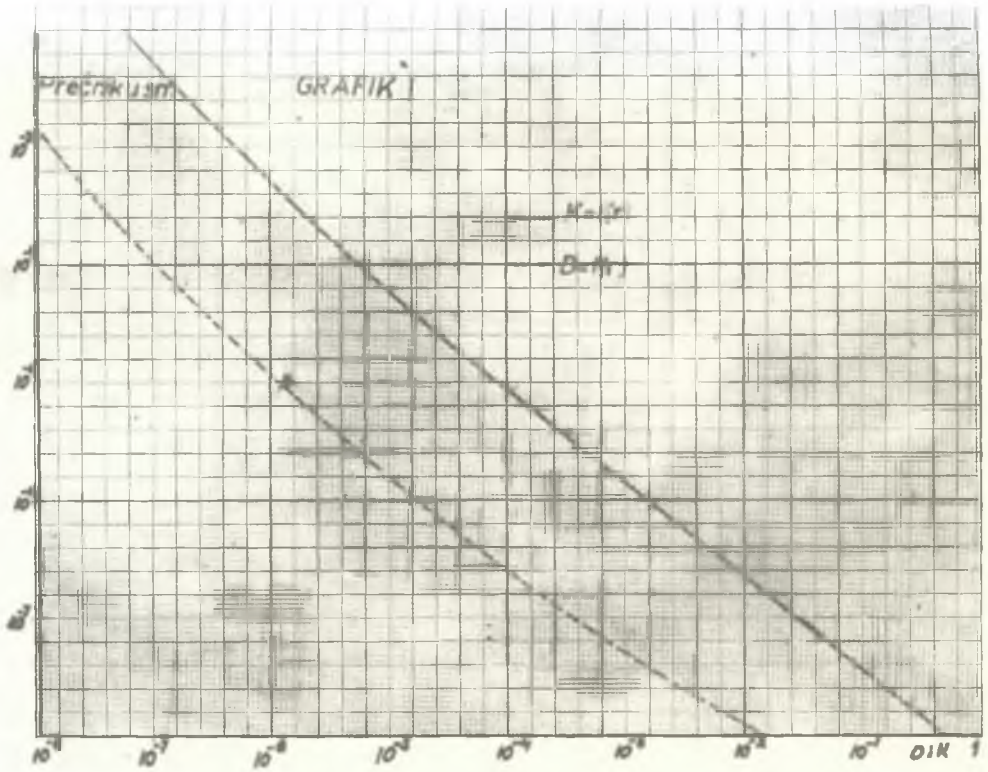
4. P.N.Torskij, A.I. Robičev, K.I. Čebošarev: Obespilivannie ugoljnih šaht. Uglethizdat 1956, Moskva

5. D. Hajduković: Studija o radioaktivnoj kontaminaciji radonom i njegovim kratkoživećim potomcima radnika u rudniku urana, Magistarski rad: Farmaceutsko Biokemijski fakultet - Zagreb, juna 1971

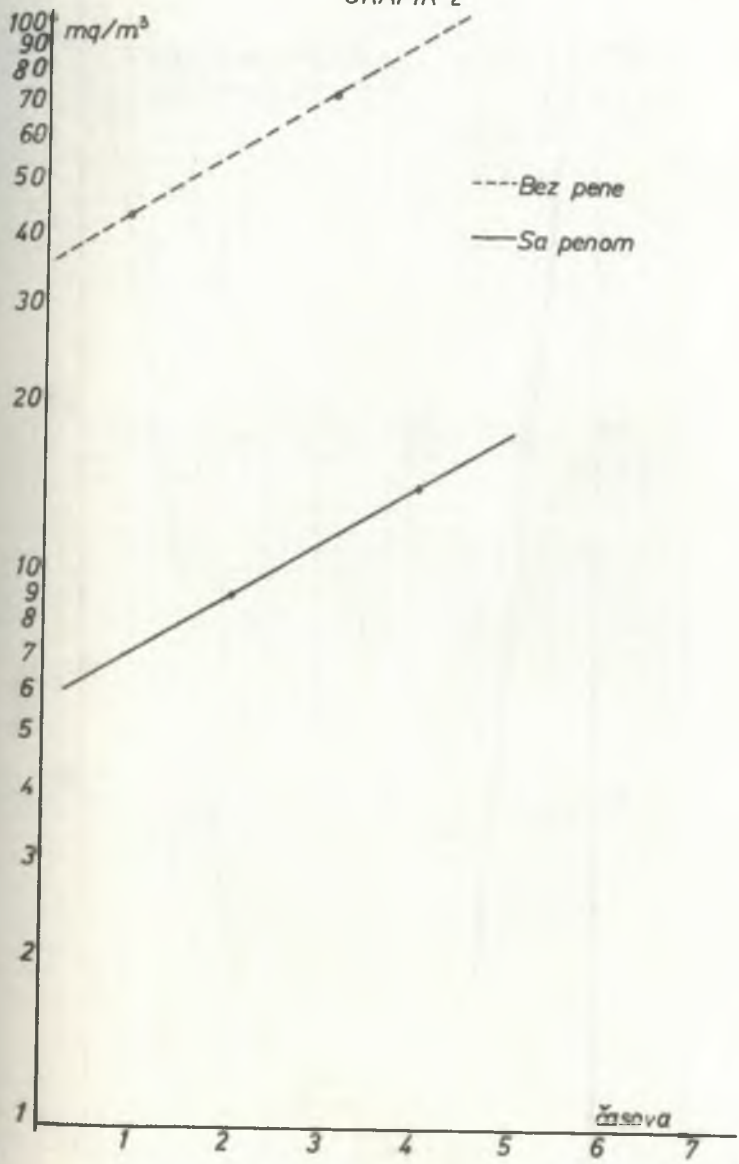
TAB.br.1

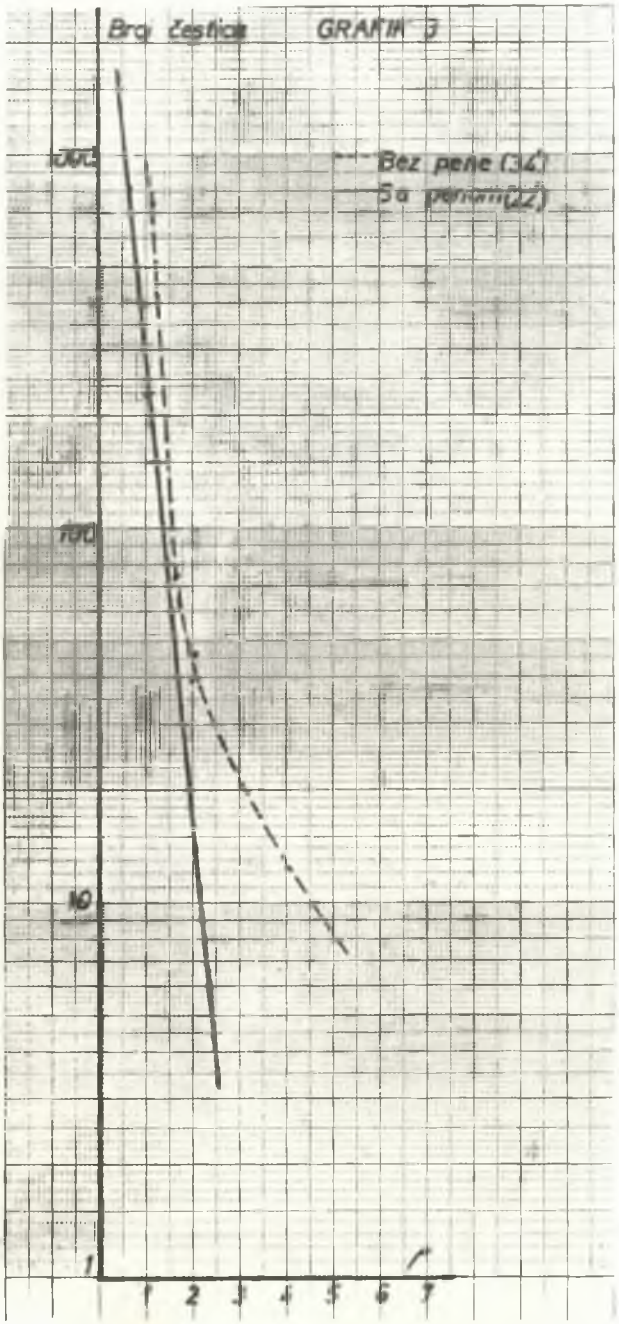
Efekat prskanja zidova hodnika penom prilikom miniranja

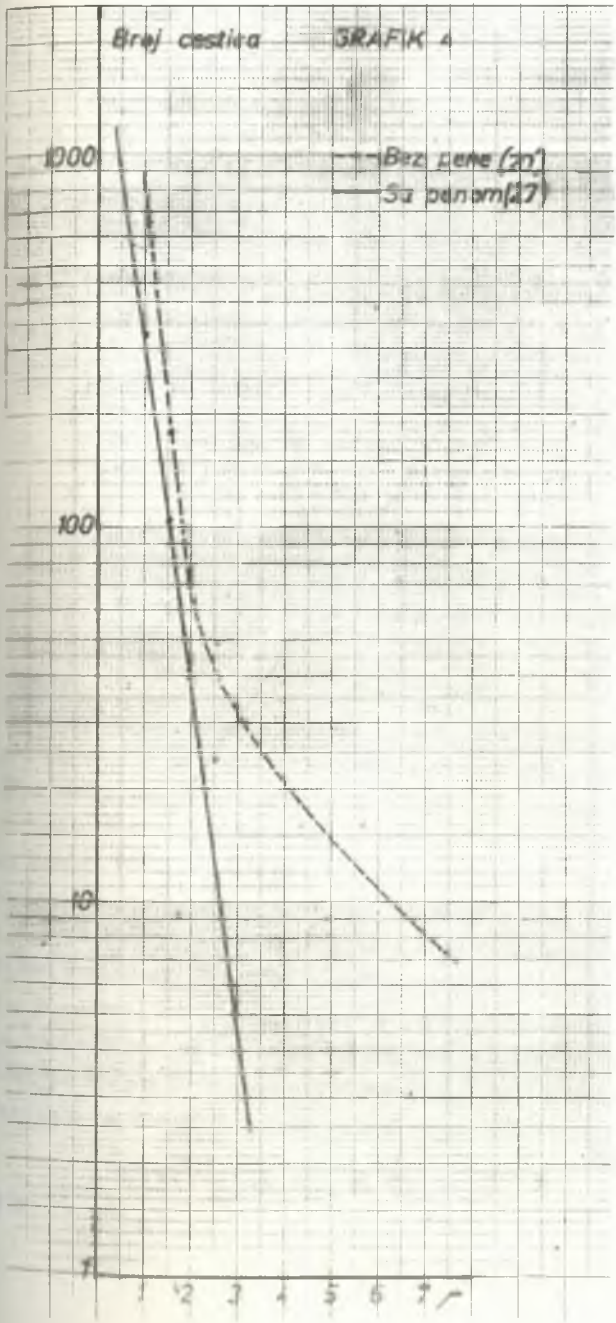
| Metoda | Vrsta merenja i jedinice | Bez pene | Sa penom | Smanjenje |
|---|---|---|---|---|
| Merenje ugljen monoksida | ppm | 151<br>17o<br>1o7<br>1o1 | 55<br>96<br>129<br>137 | 53<br>-<br>-<br>- |
| Merenje azotnih oksida | Gama | 13<br>15<br>32 | 15<br>-<br>1o<br>8 | -<br>-<br>-<br>72 |
| Gravimetrisko merenje sa AERA-om | Ukupna količina prašine $mg/m^3$ | 55<br>85 | 3o<br>7o | 45<br>18 |
| Termo-precipitatorom | Broj čestica i njihova raspodela | - | - | - |


Prečnik u sm
GRAFIK I
DIK 1

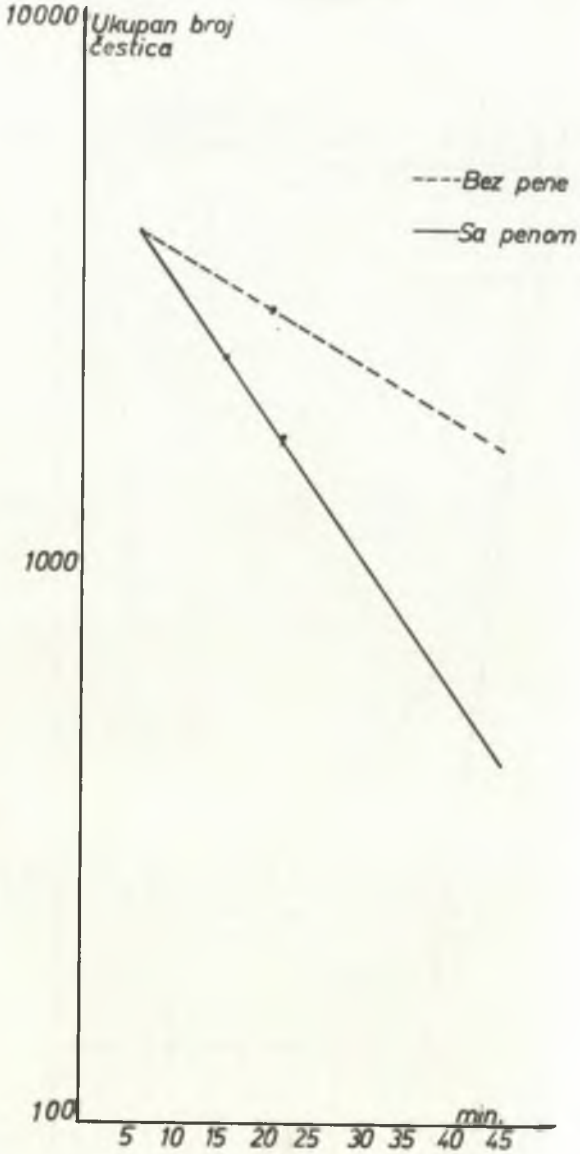
GRAFIK 2


mg/m³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Bez pene
Sa penom
časova
1
2
3
4
5
6
7


Broj čestica
GRAFIK 3
Bez pene (34)
Sa penom (22)
100
10
1
1
2
3
4
5
6
7
r


Broj cestica
GRAFIK 4
1000
100
10
1
Bez pene (20)
Sa penom (27)
1
2
3
4
5
6
7
r

GRAFIK 5


10000
Ukupan broj čestica
----Bez pene
——Sa penom
1000
100
min.
5 10 15 20 25 30 35 40 45

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

B.Stamenković, S.Muždeka, A.Koturović, D.Damljanović,
M.Smelcerović, P.Kosić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

# BROJAČKI KOMPLET ZA MERENJE UZORAKA

U radu je prikazan brojački komplet namenjen merenju specifične beta-aktivnosti materijala kontaminiranih fisionim produktima.
Opisane su osnovne funkcije brojačkog kompleta koji sadrži: GM brojač u olovnom kućištu,skaler,izvor visokog napona za detektor i tajmer za automatski rad uredjaja.Predodredjena vremena su pogodno izabrana a rezultat merenja se prikazuje vizuelno pomoću poluprovodničkih numeričkih indikatora. Korišćenjem savremene tehnologije u realizaciji skalera sa tajmerom postignuto je poboljšanje karakteristika,smanjena je potrošnja i povećana je pouzdanost u radu.
Napajanje brojačkog kompleta vrši se iz akumulatora od 12 V ili iz mreže,tako da se komplet može koristiti u terenskim i laboratorijskim uslovima.

## Uvod.

Višestruki su zahtevi koji se postavljaju elektronskim sistemima pri merenjima sa detektorima radioaktivnog zračenja.Oni su funkcija tipa detektora,veličina koje treba odrediti,opsega merenja,načina prikazivanja rezultata i uslova pod kojima se merenja vrše.Ukoliko su domeni promenljivih veličina uži,jednostavnije je naći optimalan odnosno funkcionalan i ekonomičan sistem.

U ovom radu prikazan je brojački komplet namenjen merenju specifične aktivnosti materijala kontaminiranih fisionim produktima.Merenja se vrše na beta-aktivnost a koristi se metoda debelog uzorka.Upotrebljeni halogeni GM brojač,kao detektor radioaktivnog zračenja,izvedena zaštita u cilju smanjenja fona i dejstva spoljašnjeg zračenja na brojač i metoda mernja omogućuju merenje specifične

aktivnosti u opsegu od $10^{-1}$ µCi/kg(lit) do $3 \cdot 10^{3}$ µCi/kg(lit), sa maksimalnom greškom do ± 40%.

Komplet je predvidjen za rad u poljima gama zračenja manjim od 20 mR/h.

Osnovni delovi brojačkog kompleta.

U blok šemi brojačkog kompleta, datoj na sl.1 , uočavaju se dve po svojim funkcijama nezavisne celine: olovno kućište OK-1 sa detektorom zračenja i skaler sa visokim naponom i tajmerom SVIT-10.

Olovno kućište namenjeno je zaštiti halogenog GM brojača od dejstva spoljašnjeg radioaktivnog zračenja. U TAB. br.1 date su neke od osnovnih karakteristika brojača GM 18536.

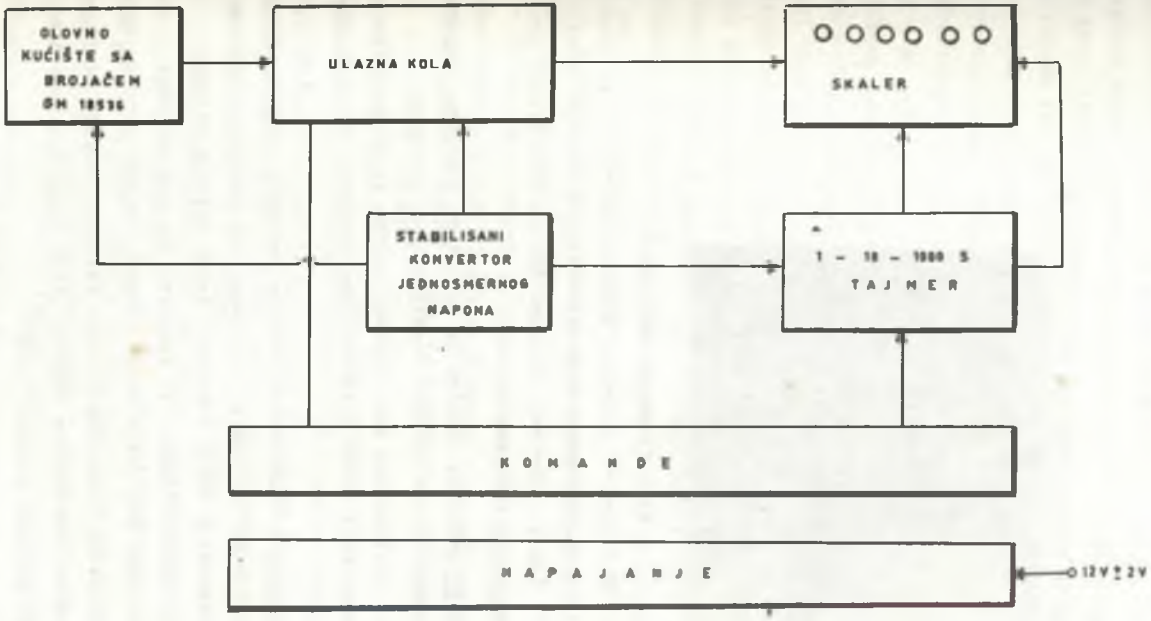
TAB. br.1

Karakteristike brojača GM 18536

| | Osnovne karakteristike | Karakteristike ugradjenog u OK-1 |
|---|---|---|
| Ef. prečnik,mm | 27,8 | 27,8 |
| Debljina prozora, mg/cm$^2$ | 1,5 - 2 | 4 |
| Napon, V | 500 - 750 | 550 |
| Mrtvo vreme, us | 60 | 60 |
| Osnovni fon, imp/s | | 0,16 ± 0,04 |

Kućište je napravljeno od izlivenog olova,koje se nalazi izmedju čeličnih limova,koji u celini čine zidove kućišta.Sa unutrašnje strane zida kućišta nalazi se aluminijum i plastični materijal da bi se smanjio odbroj sekundarnih elektrona.Kaseta na izvlačenje ima dva pokretna dela: gornju i donju policu.Gornja polica je namenjena za filtar sa aluminijumskom folijom a donja za planšetu

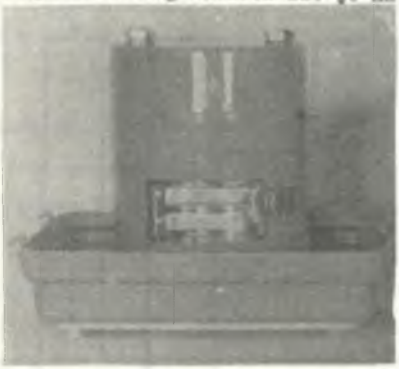
558




SL 1 BLOK ŠEMA BROJAČKOG KOMPLETA

sa preparatom.

Spoljnji izgled olovnog kućišta dat je na sl.2.



Sl.2 Olovno kućište OK-1

Upotrebljeni GM brojač za navedene granice merenja u zavisnosti od starosti fisionih produkata daje odgovarajuće odbroje izmedju 0,05 i $1,5 \cdot 10^4$ imp/s. Izmereni prirodni fon za dati brojač kreće se u granicama 0,16 $\pm$ 0,04 imp/s.

Uredjaj SVIT-10 prihvata impulse iz detektora zračenja .Osnovni model uredjaja sastoji se iz šest funkcionalnih jedinica.

Ulazna kola - obezbedjuju vezu visokog napona sa GM brojačem i formiraju impulse,koje prema instrukcijama komandne jedinice,prihvata skaler.

Komandna jedinica - obezbedjuje davanje osnovnih komandi uredjaju.Sadrži skup komandi kojima se propisuje rad uredjaja: početak i završetak registracije broja impulsa i izbor vremena brojanja.

Pogodnim preklopnikom moguće je izabrati dva načina rada:

- Kontinualni rad. Pri aktiviranju komande "START" vrši se anuliranje brojačkog lanca.Otpuštanjem tastera otvaraju se gejtovi za prolaz standardnih impulsa ,čime otpočinje registracija sve do dolaska komande "STOP".
- Jednocikličan rad. Pri aktiviranju komande "START" samo se otva-

raju potrebni gejtovi da bi prvi dolazeći komandni impuls iz tajmera omogućio početak brojanja,koje se automatski završava posle izabranog vremena merenja.

U oba načina rada za obavljanje sledećeg ciklusa potrebno je ponovo aktivirati komandu "START".

Pored ručnih komandi "START" i "STOP" na komandnoj jedinici se nalazi preklopnik kojim se ručno bira način rada uredjaja.

Skaler - se sastoji iz:

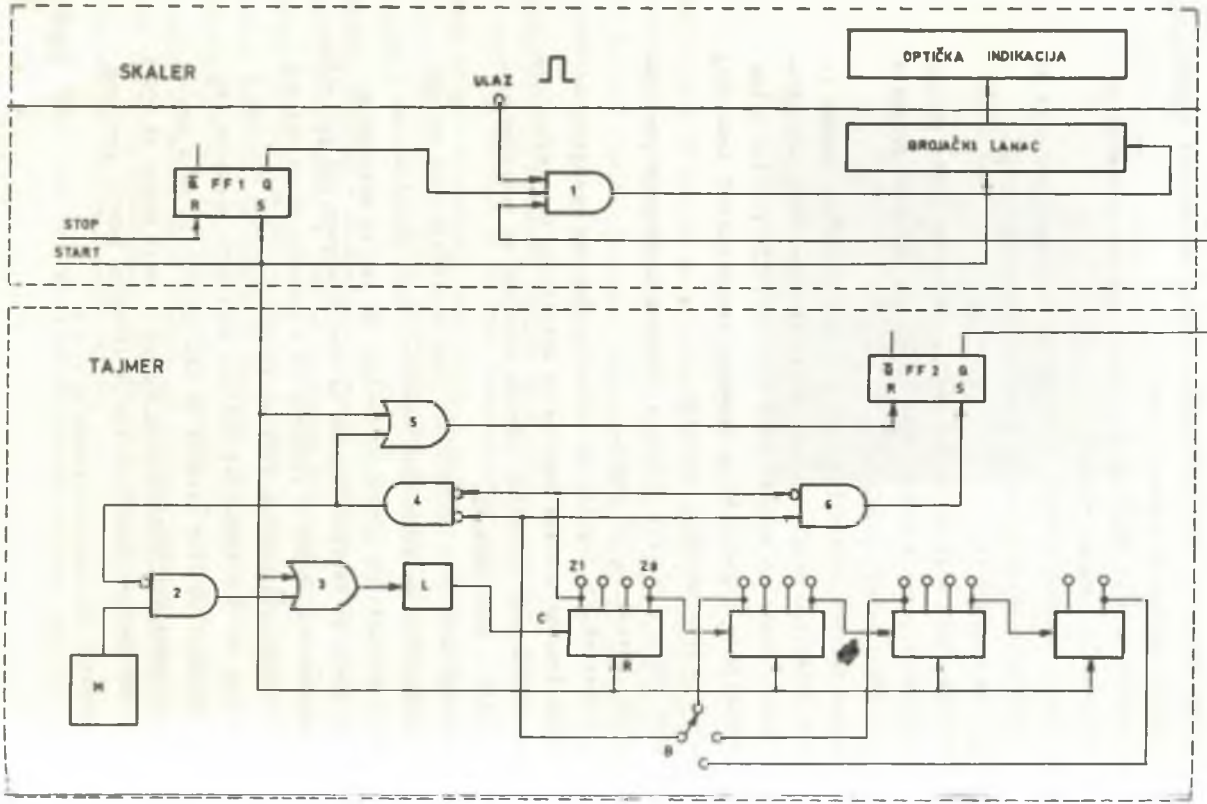
- Brojačkog lanca koji prima impulse iz detektora preko svojih ulaznih kola,prema instrukcijama koje daje komandna jedinica i vrši odbrojavanje impulsa;
- Jedinice optičke indikacije,koja sadržaj brojačkih dekada vizuelno prikazuje pomoću poluprovodničkih numeričkih indikatora (GaAsP).Svaka od integrisanih indikatorskih pločica prima informaciju iz odgovarajućeg dekadnog brojača u BCD kodu.Zbog toga one u sebi sadrže i dekodere.

Kapacitet skalera je šest cifara a učestanost brojanja periodičnih signala je veća od $10^6$ imp/s.

Tajmer - obezbedjuje impulse za jednocikličan rad uredjaja, a kao primarne impulse koristi impulse iz astabilnog multivibratora. Deljenjem učestanosti primarnih impulsa dobijaju se potrebna vremena 10 - 100 - 1000 sekundi.

Vreme merenja može biti proizvoljno dugo u slučaju kada se radi o niskim specifičnim aktivnostima kontaminiranih materijala,no i u ovom slučaju statistička greška ne prelazi 8% već za vremena do 1000 s. Ovo vreme je isuviše dugačko za manipulativan rad pri višim aktivnostima.Vremena od 100 s ,odnosno 10 s pogodna su za rad pri većim specifičnim aktivnostima.Vidi se da pri najvećem odbroju i vremenu merenja od 10 s kapacitet skalera neće biti premašen.Pri korišćenju tajmera rezultat merenja na skaleru dobija se u imp/s.

Stabilisani konvertor jednosmernog napona - daje napon od 550 V za napajanje GM brojača.Stabilizacija je izvedena pomoću povratne sprege a konvertor se napaja naponom od 4,8 V.




SL.3 LOGIČKA ŠEMA SKALERA SA TAJMEROM

Kola za napajanje - obezbedjuju potrebne stabilisane napone za normalno funkcionisanje osnovnih jedinica uredjaja.

Opis logičke šeme skalera sa tajmerom.

Logička šema skalera sa tajmerom data je na sl.3.

Postavljanjem komande "START" na visoki potencijal vrši se brisanje sadržaja brojačkog lanca skalera i tajmera preko linije za "reset".Istovremeno se preko flip-flopa FF2 zatvara gejt L1.

Postavljanjem komande "START" na niski potencijal izlaz iz logičkog kola L3 počinje da prati izlaz iz multivibratora M. Kako su upotrebljene integrisane brojačke dekade koje se okidaju pozitivnom ivicom impulsa to odbrojavanje počinje tek pri nailasku prvog impulsa iz multivibratora.Ovaj impuls obara potencijal na izlazu $Z_1$ prve dekade,čime se vrši upisivanje u flip-flop FF2 i otvara gejt L1.Po odbroju programiranog broja impulsa iz multivibratora dolazi do brisanja sadržaja flip-flopa FF2, zatvaranja gejta L1 i gejta L2, čime se završava jedan ciklus merenja.Da bi se osigurala dovoljna širina zadnjeg impulsa iz multivibratora ispred prve brojačke dekade u tajmeru ubačen je element za kašnjenje L.

Logički deo uredjaja realizovan je sa integrisanim NI kolima.

Izgled skalera sa tajmerom i napajanjem dat je na sl.4.

Sl.4

Izgled uredjaja SVIT-10

Napajanje uredjaja.

Za napajanje uredjaja koristi se izvor napona 12 V + 2 V.Pomoću stabilizatora niskog napona dobijaju se stabilisani naponi od 4,8 V potrebni za napajanje integrisanih kola i naponi od 3,4 V potrebni za pobudu poluprovodničkih numeričkih indikatora.

Astabilni multivibrator ,periode 1 s, realizovan je u diskretnoj tehnici ,a potreban stabilisani napon od 8,5 V dobija se iz konvertora.

Ukupna snaga potrebna za napajanje brojačkog kompleta iznosi oko 12 W.

Summary

COUNTING ASSEMBLY FOR BETA ACTIVITY SAMPLE MEASUREMENT

A counting assembly for measurement of the specific beta activity of materials is presented.

Basic functions of the assembly are discribed. The assembly comprises: GM counter in the lead shield, scaler, H.T. supply for the detector and timer for automatic operation of the system. The preset time can be chosen to allow a visual presentation of the results in counts per second by semiconductor numerical displays.

By the application of modern technology the dimensions and consumption of the assembly is decreased, increasing at the same time the reliability, temperature operating range, sensitivity and accuracy.

The mains 22o V or accumulators of 12 V are the sources of voltage supply so that the system could be used in laboratory or field conditions.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Ubović Ž., Mirić I., Trajković M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# ANALIZA NEKIH FAKTORA KOJI UTIČU NA TAČNOST ODREDJIVANJA APSORBOVANE DOZE NEUTRONA U SLUČAJU AKCIDENTA

## REZIME

U ovom radu su eksperimentalno odredjene refleksija i verovatnoće za zahvat termalnih i intermedijarnih neutrona energije 0,48 eV $\leq$ En $\leq$ 1 MeV u tkivnoekvivalentnom fantomu.

Fluks i doza neutrona odredjeni su akcidentalnim neutronskim dozimetrom IBK, a aktivacija natrijuma izmerena je integralnom gama spektrometrijskom metodom.

Računski su odredjene aktivacije natrijuma u fantomu u različitim neutronskim spektrima (ispod vodene zaštite reaktora RA, oko HPRR, na uredjaju CRAC)i uporedjene sa izmerenom aktivacijom natrijuma. Dobijena odstupanja iznosila su do 25%.

## UVOD

Procena ukupno apsorbovane doze neutrona kod akcidentalno ozračenih osoba često se vrši merenjem aktivacije natrijuma u telu. Pri tome se koristi činjenica da je količina stvorenog $^{24}Na$ proporcionalna ukupno apsorbovanoj dozi termalnih, intermedijarnih i brzih neutrona. Na faktor proporcionalnosti utiče veći broj parametara, kao što su spektar neutrona, težina tela i orijentacija.

Postoji veći broj radova koji teorijski ili eksperimentalno tretiraju vezu izmedju aktivacije natrijuma u tkivnoekvivalentnom fantomu i apsorbovane doze neutrona. Većina radova se bazira na uspostavljanju veze izmedju fluksa, odnosno doze, i verovatnoće za zahvat neutrona u tkivnoekvivalentnom fantomu. Detaljnija analiza ovih radova ukazuje da se oni često razlikuju u definiciji verovatnoće za zahvat neutrona, interpretaciji rezultata, te da ih

je zbog toga teško uporedjivati. Sem toga, do sada objavljene vrednosti se često znatno razlikuju jedna od druge.

Teorijsku vezu izmedju aktivacije natrijuma u tkivnoekvivalentnom fantomu i fluksa, odnosno doze neutrona dali su G.S.Hurst et al.[1]. Pretpostavljajući da je natrijum uniformno rasporedjen u telu, da se spektar neutrona ne menja sa rastojanjem, G.S.Hurst et al. su dobili da se aktivacija natrijuma može odrediti pomoću sledeće relacije:

$$A = \frac{\Sigma_{Na}}{\Sigma_{tot}} \frac{S}{W} \lambda \int \zeta(E) \cdot \emptyset(E)\, dE \qquad (1)$$

gde je:

A - aktivnost $^{24}Na$ (/uCi $^{24}Na$/mg $^{23}Na$)

$\Sigma_{Na}$ - makroskopski efikasni presek za $^{23}Na(n,\gamma)$ reakciju sa termalnim neutronima ($cm^{-1}$)

$\Sigma_{tot}$ - ukupni tkivni makroskopski efikasni presek za termalne neutrone ($cm^{-1}$)

S - projekcija fantoma na pravac normalan na snop ($cm^2$)

W - ukupna količina $^{23}Na$ u fantomu (gr)

$\lambda$ - radioaktivna konstanta ($3,468 \cdot 10^{-10}$ /uCi/atom $^{24}Na$)

$\zeta(E)$ - verovatnoća za zahvat neutrona energije E

$\emptyset(E)$ - diferencijalni fluks neutrona ($n \cdot cm^{-2}$).

U ovom radu su eksperimentalno odredjene vrednosti verovatnoće za zahvat ( termalnih i intermedijarnih neutrona energije 0,48 eV $\leq E_n \leq$ 1 MeV, pri čemu su ove vrednosti definisane kao odnosi

$$\zeta(1) = \frac{\text{fluks zahvaćenih neutrona u fantomu}}{\text{fluks neutrona na površini fantoma}}$$

ili

$$\zeta(2) = \frac{\text{fluks zahvaćenih neutrona u fantomu}}{\text{fluks neutrona u vazduhu u tački površine fantoma}}$$

$\zeta(1)$ treba da se koristi pri izračunavanju aktivacije natrijuma u tkivnoekvivalentnom fantomu ako je izmeren fluks neutrona pomoću ličnog dozimetra, a $\zeta(2)$ treba da se koristi pri izračunavanju aktivacije ako je poznata topografija zračenja oko nuklearnog postrojenja.

Kao fantom je korišćena cilindrična polietilenska boca prečnika 18 cm, visine 30 cm, koja prema Adams-u i Dennis-u zadovoljava potrebne karakteristike fantoma[2], napunjena rastvorom

$Na_2CO_3$, koncentracije 1,5 mg Na/ml rastvora. Boca je horizontalno podeljena u tri segmenta. Za opisani fantom jednačina (1) dobija oblik:

$$A = 1{,}8036 \cdot 10^{-14} \int \xi(E) \, \emptyset(E) \, dE \qquad (2)$$

Fluks i doza neutrona na mestu ozračivanja izmereni su pomoću aktivacionih detektora koji ulaze u sastav akcidentalnog dozimetra IBK[3].

Indukovana aktivnost $^{24}Na$ odredjena je merenjem integralne gama aktivnosti iznad praga detekcije od 0,5 MeV pomoću NaJ(Tl) kristala sa jamom veličine 2x2"; merni uredjaj je kalibrisan standardnim rastvorom $^{24}Na$.

## ODREDJIVANJE REFLEKSIJE I VEROVATNOĆE ZA ZAHVAT NEUTRONA

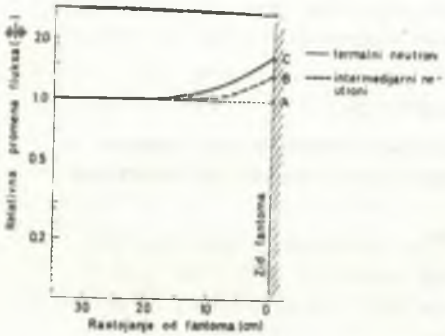
Refleksija i termalizacija neutrona u fantomu uslovljavaju da će izmenjena neutronska polja biti izmenjena prisustvom fantoma kako po intenzitetu tako i po spektralnoj raspodeli. To znači da se može uspostaviti veza izmedju aktivacije natrijuma i fluksa neutrona u tački polja ili veza izmedju aktivacije natrijuma i fluksa neutrona na površini fantoma.

Refleksija termalnih neutrona je odredjena merenjem topografije polja sa i bez fantoma iza poslednjeg grafitnog bloka termalne kolone reaktora RA; za intermedijarne neutrona merenja su vršena iza Cd zaštite na izlazu vertikalnog kanala istog reaktora (na termalnoj koloni dobija se čist fluks termalnih neutrona; na vertikalnom kanalu dobijen je odnos $\emptyset_{th}:\emptyset_{int}:\emptyset_f = 1:32:1$).

Dobijeni rezultati, prikazani na slici 1, pokazuju da je refleksija termalnih neutrona sa fantoma oko 65%, a intermedijarnih oko 35% od upadnog fluksa.

Merenja upadnog i reflektovanog fluksa termalnih neutrona na vertikalnom kanalu reaktora RA ukazuju da se oko 30% od upadnih intermedijarnih neutrona prvo termalizuje u fantomu, pa onda reflektuje.

Izmerena refleksija za termalne neutrone slaže se, u granicama 25% , sa vrednostima koje daju S.J.Boot i J.A.Dennis[4]. Dobijeni podaci za termalne i intermedijarne neutrone slažu se, u granicama 20%, sa "Westcott-ovim fluksom"[5].




Slika 1.

Relativna promena fluksa neutrona u prisustvu fantoma; Ø - fluks neutrona u prisustvu fantoma; Ø' - fluks neutrona bez fantoma

Pri odredjivanju $\xi(1)$ i $\xi(2)$ vrednosti za termalne i intermedijarne neutrone fantom je ozračivan poznatim integralnim fluksom termalnih, odnosno intermedijarnih neutrona, a zatim je izmerena aktivnost $^{24}$Na u srednjem segmentu fantoma.

Primenom jednačine (2) na izmerene vrednosti fluksa i aktivacije odredjene su $\xi(1)$ i $\xi(2)$ vrednosti za termalne i intermedijarne neutrone:

| | | |
|---|---|---|
| Termalni neutroni | $\xi(1)_{th} = 0{,}067$ | $\xi(2)_{th} = 0{,}104$ |
| Intermedijarni neutroni | $\xi(1)_{int} = 0{,}125$ | $\xi(2)_{int} = 0{,}145$ |

Primenom jednačine (1) na podatke o aktivaciji natrijuma u fantomu tipa Bomab [6] dobija se:

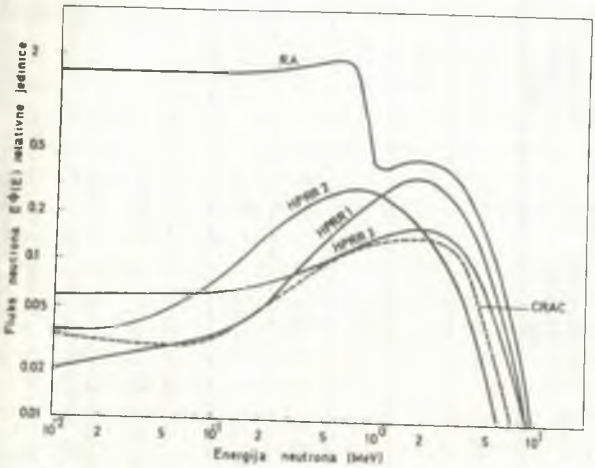
| | |
|---|---|
| Termalni neutroni | $\xi(1)_{th} = 0{,}074$ |
| Intermedijarni neutroni | $\xi(1)_{int} = 0{,}166$ |
| Brzi neutroni | $\xi(1)_{f} = 0{,}223$ |

Razlike izmedju vrednosti za fantom tipa Bomab i naših vrednosti iznose oko 10% za termalne neutrone, a 25% za intermedijarne neutrone, što se za eksperimente ovog tipa može smatrati potpuno zadovoljavajućim.

## IZRAČUNAVANJE AKTIVACIJE Na U RAZLIČITIM SPEKTRIMA NEUTRONA

U daljem radu računski su odredjene aktivacije natrijuma u fantomu u različitim neutronskim spektrima koji se dobijaju ispod vodene zaštite reaktora RA u Vinči, oko HPRR u nuklearnom cen-

tru ORNL (USA) i na uredjaju CRAC (Francuska). Spektri neutrona na mestima gde su vršena ispitivanja prikazani su grafički na slici 2. Pri ovim eksperimentima korišćeni su različiti tipovi fantoma: na reaktoru RA u Vinči cilindrična boca prečnika 18 cm, na HPRR fantom tipa Bomab, na uredjaju CRAC fantom tipa Remcal (7,8).




Slika 2. Spektri neutrona oko različitih nuklearnih postrojenja: RA - spektar ispod vodene zaštite reaktora RA, HPRR 1, HPRR 2, HPRR 3 - primarni i spektar moderiran sa 13 cm Fe, odnosno 23 cm metil-metakrilata, CRAC - spektar iza betonske zaštite na uredjaju CRAC(8,9)

U svim eksperimentima fluks neutrona je odredjen akcidentalnim neutronskim dozimetrom IBK, a aktivacija natrijuma je izmerena odgovarajućom metodom.

U tabeli 1 prikazane su izmerene i izračunate aktivacije natrijuma. Za računsko odredjivanje aktivacije na osnovu poznatog spektra, fluksa neutrona i tipa fantoma primenjena je jednačina (1) pri čemi su korišćene $\xi$ vrednosti koje preporučuju engleski autori za fantom tipa Bomab (kolona 2), $\xi$ vrednosti za podatke dobijene ličnim dozimetrima (kolona 4), i $\xi$ vrednosti za podatke dobijene merenjem topografije polja (kolona 6) za cilindrični fantom prečnika 18 cm.

TABELA 1

IZRAČUNATE I IZMERENE AKTIVACIJE NATRIJUMA OKO RAZLIČITIH NUKLEARNIH POSTROJENJA

| Mesto ozračivanja | Aktivnost natrijuma ($\mu$Ci $^{24}$Na/mg $^{23}$Na)$\cdot 10^{-5}$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Izmerena aktivnost | Izračunato po Dennisu * | Δ (%) | Izračunato za fantom ** | Δ(%) | Izračunato za vazduh *** | Δ (%) |
| RA - ispod vodene zaštite | 26,61 | 29,52 | 10,9 | 26,01 | 0,2 | 27,07 | 1,73 |
| ORAC - iza betona | 0,85 | - | - | - | - | 1,00 | 17,6 |
| HPRR - direktno | 0,998 | 0,986 | 1,2 | 0,897 | 10,1 | 0,760 | 23,8 |
| HPRR - iza 13 cm Fe | 0,57 | 0,481 | 15,6 | 0,460 | 19,2 | 0,42 | 26,3 |
| HPRR - iza 23 cm Lucita | 0,17 | 0,212 | 24,7 | 0,183 | 7,6 | 0,175 | 2,9 |

* - U obračunu aktivnosti sve $\xi$ vrednosti su obračunate prema referenci[6].

** - U obračunu aktivnosti brzim neutronima korišćena je $\xi$ vrednost iz [6]; $\xi_{th}$ i $\xi_{int}$ su odredjene za fluks na fantomu.

*** - U obračunu aktivnosti brzim neutronima korišćena je $\xi$ vrednost iz[6]; $\xi_{th}$ i $\xi_{int}$ su odredjene za fluks u vazduhu. $\xi_f$ je korigovano na refleksiju sa fantoma.

Napomena: Koncentracije natrijuma u fantomima su bile sledeće: u cilindru Ø 18 cm - 1,5 mg Na/ml rastvora; u fantomu Bomab - 1,6 mg Na/ml rastvora; u fantomu Remcal 0,92 mg Na/ml rastvora

Kao što se iz tabele vidi u svim slučajevima odstupanja su manja od 25%, što zadovoljava zahteve akcidentalne dozimetrije. Medjutim, detaljnija analiza podataka ukazuje da se veća odstupanja izmedju izmerene i izračunate aktivacije natrijuma mogu očekivati ako se u interpretaciji rezultata aktivacija odredjuje na osnovu poznate topografije polja. Za precizniju procenu aktivacije potrebno je eksperimentalno odrediti refleksiju i verovatnoću za zahvat neutrona za svaki tip fantoma posebno.

## ZAKLJUČAK

Rezultati naših ispitivanja pokazuju da se merenjem spektra i integralnog fluksa neutrona može izračunati aktivacija natrijuma u fantomu sa greškom manjom od 25%. U akcidentalnim slučajevima ova činjenica može da se iskoristi pored ostalog i za dobijanje sledećih podataka:

- Za osobe koje su nosile lični akcidentalni dozimetar može da se odredi da li je ozračivanje neutronima bilo homogeno i da li je dozimetar u toku ozračivanja bio zakljonjen telom čoveka ili nekim drugim predmetom.
- Za osobe koje nisu imale akcidentalni dozimetar, upoređjivanjem topografije zračenja i aktivacije natrijuma može da se proceni primljena doza zračenja.

## ABSTRACT

This paper deals with the capture probability determinations of thermal and intermediate neutrons in a tissue-equivalent phantom, 18 cm in diameter. The obtained values are compared with those given for the Bomab type phantom, and the calculated discrepancies are in the limits of 20%.

The determined capture probability values are used in order to compare the calculated and measured sodium activations in different neutron fields and in different phantoms. In most cases the obtained discrepancies were lower than 25%.

BIBLIOGRAFIJA

1. Hurst G.S., Ritchie R.H., Emerson L.C., Health Physics 2, 121 (1959)
2. Adams N., Dennis J.A., AERE -R 6008, 1969
3. Mirić I., Mirić P., Veličković D., "Odredjivanje doza neutrona pomoću aktivacionih detektora", V Jugosl. simp. o radiološkoj zaštiti, Bled, 1970
4. Boot S.J., Dennis J.A., Phys. in Med. Biol. 13, 573 (1968)
5. Dennis J.A., AERE -5667, 1968
6. Adams N., AHSB(RP)R 100, 1970
7. Bricka M. et al, privatno saopštenje
8. Bricka M., interna publ.
9. Bricka M. et al. "French Criticality Accident Dosimetry System applied to the Second I.A.E.A. Intercomparison of Nuclear Accident Dosimetry Study, ORNL 3-15 May, 1971, interna publ.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Mr.Ing.D.Hajduković

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

# MOGUĆNOST OBRADE NUMERIČKOG MODELA RUDNIKA URANA RAČUNAROM

Rezime

Izložen je matematički model rudnika urana simuliranjem cirkulacije vazduha u galerijama prema autoru Chabot-u istraživaču C.P.A.N. Toulouse. Opisana je mogućnost izračunavanja stanja ravnoteže izmedju 222 radona i njegovih kratkoživećih potomaka i Working Level u zadatim tačkama u rudniku na osnovu podataka iz ventilacione karte rudnika , topografije i izvora radona .

Na osnovu ovog modela ,šematizovan je horizont 580 rudnika urana Gorenja Vas ,stanje 1969 god. i izračunate su vrednosti ravnoteže i W.L. u više tačaka ovoga horizonta . Postoji dobro slaganje za W.L. a radioaktivna ravnoteža nije uvek u korelaciji izmedju vrednosti dobijenih modelom i onih dobijenih merenjem zbog nedostatka ventilacione karte .

## Uvod

U velikim uranskim rudnicima ,čiji hodnici imaju po nekoliko kilometara ,gde postoji više horizonata ,sa radilištima sa uskopima i niskopima teško pristupačnim , pokazalo se veoma napornim obavljanje kontrolnih merenja radona ,potomaka i zaprašenosti . Chabot (1) 1970 . je obradio eksperimentalni matematički model rudnika urana ,šematizujući ga simuliranjem cirkulacije vazduha u galerijama , uvodeći u obračun podatke iz ventilacione karte rudnika ,koncentracije radona i dužine galerija . Ma da je numerički model u eksperimentalnoj fazi autor je našao u više rudnika Francuske dobro slaganje izmedju rezultata koji se dobijaju modelom i rezultata dobijenih merenjima .

## Chabot-ov numerički model rudnika urana

Autor ove metode je na osnovu posmatranja statističke distribucije frakcija ravnoteže fA=RaA/Rn , fB=RaB/Rn i fC=RaC/Rn ( u rudnicima urana Francuske obavljeno je oko

40.000 kontrolnih merenja ) našao da fA ima niže vrednosti od 0,6 u 66% , fB niže od 0,4 u 88% i fC niže od 0,2 u 67% slučajeva. Posmatrao je uticaj dužine hodnika u rudnicima urana na koncentraciju radona i potomaka i našao da koncentracije radona ne trpe znatne promene u zavisnosti od dužine hodnika a da dužine hodnika imaju izvestan uticaj na porast frakcija ravnoteže. Kod slučaja spajanja hodnika ima se rezultujući protok vazduha kao $q_1 + q_2 = q_3$ ($m^3/s$) a rezultujuća koncentracija radona kao:

$$QRn_3 = \frac{q_1\ QRn_1 + q_2\ QRn_2}{q_1 + q_2}$$

Količina alfa potencijalne energije odn. W.L. rezultujući:

$$QEL_3 \quad \frac{q_1\ QEL_1 + q_2\ QEL_2}{q_1 + q_2}$$

Frakcije ravnoteže potomaka u slučaju spajanja hodnika :

$$fA_3 = \frac{q_1 QR_1 fA_1 + q_2 QR_2 fA_2}{q_1 QR_1 + q_2 QR_2}, \quad fB_3 = \frac{q_1 QR_1 fB_1 + q_2 QR_2 fB_2}{q_1 QR_1 + q_2 QR_2}$$

$$fC_3 = \frac{q_1 QR_1 fC_1 + q_2 QR_2 fC_2}{q_1 QR_1 + q_2 QR_2}$$

Po autoru metode moguće je uzeti koncentraciju radona koja je izmerena na radilištu i zanemariti koncentracije radona u hodnicima,koje bi mogle dolaziti iz pukotina stena, s obzirom da se hodnici vode kroz sterilan materijal - jalovinu.

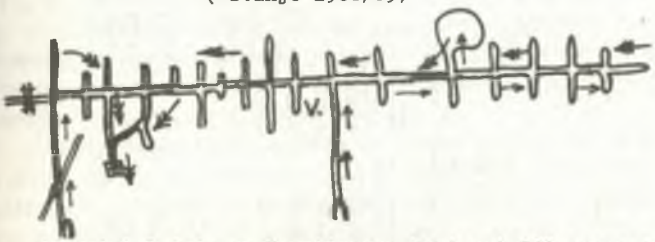
Ematizovan rudnik sadrži tačke ulaska svežeg i tačke izlaska istrošenog zagadjenog vazduha iz jame , dužine hodnika , bilo horizontalne ili vertikalne date u metrima , preseke hodnika S ($m^2$) , brzinu strujanja vazduha - v ( m/s) odnosno količine protoka vazduha - q ( $m^3/s$) . Zadate inicijalne frakcije ravnoteže su foA , foB i foC i tačke u kojima su koncentrisani izvori radona sa koncentracijama u pCi/lit.

Šematizovan horizont 580 rudnika Gorenja Vas

Prema podacima kontrolnih merenja u 1968/69 god. uzeti su izvori radona koncentrisani u trima tačkama : u tački 6 kod bušenja na čelu hodnika , u tački 2 kod dubinskog bušenja i u tački 10 gde su konzervirani radovi .Svež vazduh ulazi kroz ulazni hodnik B i novoprobijeni A. Ventilator od 30 KS smešten je u hodniku - tačka 7 i izvlači zagadjen vazduh sa čela hodnika, što stvara potpritisak u tački 6 koji omogućava dolazak svežeg vazduha hodnikom sa ulaza A . Izbacivanje zagadjenog vazduha u tački 13 .

SKICA 1

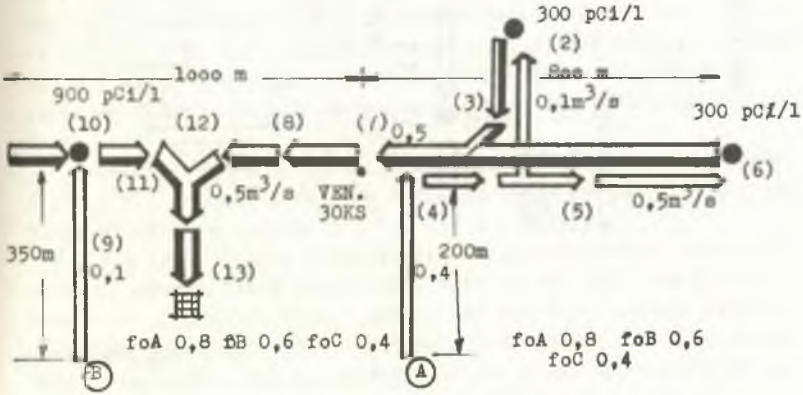
Uprošćena šema horizonta 580 rudnika urana Gorenja Vas
( stanje 1968/69)




Na Skici 2 daje se šematizovan horizont 580 prema smerovima kretanja vazduha sa unetim podacima potrebnim za obradu.

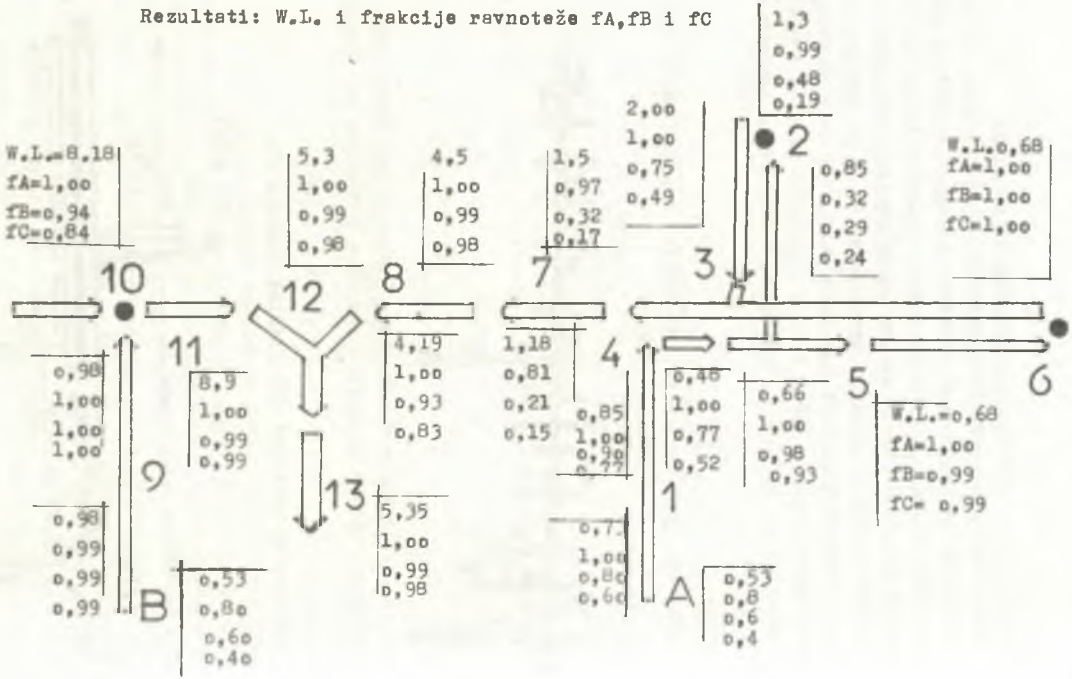
SKICA 2

Šematizovan horizont 580 rudnika Gorenja Vas



SKICA 3

Rezultati: W.L. i frakcije ravnoteže fA,fB i fC



Na Skici 3 unešeni su rezultati koji su se dobili računarom na željenim unapred odredjenim tačkama . Rezultati se sastoje od koncentracije Working Level-a , frakcija ravnoteže potomaka i radona fA , fB i fC respektivno .

Koncentracije Working Level-a imaju veoma dobro slaganje sa onim koncentracijama koje se dobijaju prilikom kontrolnih merenja . Na ulaznim hodnicima vrednosti su do 0,5 W.L. Na čelu radilišta merenjem su se dobijale vrednosti od 0,5 do 1 W.L. što je u skladu sa dobijenim rezultatima preko modela rudnika . Dobra slaganja su i duž hodnika do tačke 8 , tj u tačkama 2 , 3 , 4, 5 , 6 , 7 i 8 . U okolini tačaka 8 , 10 , 11 , 12 i 13 najveće su koncentracije W.L. gde ima najviše zagadjenog vazduha . Po modelu su vrednosti 4,19 - 8,18 - 8,9 i 5,35 što se dobro slaže sa merenjima u 1968/69 god gde su u ovim zonama rudnika izmerene vrednosti od 4 do 12 W.L. (2, 3)

Frakcije ravnoteže potomaka na nekim mestima su veće nego sto su se dobijale merenjima .Ovo potiče od postavljenih uslova ventilacije , zadate vrednosti bazirane su na uobičajenim vrednostima protoka vazduha ,rudnik nema ventilacionu kartu . a vrednosti protoka vazduha su bili često promenljivi . Uopše uzevši stanje ventilacije bilo je nezadovoljavajuće. Ventilator ,koji je izvlačio zagadjeni vazduh sa čela hodnika nije bio u stanju da stvori tako efikasan potpritisak u toj zoni da bi se sa ulaza A imao intenzivan dovod svežeg vazduha . Da bi se to ostvarilo bilo je potrebno uvesti sekundarni ventilator . Medjutim , od 1970 g. ovaj horizont ima izmenjen oblik ventilacije .Izvršeno je povezivanje šahtom sa donjim horizontima i izvlačenje zagadjenog vazduha se vrši preko ulaza B gde je postavljen ventilator .

Naročito povećane vrednosti frakcija ravnoteže su u tačkama 6 , 4 i 9 , merenjima se ovde dobijaju manje vrednosti , dok su dobra slaganja u tačkama 2 , 3 , 7 , 8 , 10 i 11 .

I ako je u pitanju početno korišćenje ovog modela moglo bi da da u primeni dobre rezultate . Naročito mu je dobra strana brzina dobijanja rezultata ,tako da bi se moglo uvek po želji , unošenjem neznatnog broja izmenjenih parametara , veoma brzo dobijati kompletno stanje rudnika . Za to je naravno potrebno imati ventilacionu kartu rudnika i tačne podatke količine protoka vazduha . Utisak je da uvedena zanemarivanja ne utiču znatno na

rezultate i da su vrednosti za W.L. i frakcije ravnoteže dobijeni preko modela računarom u dobroj korelaciji sa onim koji se dobijaju kontrolnim merenjima .

**Nota:** Postavljanje programa i korišćenje računara u C.P.A.N. Univerziteta u Toulousu omogućio mi je Mr. A. Chapuis , jula 1970 na čemu mu najtoplije zahvaljujem .

Summary

POSIBILITY OF ELABORATION OF NUMERICAL MODEL OF URANIUM MINE BY USE OF COMPUTER

A numerical model of uranium mine, author Mr. Chabot , C.P.A.N. Toulouse ,simulating the circulation of air in the galeries is presented .There is described the possibility of calculation of the equilibrium beetween 222 Radon and its short lived daughters as well as the Working Level of the predetermined points inside the mine, based on the data from the ventilation map , the mine topography and the source of Radon .

Based on this model ,the mine level no.580 of the uranium mine in Gorenja Vas was outlined (1969) , the values of equilibrium were calculated as well as the Working Level for more points inside the mine.

Calculated values for W.L. agree fairly with the W.L. values found by measurements , and the radioactive equilibrium is not always in the correlation ( because of lack of ventilation map ) .

Literatura

1. Chabot A. -Etude expérimentale et sur modèle numérique de l equilibre radioactif entre le radon et ses descendents a vie courte .These le gr.de docteur de spec. Fak. des sciences , Univ.de Toulouse,1970 .

2. Izveštaji Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS, o merenjima radioaktivnosti u uranskim rudnicima Beograd , 1960 do 1971 g.

3. Hajduković D. -Studija o radioaktivnoj kontaminaciji radonom i njegovim kratkoživećim potomcima u rudniku urana . Magistarski rad . Beograd , 1971 .

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid, 25 do 28 aprila 1972

Šmelcerović M., Ilić R., Muzdeka S.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča, ITMZ

# MERENJE AKTIVNOSTI FISIONIH PRODUKATA METODOM DEBELOG UZORKA

## Rezime

Kod radiometrijske laboratorije namenjene merenju uzoraka na beta aktivnost primenjena je metoda debelog uzorka čime se postiže jednostavna i vremenska kratka priprema uzoraka. U radu je analizirana primena metoda za merenje beta fisionih produkata, izbor detektora, izračunavanje efikasnosti brojačkog sistema i dati su dijagrami za odredjivanje specifične aktivnosti u zavisnosti od upotrebljenog filtra.

## Uvod

Polazeći od namene radiometrijske laboratorije, da se u poljskim uslovima odredjuje beta aktivnost kontaminiranih materijala i to sa kratkim vremenom merenja po jednoj probi, došlo se do zaključka da je pogodno primeniti merenja metodom debelih uzoraka, čime se postiže jednostavna i vremenski kratka primena. Za merenje je neophodno poznavati efikasnost brojačkog sistema za mereni beta aktivni materijal. Snimanje beta spektra i nalaženje efikasnosti brojačkog sistema u funkciji oblika spektra i srednje energije istog, je dugotrajan i nepouzdan posao u poljskim uslovima, pa je zato odabran metod filtra za odredjivanje efikasnosti brojačkog sistema u odnosu na mereni beta aktivni materijal.

## Metoda merenja

Saturaciona vrednost odbroja za beta emiter u zavisnosti od maksimalne energije, postiže se pri vrednostima debljine sloja većim od $3d_{1/2}$. Iz navedenog sledi da je za merenja beta fisionih

produkata dovoljna debljina izvora od 10 mm, jer je greška u odbroju u odnosu na saturacionu vrednost odbroja ispod 2%. Dobijeni podatak se odnosi na fisione produkte starije od 1 časa i na merene preparate niskog Z i niske gustine, što je najnepovoljniji slučaj sa stanovišta postizanja saturacione vrednosti odbroja.

Geometrijski faktori efikasnosti se mogu eksplicitno izračunati što je već uradio niz autora (videti reference) i što je posebno lako uraditi za gasne proporcionalne ili GM brojače uz aproksimaciju da će svi elektroni koji prodju kroz prozor brojača biti detektovani i da je merenje vršeno na uzorku velikih dimenzija u odnosu na brojač. Ukoliko se ta aproksimacija ne može uvesti zbog konačnih dimenzija merenog uzorka, može se upotrebiti metod proračuna dat u referenci 1, koji je iskorišćen i u proračunima za radiometrijsku laboratoriju.

U zavisnosti od srednje energije i oblika spektra beta izvora menjaće se i koeficijenti od kojih zavisi odbroj brojača. U daljem tekstu je data analiza uticaja oblika spektra na merne rezultate i način da se rezultat, dobiven merenjem, koriguje relativno jednostavnim metodom tj. ponavljanjem merenja sa filtrom odredjene debljine.

Uz dovoljnu tačnost, odbroj brojačkog sistema može se prikazati u obliku

$$N = K_r \cdot K_g \cdot K_s \cdot K_{ra} \cdot K_p \cdot K_t \cdot K_{re} \cdot A \cdot m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

gde su:

- $m$ - masa merenog uzorka
- $N$ - odbroj u jedinici vremena (imp/s)
- $K_r$ - koeficijent geometrijske efikasnosti
- $K_g$ - koeficijent popravke u odnosu na šemu raspada
- $K_s$ - koeficijent usled samoapsorpcije
- $K_{ra}$ - koeficijent rasejanja
- $K_p$ - koeficijent apsorpcije u sloju vazduha izmedju brojača i izvora i apsorpcije u prozoru brojača
- $K_t$ - korekcija na mrtvo vreme brojačkog sistema
- $K_{re}$ - korekcija na efikasnost brojača u funkciji energije
- $A$ - specifična aktivnost merenog materijala

Ukoliko su za dati spektar beta zračenja poznati svi koeficijenti kao i brzina brojanja, moguće je odrediti specifičnu aktivnost uzorka koji se meri.

Kako su koeficijenti složene funkcije od energije, što dosta otežava izračunavanja, mogu se sa malom greškom izvršiti aproksimacije da su:

$$K_g = \frac{R_b^2}{2R_i^2}\left[1 - \frac{h}{D} - \frac{3}{8}\frac{hR_i^2R_b^2}{D^5} - \frac{5}{64}\frac{hR_i^2R_b^4}{D^7}\left(3 - \frac{7h^2}{D^2}\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{35}{1021}\frac{hR_i^2R_b^6}{D^9}\left(5 - 30\frac{h^2}{D^2} + 33\frac{h^4}{D^4}\right)\right] + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

gde su:

$R_b$ - radijus prozora brojača

$R_i$ - radijus izvora

$h$ - rastojanje izmedju brojača i izvora

$D$ - $\sqrt{h^2+R_i^2}$

$K_t$ - korekcija na mrtvo vreme brojačkog sistema koja se može prikazati u obliku

$$K_t \approx \frac{1}{1+N\tau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

gde su:

$N$ - brzina brojanja

$\tau$ - mrtvo vreme brojačkog sistema

$K_r$ je koeficijent popravke na šemu raspada, pa kako se u ovom slučaju vrši merenje beta efikasnosti fizionih produkata, može se usvojiti da je

$$K_r = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

$K_s$ - se može eksperimentalno odrediti, iako se može teorijski izračunati.

$K_p$ - se eksperimentalno odredjuje ekstrapolacijom krive dobivene nizom merenja sa filtrima pri istoj geometriji brojač-izvor. Vrednost $K_p$ se može izračunati za poznati spektar beta zračenja, poznavanjem vrednosti debljine prozora i sloja vazduha izmedju brojača i izvora, što je komplikovan posao obzirom na ugaono energetsku zavisnost zračenja iz izvora.

$K_{re}$ - tj. korekcija efikasnosti brojača u odnosu na energiju je zbog komplikovanosti geometrijskih struktura sklopa brojač-izvor, jako složen problem pa je preporučljivo i pri odredjivanju ovog

koeficijenta, poslužiti se eksperimentom.

$K_s$ - se može relativno malom greškom izračunavati korak po korak za energetske intervale iz celog spektra beta fisionih produkata, što je donekle olakšano kod debelih uzoraka čiji radijus je veći od radijusa prozora brojača. Aproksimativna formula po kojoj se može vršiti izračunavanje je:

$$K_s = \frac{K}{0{,}693\, N\, d} \sum_{i=1}^{n} N_i\, d_i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

gde su:

K - konstanta koja zavisi od geometrije merenja

N - ukupan odbroj u spektru

d - debljine izvora

$N_i$ - odbroj u posmatranom delu spektra

$d_i$ - poludebljina za srednju energiju iz posmatranog energetskog intervala

Kako je spektar fisionih produkata u funkciji vremena poznat, moguće je izračunavanjima doći do podataka o vrednosti koeficijenta $K_s$.

Kako se iz navedenih podataka vidi da je izračunavanje koeficijenata za nalaženje specifične aktivnosti iz odbroja veoma složen posao naročito zbog energetske zavisnosti koeficijenata $K_s$, $K_b$, $K_{ra}$, $K_t$ i nepoznavanja spektra, bilo je potrebno korišćenjem metode filtra eliminisati neke od koeficijenata i tako omogućiti sa nešto većom greškom brzo dobijanje rezultata.

Ako se kroz filter postavljen izmedju izvora i brojača propusti usmereno monoenergetsko zračenje, odbroj se smanjuje po zakonu

$$N_{fi} = N_{oi}\, e^{-0{,}693 \frac{d_f}{d_i}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

gde je:

$N_{oi}$ - odbroj bez filtra zračenja energijeEi

$N_{fi}$ - odbroj sa filtrom debljine $d_f$

$d_i$ - poludebljina filtra za datu energiju

$d_f$ - debljina filtra

Za energetski spektar fisionih produkata može se izračunati vrednost odbroja sa filtrom po izrazu:-

$$N_1 = \sum_{i=1}^{n} N_{0i}\, e^{-0,693 \frac{d_1}{d_i}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Uz dalje aproksimacije može se izračunati koeficijent samoapsorpcije $K_s$ i ako nije poznat spektar primarnog zračenja. Vršenjem merenja sa i bez filtra i korišćenjem jednačina 5, 6 i 7 dolazi do aproksimativnog izraza za $K_s$

$$K_s \approx \frac{d_1}{2,3\, d\, \log \frac{N_1}{N_2}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Greške koje se čine uz navedene aproksimacije nisu vece od 20% za merenja smeše fisionih produkata čija je starost u vremenskom intervalu od jednog časa do jedne godine.

Metod koji je opisan može se koristiti i za merenje starosti fisionih produkata sa nešto većom greškom.

Kriterijum za izbor detektora

Zbog širokog energetskog raspona u beta emisiji svežih fisionih produkata koji se kod svežih fisionih produkata kreće od 0 do 5 MeV-a, detektor kojim će se vršiti merenja mora raspolagati sledećim svojstvima:

- visoka efikasnost za što širi opseg energija
- niska efikasnost na gama zračenje
- nizak fon od prirodnog zračenja
- velika geometrijska efikasnost
- tanak prozor brojača

i svojstvima koja su neophodna za terenski rad:

- lako održavanje
- rad u širokom temperaturnom intervalu
- dug vek

Iz navedenih uslova proistekao je izbor halogenog GM brojača tipa 18536 Philipsove proizvodnje smeštenog u olovnom zaštitnom oklopu sa prosečnom debljinom zida od 38 mm. Radi daljeg smanjivanja fona izvedeno je slojevito oklapanje brojača sa materijalima rastućeg Z.

Karakteristike ovako izvedenog brojačkog sistema su:

a) odbroj u prirodnom polju zračenja $N_{fon}$=0,16 imp/s
b) debljina prozora brojača sa zaštitnom folijom $d_p$=4 mg/cm$^2$
c) prečnik prozora brojača $2.R_b$= 27,8 mm
d) rastojanje izmedju brojača i izvora h = 21,5 mm

e) radijus izvora $2.R_i$ = 38 mm
f) debljina izvora d = 10 mm
g) rastojanje izmedju filtra i izvora l=5 mm

Rezultati proračuna

Na osnovu rezultata niza merenja i proračuna čija je skica data u prethodnom delu teksta, dobiveni su dijagrami uz čiju se primenu mogu odrediti specifična aktivnost materijala kontaminiranog beta fisionim produktima kao i starost kontaminanta.

Na dijagramu sl. 1, dati su dijagrami za odredjivanje specifične aktivnosti merenog materijala po izrazu:

$$A = F.N_o \qquad \text{.....(9)}$$

gde su:

A - specifična aktivnost merenog materijala /uCi/Kg
$N_o$- odbroj izvora bez filtra
F - faktor koji se čita sa dijagrama za izmerenu vrednost odnosa $N_o/N_f$
$N_{fon}$- odbroj izvora sa pogodnim filtrom

Pri merenjima se odabira filter sa kojim je vrednost količnika $N_o/N_f$ izmedju 1,5 i 2,6. Vrednosti za $N_o$ i $N_f$ su korigovane u odnosu na fon i mrtvo vreme brojača.

Rezultati merenja

Primenom opisane metode izvršen je niz merenja za različite kontaminirane materijale i rezultati merenja su dati u TAB. br.1

TABELA 1

| Mereni materijal | $^{40}K$ u KCL-u | $^{90}Sr$-Y u vodi | $J^{131}$ u vodi | Dimenzije |
|---|---|---|---|---|
| Poznata aktivnost | 0,405 | 20 | 430 | /uCi/Kg |
| Izmerena aktivnost | 0,38 | 17 | 380 | /uCi/Kg |
| Relativna greška | 6,2 | 6,6 | 11,7 | % |

Zbog komplikovanosti u radu sa fisionim produktima, vršena su samo neka od merenja ekvivalentne starosti i dobijeni su rezultati koji se nalaze u granicama od ±30% u odnosu na očekivani rezultat. i to sa homogenim uzorkom.

## Zaključak

Primenom metode debelog uzorka sa korekcijom rezultata ponavljanjem merenja sa filtrom, dobijena je laboratorija velike manipulativnosti i pouzdanosti u radu. U nizu merenja izvršenih sa radiometrijskom laboratorijom, svi rezultati su se nalazili u granicama greške od 30%, ispravno postavljene.

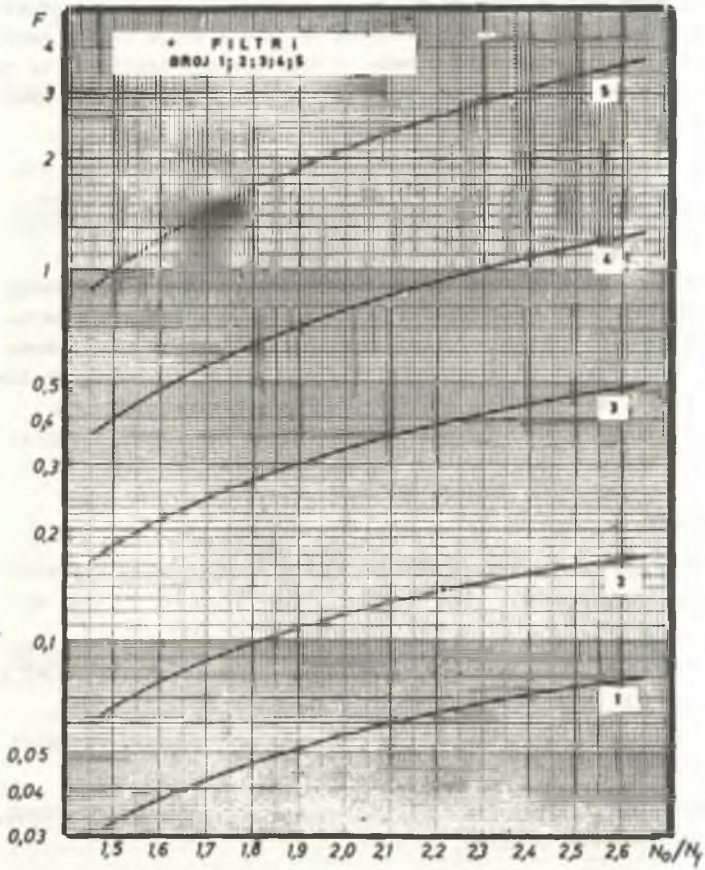
## Rezime

MEASUREMENT OF ACTIVITIES OF FISSION PRODUCTS BY THE METHOD OF THICK SAMPLE

Application of the method of thick samples in the laboratory for health physics measurements permits simple and fast preparation of samples. The paper considers the application of the method to measurement of beta activities of fission products, choice of detector, and counting efficiency. The presented diagrams allow calculating the specific activities as functions of different filters.

## Literatura

1. Plesch R.: K-40 als Eichsbustanz der Strahlungmesstechnik" Atomkernenergie, 12, 1963, 438
2. Plesch R.: "Die Empfindlickeit der Messung homogen verteilter Aktivitaten unter Sattigungbedingungen", Atompraxis, 4, 1962,135
3. Plesch R.: "Der Einfluss fehlender Sattigungbedingungen auf die messung homogen verteilter Aktivitaten", Atompraxis, 8, 1962, 297
4. Simović M.: Kalibracija sa K-40 i njena eksperimentalna provera" Naučno-tehnički pregled, 7, 1969, 27
5. Manual of Standard Procedures, NYO - 4700, Health and Safety Laboratory, 1967, New York
6. Proceedings of Symposium, Interlaken (1968)


F
4
3
2
1
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,05
0,04
0,03
FILTRI
BROJ 1;2;3;4;5
5
4
3
2
1
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2,0
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
2,6
$M_0/M_1$

sl.1

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25. do 28. April 1972.

Jokić J.
Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo

# IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA MEDICINSKIM IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Čovječanstvo je od postanka izloženo djelovanju prirodnih izvora zračenja iz zemljine kore, atmosfere i kosmosa. Računa se da je čovjek iz ovih izvora izložen godišnje dozi od o,2 do o,5 r.

Prirodnom zračenju su se u posljednjih 7o godina pridružili i umjetni izvori jonizujućeg zračenja primjenom rendgen-zraka, radija i umjetnih radioaktivnih izotopa u nauci, medicini i industriji. Vještački izvori jonizacije postaju iz dana u dan sve brojniji i tako povećavaju nivo radijacije kojoj se čovjek izlaže. Ovi izvori jonizujućeg zračenja neosporno donose čovjeku znatnu korist, ali i latentnu opasnost koja se za sada još ne može procijeniti.

Na slijedećoj tabeli prikazani su vještački izvori jonizujućeg zračenja kojem su izloženi pojedinci i stanovništvo.

TAB. 1.

Vještački izvori jonizujućeg zračenja.

---

A. Medicinski.

1. Dijagnostička upotreba rendgen aparata,
2. Radioterapija otvorenim i zatvorenim izvorima,
3. Interna aplikacija radioizotopa.

B. Izvori u industriji i nauci,

C. Ostali izvori /TV, radioaktivne svjetleće boje, itd./.

D. Radioaktivna kontaminacija okoline:

1. Eksplozije nuklearnog oružja i radioaktivne padavine,
2. Dispozicija radioaktivnih otpadaka,
3. Akcidentalno oslobađanje radioaktivnosti.

---

U svjetlu povećanog interesa i odgovornosti za moguća genetska i somatska oštećenja stanovništva sve širom upotrebom jonizujućeg zračenja, Generalna skupština UN je još 1956. godine formirala naučni komitet stavivši mu u zadatak da prikupi informacije o izloženosti stanovništva raznim izvorima jonizujućeg zračenja. Ovaj komitet je svoj izvještaj /1/ publikovao 1958. godine, u kome stoji da je medicinska upotreba rendgen aparata najmasovniji vještački izvor jonizujućeg zračenja i da 7o-9o% cjelokupne apsorbovane doze iz medicinskih izvora otpada na ozračivanje rendgen zrakama upotrebljenim u dijagnostičke svrhe.

Doprinos radioterapije primljenoj dozi stanovništva je relativno mali /2/. Ona se uglavnom primjenjuje za liječenje raka gdje su njene prednosti daleko iznad eventualnih štetnosti. Međutim, ona je takoder efikasan metod za liječenje nekih benignih stanja, te je potrebno indikacije i tehniku liječenja tih oboljenja pažljivo ispitati, naročito kod mladih pacijenata /3/.

Upotreba radioizotopa u dijagnostičke svrhe za sada ne predstavlja problem za opšte narodno zdravlje /3/. Međutim, razvojem medicine i nuklearne energije, kao i široke mogućnosti primjene radioizotopa u medicini ubrzo će, sasvim sigurno, mnogostruko povećati njihovu primjenu, a s tim u vezi postaviti i probleme aplici-

nih doza pacijentima i procjene rizika kontaminacije okoline.

Broj dijagnostičkih rendgen aparata iz dana u dan se sve više povećava, te Komitet eksperata za radijaciju SZO /3/ procjenjuje da godišnji porast rendgen dijagnostičkih pregleda iznosi 10-15% čak i u razvijenim zemljama. Na povećanje broja pregleda, kako oni smatraju, utiče više faktora od kojih su najvažniji: pobdjšanje ekonomskih prilika, razvoj medicinske službe i saznanja potencijalne vrijednosti u dijagnostici i suzbijanju bolesti. Prema tome, svaki pacijent podvrgnut bilo kom obliku primjene jonizujućeg zračenja u medicini je svjesno i neizbježno izložen riziku nepovoljnog efekta radijacije.

Ovi efekti se mogu podijeliti u dvije grupe: a/ somatske koji se mogu ranije ili kasnije utvrditi na ozračenom licu u toku njegovog života i b/ genetske koje nastaju oštećenjem zametnog epitela pacijenta, a manifestuju se kod njegovih bližih i daljnjih potomaka.

Pri savremenom nivou tehnike i opreme u rendgenologiji ne bi se smjeli događati bilo kakvi incidenti u vidu akutnih somatskih oštećenja pacijenata.

U posljednje vrijeme znatnu pažnju privlače moguće kasne somatske posljedice radijacije u vidu leukemije i malignih tumora. Radijacija po obimu doze i po načinu kako se ona primjenjuje u terapiji može biti popraćena povećanjem incidencije akutne i hronične mijeloidne leukemije, ali se ta veza za sada sa sigurnošću još nije mogla utvrditi kod primjene znatno manjih doza pri dijagnostičkoj upotrebi rendgen aparata.

Sa stanovišta zaštite zdravlja budućih generacija za sada najveću pažnju privlače moguća genetska oštećenja, pošto jonizujuće zračenje dovodi do mutacije gena koje se zatim prenose na potomstvo. Odnos između broja mutacija i doze je linearan, tj. svaka količina jonizujućeg zračenja može izazvati mutacije, a genetski efekat je kumulativan.

Koliki je rizik, tj. koliki će se broj štetnih mutacija pojaviti u potomstvu i u kom stepenu će se povećati incidencija leukemija zbog medicinske dijagnostičke upotrebe jonizujućeg zračenja teško je sa sigurnošću utvrditi, iako postoje već brojne matematičke kalkulacije /4/.

Ovaj problem je pobudio znatno interesovanje i do sada su prema preporuci Međunarodne komisije za radiološku zaštitu /5/ u mnogim zemljama vršena ispitivanja obima korištenja medicinskih izvora zračenja.

Na osnovu istraživanja Naučni komitet UN za efekte radijacije procjenjuje da je godišnja genetska doza iz medicinske dijagnostičke rendgenologije veća od doze koju stanovništvo prima iz prirodnih izvora zračenja i da iznosi 4o-24o mr, a doza iz terapeutske primjene rendgen aparata 12 mr /6/.

Izučavanje ovog problema od strane brojnih istraživača ukazala je na slijedeće zajedničke zaključke:

/1/ 85% od ukupne vrijednosti gonadnih doza daju pregledi karlice, lumbalnog dijela kičme, kuka, lombosakralne regije, gornje trećine femura i urinarnog trakta. To su ustvari pregledi koji u primarni snop zraka neizbježno uključuju gonade. Učešće tih pregleda iznosi prema dosadašnjim ispitivanjima, oko 1o%. Ispitivanje u našoj zemlji /7/ pokazalo je da učešće tih pregleda u zbiru svih pregleda iznosi 6,83%. Ostale vrste pregleda iako znatno brojnije, daju mali doprinos genetskoj dozi. Međutim, ovi drugi pregledi, a naročito pregledi pluća, mogu znatno doprinjeti povećanju doze koštane srži /7/.

/2/ Loša tehnika rada pri pregledima, neispravna ili nedovoljna oprema na rendgen aparatima i nepoznavanje metoda zaštite mogu uveliko povećati gonadnu dozu pacijenata, čak i u onim pregledima kada gonade nisu u direktnom snopu. Neadekvatna širina snopa je najčešći vid loše tehnike rada pri pregledu /3/. Blatz /9/ ukazuje da je u New Yorku 5o% rendgen aparata upotrebljavaju širi snop zraka, nego što je potrebno da se ozraci film. Pošto samo oni zraci koji padaju na ekran ili film mogu dati pregledavaču potrebna obavještenja, to ostatak, odnosno dio zraka koji prelazi veličinu filma ili ekrana ne samo da ne koristi u davanju informacija, nego je štetno kako za pacijenta, tako i za lice koje rukuje aparatom ili se nalazi u njegovoj blizini.

Reducirajući širinu korisnog snopa i brižljivo limitirajući površinu ozračenog dijela tijela za vrijeme rendgen dijagnostičkog pregleda može se održati veličina gonadne doze na niskom nivou uprkos povećane upotrebe rendgen aparata /1o/.

/3/ Izbor alternativnih metoda pregleda kao što su dijaskopija, grafija ili fluorografija imaju velikog uticaja na veličinu primljenih doza zračenja pacijenta.

Dijaskopija daje daleko veću i kožnu i gonadnu dozu nego radiografija ili fluorografija. Najveći uticaj na apliciranu dozu kod dijaskopije imaju: trajanje pregleda, osjetljivost, fluorescentnog ekrana, kolimacija snopa zraka, uvježbanost pregledavača i njegova adaptacija na mrak.

Prema našim ispitivanjima vršenim na uzorku zdravstvenih ustanova u SFRJ došli smo do podataka da se pri rengenskom pregledu pluća dijaskopija primjenjuje u 62%, a pri pregledu želuca u 77% slučajeva. Posebno su značajni podaci da se kod djece dijaskopija koristi kao metod u 50% pregleda pluća /11/.

Da bi iz medicinske primjene jonizujućeg zračenja izvukli maksimalnu korist uz što manji rizik po pacijenta i stanovništva u cjelini, potrebno je pridržavati se slijedećih principa:

a/ jonizujuće zračenje primjeniti bilo u dijagnostici, bilo u terapiji samo onda kad postoji jasna medicinska indikacija;

b/ ako je primjena neophodna onda je treba da obavi kvalifikovano lice, na ispravnom izvoru zračenja uz najbolju tehniku i ostale zaštitne mjere da bi se što manje ozračio pacijent. a i lice koje rukuje izvorom.

Provođenje navedenih principa u nizu zemalja pokazalo je da je moguća dobra zaštita pacijenata uz istovremeno smanjenje primljenih doza stanovništva.

O ozračivanju stanovništva usljed primjene jonizujućeg zračenja u našim zdravstvenim ustanovama za sada ne postoje potpune i precizne inform cije.

Naš Zakon o zaštiti jonizujućeg zračenja obavezuje utvrđivanje doza ozračivanja koje prima stanovništvo iz svih izvora jonizujućeg zračenja. Dok se ova obaveza provodi za lica koja rukuju izvorima, za utvrđivanje doza ostalog stanovništva ne postoji ni administrativni ni organizacioni model da se ona ispuni niti mjere prinude da se to realizuje.

Indikacije za radiološke postupke i sama tehnika primjene jonizujućeg zračenja u zdravstvenim ustanovama nisu, koliko je poznato, obuhvaćeni organizovanim stručnim nadzorom, ni u okviru zdravstvene službe, ni u sanitarnoj inspekciji. U vezi s tim napominjemo, da se dosljedno ne sprovodi ni odgovarajuće dopunsko obrazovanje ljekara i ostalog osoblja koje rukuje izvorima jonizujućeg zračenja, iako bi to prema zakonu bilo obavezno. Stoga i nije rijetka pojava da

izvorima jonizujućeg zračenja u zdravstvenim ustanovama rukuje ponegdje i takvo osoblje koje nije pošlo ni kroz kakav ispit ili stručnu provjeru svog znanja u rukovanju tim izvorima. Dobiveni podaci iz ankete provedene 1967. godine /12/ pokazuju da 5o% od svih rendgen dijagnostičkih postupaka vrši srednje i niže medicinsko osoblje od kojih su 49,2% bez redovnog školovanja za rad s izvorima jonizujućeg zračenja, a da radiolozi izvrše samo 13% od ukupnog broja rendgen-dijagnostičkih pregleda.

Problem ozračivanja stanovništva medicinskom primjenom izvora jonizujućeg zračenja ne treba dramatizovati, ali ni potcjenjivati. U životnoj okolini čovjeka danas postoje brojni štetni faktori koji mogu imati slične somatske i genetske efekte, kao i jonizujuće zračenje i naša je dužnost i obaveza da svaki od tih štetnih faktora uklonimo ili barem držimo pod kontrolom u okviru prihvatljivog rizika.

Bibliografija

1. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation /1958/, Gen. Assembly Official Records, 13th Sess. Suppl. No 17 /A/3838/, New York;

2. Adrian Committee /196o/, Radiological Hazards to Patients. Second Report of the Committee, London. Her Majesty's Stationery Office;

3. Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation /1965/, WHO, Technical Report Series No 3o6, Geneva;

4. The Evaluation of Risk from Radiation /1966/, International Commission on Radiological Protection. Committee I, Health Physics. 12:239-3o2;

5. ICRP, ICRU /1957/, Physics in Medicine and Biology, 2:1o7-151;

6. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation /1062/, 17th Session Suppl. No 16 /A/5216/. New York;

7. Jokić J., Marjanac A., Procjena obima korištenja rendgen dijagnostičkih postupaka u zdravstvenim ustanovama SFRJ. /197o/ Materijali V simpozijuma Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, No 6/o8, Bled;

8. Spiers F.W./1963/, The British Journal of Radiology 424:238-24o;

9. Blatz, H., /1962/, Amer. Journal Public Health, 52 :1385-139o;

1o. Morgan,R.H./1963/, Amer.Ind.Hygiene, 24:588-599;

11. Jokić J., Marjanac A., Primjena rendgen dijagnostičkih postupaka u pedijatrijskoj praksi SFRJ. /197o/. Materijali V simpozijuma Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, Bled;

12. Jokić J., Marjanac A., Stručnost kadrova koji rukuju rendgen aparatima u zdravstvenim ustanovama SFRJ. /197o/, Materijali V Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, No 2/o5, Bled.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
OHRID, 25. do 28. April 1972.

Jokić J., Marjanac A.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo
Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo

# RENDGENSKI PREGLEDI PLUĆA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA SFRJ

Analizirano je 7,59o.5oo rendgen dijagnostičkih pregleda pluća u odnosu na spol, starost, metod pregleda i zdravstvene ustanove u kojima su izvršeni pregledi tokom 1967 godine.

Dobiveni rezultati su diskutovani u svjetlu savremenih saznanja o doprinosu genetskoj i somatskoj dozi pacijenta kod primjene različitih metoda rendgenskog pregleda pluća.

## Uvod

Procjenjuje se da 7o-9o% od cjelokupne apsorboravane doze jonizujućeg zračenja, koje primi stanovništvo u mirnodopskim uslovima, otpada na medicinsku upotrebu X-zraka u dijagnostičke svrhe /1/. U mnogim zemljama se svaki drugi, a u nekim skoro svaki, stanovnik prosječno jedanput godišnje podvrgne nekom od medicinskih rendgenskih pregleda.

Pokazalo se da 8o% doprinosa genetskoj dozi daju rendgenski pregledi karlice, slabinske kičme, kuka i abdomena, iako oni čine samo oko 1o% od ukupnog broja pregleda /2/. Doprinos genetskoj dozi ostalih pregleda može znatno porasti ako se ti pregledi vrše u velikom obimu /ptegled pluća/ ili na velikim grupama stanovništva /obavezna masovna fluorografija/. Međutim, pregledi sa malim doprinosom genetskoj dozi daju veliki doprinos dozi koštane srži /3/.

U našoj zemlji /4,5/, kao i u nizu zemalja gdje su vršena ispitivanja pokazalo se da su pregledi pluća daleko najmasovniji vid rendgen dijagnostičkih postupaka. Pri ovim pregledima koristi se skopija i grafija. Dijaskopija daje daleko veću i kožnu i gonadnu dozu, nego radiografija ili fluorografija. Blatz /6/ daje

vrlo upečatljivu razliku između skopije i grafije u pogledu primljene doze za pacijenta. Ako se pri nekom pregledu pluća upotrebi dijaskopija u trajanju od samo jedne minute onda koža grudnog koša pacijenta primi oko 5ooo mr, a njegove gonade oko loo mr. Da bi primio istu dozu od grafije pluća potrebno bi bilo napraviti na istom pacijentu loo uzastopnih snimaka grudnog koša.

Najveći uticaj na veličinu primljene doze kod dijaskopije imaju: trajanje pregleda, osjetljivost fluorescentnog ekrana, kolimacija snopa zraka, uvježbanost pregledavača i njegova adaptacija na mrak. Stoga Komitet eksperata SZO za efekte jonizujućeg zračenja /1/ preporučuje da dijaskopiju treba orimjeniti izuzetno i da ona ne smije biti zamjena za grafiju, ukoliko ova stoji na raspolaganju, pogotovu ne u cilju štednje na filmovima.

Cilj ovog saopštenja je da prikaže aktuelno stanje u korištenju dijaskopije i grafije pri pregledu pluća u zdravstvenim ustanovama SFRJ.

## Metod rada

Na 2o%-tnom uzorku dijagnostičkih rendgen aparata u zdravstvenim ustanovama u SFRJ izvršena je jednonedjeljna anketa broja i vrste rendgen dijagnostičkih pregleda pacijenata. Anketom nisu bili obuhvaćeni masovni fluorografski pregledi. Na osnovu dobivenih rezultata izračunata je godišnja procjena broja rendgenskih pregleda pluća u odnosu na spol, dob i upotrebljenu metodu rendgenskog pregleda.

## Rezultati i diskusija

Godišnja procjena broja i vrste rendgen-dijagnostičkih pregleda u zdravstvenim ustanovama na teritoriji SFRJ u 1967. godini prikazana je na Tab. 1. Iz tabele se vidi da 58,61% od svih rendgen dijagnostičkih postupaka otpada na pregled pluća.

U Tab. 2 prikazan je broj rendgen dijagnostičkih pregleda pluća u odnosu na dob i spol pacijenta, metodu korištenog pregleda i zdravstvenu ustanovu u kojoj su obavljeni pregledi. Podaci pokazuju da se pregledi pluća u 62% slučajeva vrše dijaskopijom, a 38% grafijom.

Od ukupnog broja izvršenih rendgenskih pregleda pluća u određenoj vrsti ustanove dijaskopije su bile u zdravstvenim stanicama 76,8%, u bolnicama i klinikama 69,3%, a u domovima zdravlja i medicinskim centrima 59,9%.

Nema bitnih razlika u pogledu primjene metode pregleda /dijaskopija-grafija/ pluća među spolovima, mada je skopija kod muškaraca procentualno nešto više zastupljena.

Kod djece do 10 godina starosti učešće dijaskopija pluća je približno grafijama, dok sa porastom godina starosti pacijenata raste udio dijaskopija u odnosu na grafije, Za navedene razlike nemamo objašnjenja, ali pretpostavljamo, da je učestalost pregleda pluća kod odraslog stanovništva veća, što ima za posljedicu da zdravstvene ustanove pribjegavaju jeftinijem i bržem postupku u postavljanju dijagnoze. Međutim, bez obzira na relativno povoljniji odnos između grafija i skopija kod djece, neprihvatljivo je, sa stanovišta zaštite stanovništva od eventualnih genetskih i kasnih somatskih posljedica, da se prosječno kod svakog drugog djeteta pregled pluća vrši skopijom.

Analizirajući korišteni metod pregleda pluća kod populacije do 10 godina starosti u odnosu na zdravstvenu ustanovu, gdje se pregled vršio, vidi se da se skopija primjenjuje u zdravstvenim ustanovama 77%, u domovima zdravlja i medicinskim centrima 52,8%, a u bolnicama i klinikama 43,9%. Očigledno je da je ovo posljedica razlika u kvalifikovanosti kadra koji vrši preglede, nedostatka specijalne opreme za pregled djece, a možda i ekonomski momenat /skopija je najeftiniji pregled/.

Daljnja analiza tabele 2 pokazuje da se primjena grafije, odnosno skopije pri pregledu pluća kod pacijenata iznad 10 godina starosti mijenja prema zdravstvenim ustanovama, tako, da domovi zdravlja i medicinski centri više koriste grafiju nego bolnice. Ni za ovo nemamo dokumentovanog objašnjenja, ali se može pretpostaviti, da je pregled pluća u bolnicama, izuzev specijalnih bolnica za plućne bolesti, rutinski pregled i da većina bolničkih odjeljenja, koja posjeduju rendgen aparat nemaju istovremeno i potreban kadar i opremu za radiografiju.

Ovo ispitivanje je pokazalo da se u našim zdravstvenim ustanovama još uvijek veoma često primjenjuje dijaskopija pri pregledu pluća, iako je to u nizu zemalja napušteno. Razlozi za napuštanje dijaskopije leže u činjenicama da ona ne ostavlja trajan dokument, da kod nje dolazi do znatnog izražaja subjektivni uticaj pregledavača i da ona po pravilu aplicira pacijentu daleko veće gonadne i somatske doze jonizujućeg zračenja.

TAB. 1.

Godišnja procjena frekvencije i struktura rendgen dijagnostičkih pregleda na teritoriji SFRJ na osnovu ankete iz septembra 1967.

| Vrsta pregleda | Procjena broja pregleda | | | | | | Ukupan broj pregleda | | % pregleda od ukupnog broja pregleda |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Muškarci | | | Žene | | | | | |
| | Broj | Greška vjerovatnoće | % | Broj | Greška vjerovatnoće | % | Broj | Greška vjerovatnoće | |
| Kuk i femur /gornja trećina/ | 1o73oo | ± 1572 | 1,56 | 141ooo | ± 3o6o | 2,32 | 2483oo | ± 2415 | 1,91 |
| Femur /srednja i donja trećina/ | 368oo | ± 1235 | o,53 | 125oo | ± 786 | o,21 | 493oo | ± 1o53 | o,38 |
| Pelvis | 483oo | ± 876 | o,7o | 6o9oo | ± 1656 | 1,o1 | 1o92oo | ± 1292 | o,84 |
| Pelvimetrija | - | - | - | 4oo | ± 28o8 | o,oo6 | 4oo | ± 28o,8 | o,oo3 |
| Lumbosakralna regija | 777oo | ± 2372 | 1,13 | 649oo | ± 1375 | 1,o7 | 1426oo | ± 1979 | 1,1o |
| Lumbalna kičma | 851oo | ± 1235 | 1,24 | 646oo | ± 1o11 | 1,o6 | 1497oo | ± 1151 | 1,15 |
| Urografija /uključivo i v. pijelografija/ | 966oo | ± 146o | 1,41 | 648oo | ± 1o1o | 1,o7 | 1614oo | ± 1264 | 1,25 |
| Retrogradna pijelografija | 33oo | ± 16o | 1,o5 | 5ooo | ± 199 | o,o8 | 83oo | ± 177 | o,o6 |
| Ureterocistografija | 1o8oo | ± 14o4 | o,15 | 75oo | ± 1291 | o,13 | 183oo | ± 1347 | o,14 |
| Želudac i duodenum | 4714oo | ± 4857 | 6,85 | 42o6oo | ± 39o3 | 7,o2 | 892ooo | ± 44o8 | 6,9o |
| Donji digestivni trakt | 4o6oo | ± 1168 | o,59 | 388oo | ± 1o39 | o,63 | 794oo | ± 1o95 | o,61 |
| Abdomen /opšti pregled/ | 539oo | ± 783 | o,79 | 59ooo | ± 927 | o,97 | 1129oo | ± 864 | o,87 |
| Abdomen /porodiljski pregled/ | - | - | - | 69oo | ± 14o | o,11 | 69oo | ± 14o | o,o3 |

TAB. 1. - Nastavak

Godišnja procjena frekvencija i strukture rendgen dijagnostičkih pregleda na teritoriji SFRJ na osnovu ankete iz septembra 1967.

| Vrsta pregleda | Procjena broja pregleda | | | | | | Ukupan broj pregleda | | % pregleda od ukupnog broja pregleda |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Muškarci | | | Žene | | | | | |
| | Broj | Greška vjerovatnoće | % | Broj | Greška vjerovatnoće | % | Broj | Greška vjerovatnoće | |
| Histerosalpinografija | - | - | - | 118oo ± | 848 | o,19 | 118oo ± | 848 | o,o9 |
| Holecistografija i holangiografija | 376oo ± | 525 | o,5[illegible] | 729oo ± | 1488 | 1,12 | 11o5oo ± | 12o7 | o,85 |
| Grudi /pluća, srce, ezofagus/ | 4o574oo ± | 17112 | 59,5[illegible] | 3533ooo ± | 15977 | 58,2o | 759o5oo ± | 16539 | 58,61 |
| Glava /uključivo i vratna kičma/ | 274oo ± | 3791 | 4,o[illegible] | 2678oo ± | 2611 | 4,42 | 541800 ± | 3229 | 4,2o |
| Grudna kičma | 454oo ± | 758 | o,6[illegible] | 47ooo ± | 814 | o,78 | 924oo ± | 777 | o,71 |
| Grudni koš /rebro, sternum, klavikula, rame/ | 1822oo ± | 2o22 | 2,68 | 1118oo ± | 1292 | 1,95 | 294ooo ± | 1713 | 2,26 |
| Ruka | 424ooo ± | 4914 | 6,2o | 2o63oo ± | 2443 | 3,4o | 63o3oo ± | 39o5 | 4,88 |
| Noga /osim femura/ | 3844oo ± | 4324 | 5,62 | 2264oo ± | 2485 | 3,72 | 61o8oo ± | 351o | 4,78 |
| Zubi | 429ooo ± | 7918 | 6,26 | 64o1oo ± | 12552 | 1o,55 | 1o691oo ± | 1o558 | 8,25 |
| Ukupno: | 6865800 | | 1oo | 6o691oo | | 1oo | 129349oo | | 1oo |

TAB. 2. Broj rendgen dijagnostičkih pregleda pluća u zdravstvenim ustanovama SFRJ po spolu, starosti i metodi pregleda /anketa, septembar 1967/ u hiljadama.

| Dobna skupina i spol | | Zdravstvena ustanova | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bolnica i klinika | | | | | Dom zdravlja i medicinski centar | | | | |
| | | Skopija | | Grafija | | Ukupno | Skopija | | Grafija | | Ukupno |
| | | Broj | % | Broj | % | | Broj | % | Broj | % | |
| 0-9 | M | 96,1o | 43,9 | 123,oo | 56,1 | 219,1o | 143,25 | 52,9 | 134,55 | 47,1 | 277,8o |
| | Ž | 1o2,4o | 39,6 | 156,4o | 6o,4 | 258,8o | 139,5o | 46,o | 164,oo | 54,o | 3o3,5o |
| | U | 198,5o | 4o,6 | 289,4o | 59,4 | 487,9o | 282,75 | 48,7 | 298,55 | 51,3 | 581,3o |
| 1o-19 | M | 75,7o | 65,5 | 39,8o | 34,5 | 115,5o | 247,1o | 52,6 | 223,6o | 47,4 | 47o,7o |
| | Ž | 88,55 | 66,9 | 43,65 | 33,1 | 132,2o | 168,9o | 56,1 | 132,6o | 43,9 | 3o1,5o |
| | U | 164,25 | 66,3 | 83,45 | 33,7 | 247,7o | 416,oo | 54,1 | 356,2o | 45,9 | 772,2o |
| 2o-29 | M | 156,75 | 72,4 | 59,85 | 27,6 | 216,6o | 313,7o | 61,4 | 198,o5 | 38,6 | 511,75 |
| | Ž | 131,6o | 75,6 | 42,3o | 24,3 | 173,9o | 269,85 | 69,6 | 117,8o | 3o,4 | 387,65 |
| | U | 288,35 | 57,9 | 1o2,15 | 26,1 | 39o,5o | 583,55 | 64,8 | 315,85 | 35,2 | 899,4o |
| 3o-i više | M | 38o,15 | 69,6 | 199,3o | 3o,4 | 579,45 | 782,75 | 65,3 | 415,25 | 34,7 | 1198,oo |
| | Ž | 434,7o | 79,1 | 182,4o | 2o,9 | 617,1o | 621,5o | 54,4 | 522,25 | 45,6 | 1143,75 |
| | U | 814,85 | 69,8 | 381,7o | 3o,2 | 1196,55 | 14o4,25 | 6o,o | 937,5o | 4o,o | 2341,75 |
| Svega | M | 7o8,7o | 62,7 | 421,95 | 37,3 | 113o,65 | 1486,8o | 6o,5 | 971,45 | 39,5 | 2458,25 |
| | Ž | 757,25 | 64,1 | 424,75 | 35,9 | 1182,oo | 1199,75 | 56,2 | 936,65 | 43,8 | 2136,4o |
| | U | 1465,95 | 69,3 | 846,7o | 3o,7 | 2312,65 | 2686,55 | 59,9 | 19o8,1o | 4o,1 | 4594,65 |

TAB. 2. - Nastavak.

Broj rendgen dijagnostičkih pregleda pluća u zdravstvenim ustanovama SFRJ po spolu, starosti i metodi pregleda /anketa, septembar 1967/, u hiljadama.

| Dobna skupina i spol | | Zdravstvena ustanova | | | | | Svega | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Zdravstvena stanica | | | | | | | | | |
| | | Skoplja | | Grafija | | Ukupno | Skoplja | | Grafija | | Ukupno |
| | | Broj | % | Broj | % | | Broj | % | Broj | % | |
| 0-9 | M | 2o,oo | 77,o | 6,oo | 23,o | 26,oo | 259,35 | 49,6 | 263,55 | 5o,4 | 522,9o |
| | Ž | 12,8o | 74,5 | 4,4o | 25,5 | 17,2o | 254,7o | 44,o | 324,8o | 56,o | 579,5o |
| | U | 52,8o | 76,o | 1o,4o | 24,o | 43,2o | 514,o5 | 45,7 | 598,35 | 54,3 | 11o2,4o |
| 1o-19 | M | 37,oo | 84,5 | 6,8o | 15,5 | 43,8o | 359,8o | 53,2 | 27o,2o | 42,8 | 63o,oo |
| | Ž | 23,6o | 71,1 | 9,6o | 28,9 | 33,2o | 281,o5 | 6o,2 | 185,85 | 39,8 | 466,9o |
| | U | 6o,6o | 78,8 | 16,4o | 21,2 | 77,oo | 64o,85 | 58,4 | 456,o5 | 41,6 | 1o96,9o |
| 2o-29 | M | 7o,6o | 73,3 | 25,8o | [illegible],7 | 96,4o | 541,o5 | 65,6 | 283,7o | 34,4 | 824,75 |
| | Ž | 33,2o | 78,o | 9,4o | 22,o | 42,6o | 434,65 | 72,o | 169,5o | 28,o | 6o4,15 |
| | U | 1o3,8o | 74,7 | 35,2o | 25,3 | 139,oo | 975,7o | 68,3 | 453,2o | 31,7 | 1428,9o |
| 3o-i više | M | 231,4o | 76,6 | 7o,9o | 23,4 | 3o2,3o | 1394,3o | 67,1 | 685,45 | 32,9 | 2o79,75 |
| | Ž | 96,oo | 78,9 | 25,7o | 21,1 | 121,7o | 1152,2o | 61,3 | 73o,35 | 38,7 | 1882,55 |
| | U | 327,4o | 77,3 | 96,6o | 22,7 | 424,oo | 2546,5o | 64,3 | 1415,8o | 35,7 | 3962,3o |
| Svega | M | 359,oo | 76,7 | 1o9,5o | 23,3 | 468,5o | 2554,5o | 63,o | 15o2,9o | 37,o | 4o57,4o |
| | Ž | 165,6o | 77,2 | 49,1o | 22,8 | 214,7o | 2122,6o | 6o,1 | 141o,5o | 39,9 | 3533,1o |
| | U | 524,6o | 76,8 | 158,6o | 23,2 | 683,2o | 4677,1o | 62,o | 2913,4o | 38,o | 759o,5o |

## Zaključak

1. Pregledi pluća zauzimaju 58,61% od svih rendgen dijagnostičkih postupaka u zdravstvenim ustanovama SFRJ.

2. Pri rendgenskim pregledima pluća u 62% slučajeva primjenjuje se dijaskopija pluća.

3. Dijaskopija pluća se najčešće primjenjuje u zdravstvenim stanicama, a rjede domovima zdravlja i medicinskim centrima.

4. Nije utvrđena značajna razlika u izboru metode pri rendgenskom pregledu pluća između muškaraca i žena.

5. Kod pacijenata starih do 1o godina podjednako se kod pregleda pluća primjenjuje dijaskopija i grafija, a kod starijih je češća primjena dijaskopije.

## Bibliografija

1. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 13th Session /1958/. Official Records suppl. No 17 /A/3838/, New York;

2. Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation /1965/, WHO, Technical Report Series No. 3o6, Geneva;

3. Spiers, F.W., /1962/, Amer. Journal of Public Health, 52 :1377-1384:

4. Petrovčić F., Margreitner, V., /196o/, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 11 :34-52;

5. Jokić J., Marjanac A., /197o/, Procjena obima korištenja rendgen-dijagnostičkih postupaka u zdravstvenim ustanovama SFRJ. Materijali V Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, No 6/O8, Bled;

6. Bllatz H., /1962/, Amer. Journal of Public Health, 52 :1385-139o.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25. do 28. April 1972.

Jokić J., Marjanac A., Simić B.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo
Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo

# KORIŠTENJE RENDGEN-DIJAGNOSTIČKE DOKUMENTACIJE KOD BOLESNIKA SA HRONIČNIM BOLESTIMA

U bolnici je anketirano 65 bolesnika oboljelih od hroničnih bolesti i 9 pacijenata sa povredama ekstremiteta. Cilj ankete bio je da se dozna broj rendgen dijagnostičkih pregleda u bolnici, broj rendgenskih pretraga zbog iste bolesti prije dolaska u bolnicu i broj pacijenata koji su pri dolasku u bolnicu donijeli makar jedan prethodni rendgenski snimak.

## Uvod

Rendgenska dijagnostika je veoma proširena i neophodna u savremenoj medicini, ali je ona istovremeno i glavni izvor ozračivanja stanovništva u mirnodopskim uslovima. Stoga se smatra da treba od rendgenske dijagnostike izvući maksimalnu korist uz što manji rizik po pacijenta /1/.

Prvi i najvažniji princip u smanjenju ozračivanja pacijenta i stanovništva je da se rendgen-dijagnostičkom pregledu podvrgavaju samo medicinski indicirani slučajevi i da se izbjegava nepotrebno ponavljanje istih rendgen-dijagnostičkih pregleda.

Iz naše stručne literature nisu nam poznata istraživanja o opravdanosti vršenja i ponavljanja pojedinih rendgen-dijagnostičkih pregleda. U SSSR-u je Teličko /2/ izvršio analizu 14.497 rendgen-dijagnostičkih pregleda i utvrdio da kod 77,5% slučajeva nije postojala opravdanost takvih pregleda.

Da bi se izbjeglo često i nepotrebno ozračivanje stanovnika, u mnogim zemljama je obavezna registracija svih medicinskih aplikacija jonizujućeg zračenja pacijentima. U čl. 13 Pravilnika o korištenju rendgen aparata i o mjerama zaštite od rend-

genskih zraka /Sl. list SFRJ, br. 36/65/, zahtijeva se da ljekari koji vrše pregleđe ili liječe rendgen-aparatima moraju u zdravstvenu knjižicu osiguranih lica ubilježiti vrstu izvršenog pregleda i datum pregleda, odnosno vrijeme u kojem je trajalo liječenje. Očigledna je svrha ovog zakonskog propisa da se uvidom u prethodna ozračivanja, rigoroznije postupa prilikom upućivanja na rendgen-dijagnostički pregled bilo na zahtjev pacijenta, bilo pri postavljanju indikacije od strane ljekara.

Pored zahtjeva za strožije postavljanje indikacija za rendgen dijagnostički pregled, eksperti SZO preporučuju korištenje prethodne dokumentacije kako bi se izbjeglo nepotrebno ponavljanje pregleda.

Cilj ovog saopštenja je da prikaže učestalost rendgen-dijagnostičkih pregleda i korištenje prethodne dokumentacije u jednoj bolnici.

## Metod rada

Anketirani su bolesnici internog, urološkog, hirurškog i ortopedskog odjeljenja bolnice u Sarajevu. Anketa je sadržavala pitanja o broju rendgen-dijagnostičkih pregleda u bolnici, broju prethodnih pregleda radi iste bolesti izvršenih prije dolaska u bolnicu i podatak o tome da li je pacijent pri dolasku u bolnicu donio rendgenske snimke.

Podaci iz ankete svrstani su po grupama oboljenja i izračunavan je prosječan broj rendgen dijagnostičkih pregleda, po jednom bolesniku, izvršenih u bolnici i van bolnice.

## Rezultati i diskusija

Anketirano je 65 bolesnika, muškaraca starijih od 4o godina oboljelih od hroničnih bolesti i 9 pacijenata iste starosti i spola sa povredama ekstremiteta /Tab.1/.

Najveći prosječan broj rendgen-dijagnostičkih pretraga u bolnici učinjen je kod pacijenata sa oboljenjem jetre i žučnih puteva /4,6/, zatim bolesti endokrinog sistema /4,5/, oboljenja kostiju i zglobova /4,3/ i oboljenja želuca /4,1/.

Najveći prosjek rendgen-dijagnostičkih pregleda izvršenih prije dolaska u bolnicu utvrđen je kod pacijenata sa oboljenjem urinarnog sistema /7,9/ i oboljenja že -

TAB. 1.

Prosječan broj rendgen dijagnostičkih pregleda u bolnici, prije dolaska u bolnicu i korištenje prethodne rendgen dokumentacije kod pacijenata sa kroničnim oboljenjima.

| Redni broj | Grupa oboljenja | Broj anketiranih bolesnika | Ukupan broj rtg. pregleda u bolnici | Prosječan broj rendgen pregleda po jednom bolesniku | Ukupan broj pregleda prije dolaska u bolnicu | Prosječan broj rtg. pregleda prije dolaska u bolnicu | Broj bolesnika koji su donijeli rendgen snimke pri dolasku u bolnicu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | da | | ne | |
| | | | | | | | Broj | % | Broj | % |
| 1. | Bolesti disajnih organa izuzev tbc.pluća | 8 | 29 | 3,6 | 42 | 5,2 | 2 | 25 | 6 | 75 |
| 2. | Bolesti urinarnog sistema | 25 | 96 | 3,8 | 198 | 7,9 | 8 | 32 | 17 | 68 |
| 3. | Bolesti srca i krvnih sudova | 12 | 33 | 2,7 | 34 | 2,8 | 1 | 8,3 | 11 | 91,7 |
| 4. | Bolesti jetre i žučnih puteva | 5 | 23 | 4,6 | 26 | 5,2 | 2 | 4o | 3 | 6o |
| 5. | Hronična oboljenja kostiju i zglobova | 3 | 13 | 4,3 | 15 | 5,o | 2 | 66 | 1 | 34 |
| 6. | Bolesti endokrinog sistema | 2 | 9 | 4,5 | 5 | 2,5 | - | - | 2 | loo,o |
| 7. | Bolesti želuca i duodenuma | 9 | 37 | 4,1 | 69 | 7,7 | 3 | 33 | 6 | 67 |
| 8. | Bolesti krvi i krvotvornih organa | 1 | 3 | 3,o | 4 | 4,o | - | - | 1 | loo,o |
| 9. | Povrede ekstremiteta | 9 | 3o | 3,3 | 6 | o,6 | 6 | 67 | 3 | 33 |
| | Ukupno: | 74 | 273 | 3,7 | 4ol | 5,4 | 24 | 32,3 | 5o | 67,7 |

luca /7,7/.

Od ukupno 74 anketirana pacijenta 24, odnosno 32,3% ih je pri dolasku u bolnicu donijelo makar jedan prethodni rendgenski snimak, dok 67,7% nije donijelo nikakvu prethodnu dokumentaciju, iako se uglavnom radilo o hroničnim bolesnicima. Među anketiranim bolesnicima koji su pri dolasku u bolnicu sobom donijeli rendgen snimke najveći procenat /67,o%/ bio je kod pacijenata sa povredama ekstremiteta, zatim oboljenja želuca /33,o%/ i oboljenja urinarnog trakta /32,o%/.

Iz dobivenih rezultata ispitivanja proizlazi da je nedovoljno organizovano kolanje i korištenje postojeće rendgen-dijagnostičke dokumentacije kod hroničnih bolesnika, naročito kod pacijenata sa hroničnim oboljenjima disajnih organa, urinarnog sistema i oboljenja želuca. Smatramo, da je broj rendgen dijagnostičkih pregleda u ovoj bolnici bio neophodan u toku dijagnostike i liječenja, ali se ne može odbaciti predpostavka, da bi broj tih pregleda bio manji ukoliko bi uz pacijenta bila na raspolaganju i prethodna dokumentacija rendgen-dijagnostičkih pregleda.

Praktično bi bilo vrlo teško, skoro neizvodljivo, da pacijent prije dolaska u bolnicu sam prikupi ranije rendgenske snimke iz raznih ustanova, gdje je prethodno pregledavan, To bi u sadašnjoj situaciji bilo neizvodljivo i ordinirajućem ljekaru koji ga upućuje u bolnicu. Ukoliko bi se uvelo obavezno registrovanje vrste i datuma svakog rendgen-dijagnostičkog pregleda u zdravstvenu knjižicu pacijenta, kao i ustanove koja je izvršila pregled, bolnički ljekar mogao bi na osnovu tih podataka zatražiti od odgovarajućih ustanova dostavljanje neophodne dokumentacije. Međutim, praktično i taj bi put bio skopčan sa nizom administrativno-tehničkih poteškoća. Stoga, smatramo, da bi svaki dokumenat uključivo i rendgen snimak trebao da se čuva na jednom mjestu, tj. kod ordinirajućeg ljekara koji bi upućivanjem pacijenta u bolnicu dostavljao i svu raniju medicinsku dokumentaciju.

Ovakva organizacija pilotiranja pacijenata ističe i prednosti radiografije nad dijaskopijom, jer radiografija ostavlja trajnu dokumentaciju, a istovremeno daje znatno manje radijacionu dozu pacijentu nego dijaskopija.

## Zaključak

1. Najčešći rendgen-dijagnostički pregledi u bolnici učinjeni su kod pacijenata sa

oboljenjem jetre i žučnih puteva, zatim bolesti endokrinog sistema, oboljenja kostiju i zglobova i oboljenja želuca.

2. Najveći prosjek rendgen-dijagnostičkih pregleda prije dolaska u bolnicu utvrđen je kod pacijenata sa oboljenjem urinarnog sistema i oboljenja želuca.

3. Od ukupno 74 anketirana bolesnika 32,3% ih je pri dolasku u bolnicu donijelo makar jedan od prethodnih rendgenskih snimaka.

Bibliografija

1. WHO /1964/, Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation. Fifth Report of the WHO expert Committee on Radiation. Technical Report series, No 306, Geneva.

2. Teličko, F.F., /1964/, Voenomed. žurnal, 11 :74-76.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25. do 28. April 1972.

Jokić J., Marjanac A., Simić B.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo
Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo

# PROSJEČNO TRAJANJE DIJASKOPIJA GASTRODUODENUMA MJERENO U NEKIM RENDGEN KABINETIMA

Vršeno je mjerenje trajanja dijaskopije želuca kod 7o pacijenata pregledanih od 6 radiologa. Pregledi su vršeni na rendgen aparatima s elektronskim pojačivaćem slike i TV ekranom, kao i na standardnim aparatima. Izračunavano je trajanje jednog pregleda kod svakog radiologa.

## Uvod

U toku posljednjih nekoliko godina postoji veliko interesovanje za mjere radijacionih doza koju pacijent primi za vrijeme rendgenskog pregleda.

Ispitivanja su pokazala da primljena doza pacijenta znatno varira, zavisno od organa koji se ispituje, metoda pregleda /1/, upotrebljene kilovoltaže i filtracije snopa /2, 3/, širine ozračenog polja /4, 5/, umješnosti lica koje vrši pregled, anatomskih osobina pacijenta, prirode patološkog nalaza i komplikovanosti ovoljenja.

Komitet eksperata za radijaciju SZO /6/ sumirao je iskustva istraživača o uticaju brojnih faktora na veličinu primljene doze pacijenta i preporučio niz adekvatnih mjera za smanjenje ozračivanja pacijenata. Posebno je istaknuto da se pri dijaskopijama apliciraju znatno veće doze nego pri grafijama, između ostalog i radi toga, što pri skopijama dolazi do izražaja umješnosti pregledavača koja se naročito očituje u dužini pregleda. Isti zaključak je potvrđen i na evropskom seminaru o javno-zdravstvenim aspektima medicinske upotrebe jonizujućeg zračenja /7/.

Kao tehnička mjera za skraćenje vremena pregleda preporučuje se među ostalim i upotreba visoko osjetljivih fluorescentnih ekrana i elektronskih pojačala. Međutim, napominje se da i u tim slučajevima manje vješt pregledavač može utrošiti više vremena za pregled, te na taj način umanjiti prednosti ovih tehničkih poboljšanja /6/.

Adrian komitet /1/ je u studiji o primljenim dozama pacijenata iz dijagnostičke radiologije utvrdio široke varijacije doza koju su primili pacijenti kod istog tipa pregleda. Tako npr. kožna doza kod 2o6 odraslih muškaraca pri dijaskopiji želuca kretala se od 2 do preko 1oo r. Objašnjenje za ove varijacije mogu se pored subjektivnog faktora pregledavača djelomično objasniti i činjenicom da među pacijentima postoje razlike u stadiju bolesti, što za sobom povlači različitu dužinu trajanja pregleda, broj snimaka i u konačnom rezultatu i veličinu primljene doze.

Osborn /4/ je mjerio trajanje dijaskopije želuca kod 3o pacijenata koje su pregledavali 6 radiologa u istoj bolnici i našao da čak i u tako maloj seriji postoje znatne razlike u dužini trajanja pregleda. Slično ispitivanje vršio je i Bernstein /8/.

Cilj ovog saopštenja je da prikaže varijacije u dužini trajanja dijaskopije gastroduodenuma koje su vršili radiolozi na različitim rendgen aparatima.

## Metod rada

U 5 rendgenoloških kabineta vršeno je, mjerenje trajanja dijaskopskog pregleda gastroduodenuma kod odraslih muškaraca starosti 3o-4o godina. Pri mjerenju je štoperica uključivana istovremeno sa uključivanjem rendgen aparata ili pojavljivanja slike na ekranu, a isključivana sa isključenjem aparata, odnosno nestanka slike. Kod pacijenata koji su pregledavani u nekoliko pozicija mjereno je trajanje pregleda u svakoj poziciji i čitav pregled predstavlja zbir trajanja pregleda svih pozicija.

Mjerenja su vršena na 3 rendgen aparata sa elektronskim pojačivačem i TV ekranom i na dva "Grafoskopa" standardne izrade.

Rezultati i diskusija

Mjerenje trajanja dijaskopije gastroduodenuma na rendgen aparatu sa elektronskim pojačivačem slike i TV ekranom vršeno je kod 32 pacijenta od strane 5 radiologa /Tab. 1/.

Prosječno trajanje pregleda kod radiologa A iznosilo je 92 sekunde. Najkraće vrijeme bilo je 65, a najduže 135 sekundi. Kod radiologa B prosječno trajanje jednog pregleda iznosilo je 77 sekundi, najkraće 35, a najduže 125 sekundi. Kod radiologa C prosjek jednog pregleda iznosio je 246 sekundi, najkraće 125, a najduže 415 sekundi. Kod radiologa D prosječno vrijeme jednog pregleda iznosilo je 74 sekundi - najkraće 5o, a najduže 9o sekundi /Grafikon 1/.

Na Tab. 2 prikazano je trajanje dijaskopija gastroduodenuma kod 38 pacijenata vršenih na konvencionalnom rendgen aparatu od strane 2 radiologa. Prosječno trajanje pregleda kod radiologa E iznosilo je 86 sekundi - najkraće 35, a najduže 3oo sekundi. Kod radiologa F prosjek jednog pregleda iznosio je 86 sekundi-najkraće 6o, a najduže 185 sekundi.

Dobiveni rezultati pokazuju da je prosječno vrijeme trajanja pregleda gastroduodenuma bilo znatno kraće nego što su utvrdili drugi istraživači. Tako je Osborn /4/ mjereći vrijeme dijaskopije gastroduodenuma na 3o pacijenata, koja su vršili 6 radiologa iste bolnice, utvrdio da je srednje vrijeme trajanja jednog pregleda variralo od 3 minute i 5 sekundi do 1o minuta i 25 sekundi. Najkraće vrijeme jednog pregleda bilo je 2 minute i 3o sekundi, a najduže 18 minuta. Bernstein /8/ je kod istog tipa pregleda na 4o pacijenata našao da je prosječno trajanje jednog pregleda iznosilo 4 minute, a najduže lo minuta. Prema Petrovčiću /9/, na osnovu sopstvenog mjerenja i rezultata drugih autora, prosječno trajanje takvog pregleda iznosi 6 minuta.

Naša ispitivanja ne pokazuju znatne razlike u trajanju dijaskopije želuca kod pet radiologa, osim kod jednog gdje se prosječno vrijeme približava vremenu koje su utvrdili spomenuti autori.

Također, nisu utvrđene razlike u dužini dijaskopija vršenih na konvencionalnim rendgen-aparatima i aparatima sa pojačivačem slike i TV ekranom.

Iz rezultata i dopunskih podataka ovog ispitivanja, proizlazi, da većina naših radiologa brzo obavlja dijaskopske preglede, a za posmatranje detalja koriste re-

TAB. 1.

Dužina trajanja dijaskopije gastroduodenuma na rendgen-aparatu sa elektronskim pojačivačem slike i TV ekranom.

| Radiolog A | | Radiolog B | | Radiolog C | | Radiolog D | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi | Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi | Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi | Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi |
| 1 | 75 | 1 | 65 | 1 | 415 | 1 | 6o |
| 2 | 1oo | 2 | 9o | 2 | 2oo | 2 | 5o |
| 3 | 85 | 3 | 45 | 3 | 125 | 3 | 5o |
| 4 | 9o | 4 | 7o | | | 4 | 9o |
| 5 | 75 | 5 | 35 | | | 5 | 8o |
| 6 | 85 | 6 | 7o | | | 6 | 9o |
| 7 | 65 | 7 | 65 | | | 7 | 75 |
| 8 | 13o | 8 | 125 | | | 8 | 8o |
| 9 | 125 | 9 | 9o | | | 9 | 9o |
| | | 1o | 7o | | | | |
| | | 11 | 125 | | | | |

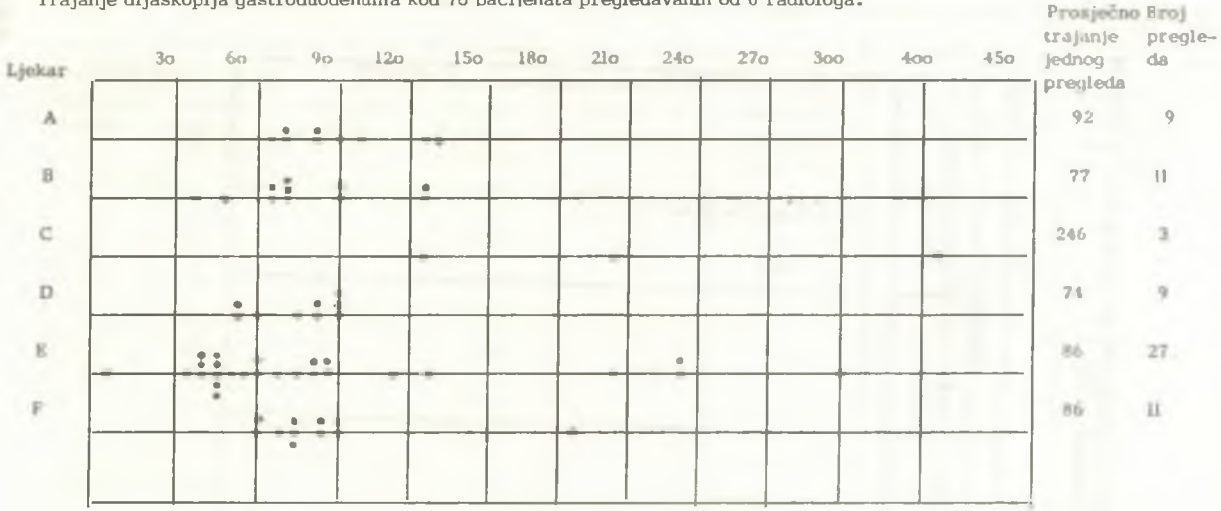
TAB. 3.

Dužina trajanja dijaskopije gastroduodenuma na rendgen-aparatu "Grafoskop" konvencionalne izrade.

| Radiolog E | | Radiolog F | |
|---|---|---|---|
| Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi | Redni broj pacijenta | Trajanje pregleda u sekundi |
| 1 | 8o | 1 | 75 |
| 2 | 11o | 2 | 7o |
| 3 | 4o | 3 | 9o |
| 4 | 235 | 4 | 75 |
| 5 | 35 | 5 | 6o |
| 6 | 235 | 6 | 6o |
| 7 | 125 | 7 | 85 |
| 8 | 65 | 8 | 185 |
| 9 | 25 | 9 | 85 |
| 1o | 45 | 1o | 75 |
| 11 | 5o | 11 | 9o |
| 12 | 75 | | |
| 13 | 45 | | |
| 14 | 45 | | |
| 15 | 75 | | |
| 16 | 7o | | |
| 17 | 6o | | |
| 18 | 2oo | | |
| 19 | 45 | | |
| 2o | 4o | | |
| 21 | 3oo | | |
| 22 | 4o | | |
| 23 | 45 | | |
| 24 | 45 | | |
| 25 | 55 | | |
| 26 | 6o | | |
| 27 | 8o | | |

GRAFIKON 1.

Trajanje dijaskopija gastroduodenuma kod 7o pacijenata pregledavanih od 6 radiologa.



ndgen-snimke. Ovakav metod rada sa stanovišta zaštite pacijenata i radiologa smatramo veoma dobrim i preporučljivim.

## Zaključak

1. Prosječno trajanje dijaskopije gastroduodenuma mjerenih kod 7o pacijenata, a koje su vršili 6 radiologa, varirało je od 86 do 246 sekundi.

2. Nije utvrđeno znatnije odstupanje u dužini trajanja jednog pregleda pri dijaskopiji gastroduodenuma na konvencionalnim rendgen-aparatima i aparatima sa pojačivačem slike i TV ekranom.

## Bibliografija


1. Ministry of Health /196o/, Radiological Hazards to Patients - Second Report of the Committe /H.M.S.O., London/;
2. Epp, E.R. and all. /1963/, The British Journal of Radiology, 36 : 247-265;
3. Ardran, G.M., and Crooks, H.E. /1962/. The British Journal of Radiology, 35: 172-181;
4. Osborn, S.B. /1963/, The British Journal of Radiology, 36 : 23o-234;
5. Beeckman, Z.M., /1962/, Genetical Signification dose from diagnostic roentgenology N.V. Drukerij, V/4, Betljee and Ferporta-Leiden;
6. La sante' publique et l' emploi des rayonnements ionisants en medicine. Cinquieme rapport du Comite OMS d' experts des Radiations /1965/, Organisation mondiale de la sante, Geneva, Serie de rapports techniques No 3o6;
7. World Health Organization /1966/, European Seminar on Public Health Aspects of the medical Uses of Jonising Radiation, Regional Office for Europa, Copenhagen;
8. Bernstein, B.A. i sar. /1964/, Voenomed. žurnal, 11 :72-74;
9. Petrovčić, F., /1959/, Higijena, 11 :45-53.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25, do 28. April 1972.

Jokić J., Marjanac A., Šimić B.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo
Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo

# IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU KAO POSLJEDICA ADMINISTRATIVNIH ZAHTJEVA

Pored indikacija za izlaganje jonizujućem zračenju koje proističu iz dijagnostičkih i terapeutskih potreba, određene grupe stanovništva se izlažu zračenju i na osnovu odredaba pozitivnih zakonskih propisa u cilju suzbijanja i sprečavanja širenja određenih bolesti.

U jednoj gradskoj opštini prikupljeni su podaci o broju lica koja su tokom jedne godine bila podvrgnuta rentgenskim pregledima iz pomenutih administrativnih razloga.

Dobiveni rezultati su diskutovani u svjetlu savremenih shvatanja o ograničavanju ekstenzivnog ozračivanja stanovništva.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

M.Jeremić, Š. Ignjatović i D. Panov

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

# PROCENA OPASNOSTI OD STETNOG DEJSTVA X ZRAČENJA TV PRIJEMNIKA U BOJI

## Rezime

Autori rasmatraju veličinu rizika po zdravlje ljudi usled jonizujućih zračenja pri proizvodnji i primeni TV prijemnika u boji.

U saopštenju je dat aspekt zaštite gledalaca a isto tako i lica koja rade na proizvodnji TV prijemnika u boji.

Predlaže se da se zakonskim propisima utvrde MDD zračenja za TV prijemnike u boji i njihova dozimetrijska kontrola pre puštanja u prodaju i posle ventualnih opravki na elektronskim cevima.

## Uvod

Tokom poslednjih godina upotreba TV prijemnika u boji u mnogim zemljama, a u poslednje vreme i u našoj zemlji, postaje sve značajnija. Ovi TV prijemnici, za razliku od klasičnih, snabdeveni su elektronskim cevima koje rade pod naponom od 25 do 3o kV, a pri fabrikaciji i montaži pod naponom i do 45 kV (1) i kao takve pretstavljaju generatore X zračenja niskih energija.

Zbog moguće buduće masovne proizvodnje TV prijemnika u boji u našim tvornicama, kao i zbog naglog porasta broja gledalaca TV programa u boji, pred službu radiološke zaštite postavio se problem procene opasnosti od dejstva ovog "parazitnog" X zračenja na široku populaciju, kao i problem procene opasnosti od primanja većih doza X zračenja od strane ovih gledalaca čiji TV prijemnici rade pod nenormalnim uslovima. Sa

druge strane, postavlja se problem zaštite i kontrole lica koja rade na proizvodnji, kontroli i opravci TV prijemnika u boji.

Medjunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) u svojim Preporukama od 1959. godine odredila je maksimalno dopustive doze zračenja za TV prijemnike (2). Prema normama ICRP doza X zračenja za TV prijemnike na rastojanju od 5 cm. od bilo koje njegove površine ne sme da bude veća od o,5 milirendgena na čas, što je ekvivalentno vazdušnoj dozi od 435 milirada/h. U većini zemalja koje imaju televiziju u boji postoje odredjeni zakonski propisi koji su uskladjeni sa Preporukama ICRP i koji se veoma rigorozno sprovode. Medju ovim zemljama, nažalost, još uvek se nalazi naša zemlja.

Budući da mi za sada ne raspolažemo sopstvenim iskustvima na ovom polju, pri proceni opasnosti od štetnog dejstva parazitnog X zračenja koristili smo se našim teorijskim izračunavanjima, kao i rezultatima merenja koja su vršena u nekim zapadnoevropskim zemljama, imajući u vidu činjenicu da i veoma male doze zračenja, ako ih prima šira populacija, sa genetskog stanovišta nisu beznačajne. Prema normama ICRP dopustiva "genetska doza" za populaciju u celini iznosi 5 rem-a za 3o godina ili 17o milirem-a godišnje.

Merenja koja su izvršili engleski autori (3) pokazala su da doza izmerena na 5 cm. od ekrana (pri naponu od 27 kV i jačini struje od 1 mA) iznosi 4o mikrorendgena na čas. Ekspoziciona doza na rastojanju od 25o cm.iznosi 1/5o doze primljene na 5 cm. tj. o,8 uR/h. Iako gonadna doza zavisi od pola i položaja tela pri gledanju TV programa i može varirati u velikim granicama, procenjeno je da ona iznosi 1o% od ekspozicione doze u toj tački. Ako se pretpostavi da jedan TV gledalac provede pored ekrana 1ooo časova u toku godine dana, na prosečnom rastojanju od 25o cm. od ekrana akumulisana gonadna doza neće biti veća od 7o mikrorada godišnje. Ako bi ekspoziciona doza bila o,5 mR/h na 5 cm. od TV prijemnika, koliko iznosi maksimalno dopustiva doza prema normama ICRP, gonadna doza pod gore navedenim uslovima iznosila bi 1o milirad godišnej, što predstavlja 1/1o deo doze koju

čovek primi od osnovnog zračenja. Pod pretpostavkom da konstrukcije TV prijemnika u našoj zemlji odgovara standardima koji postoje u drugim zemljama, nema osnova za verovanje da bi X zračenje ovih TV prijemnika moglo doprineti bilo kakvom signifikantnom povećanju gonadnih doza na nivou populacije.

Medjutim, ako TV prijemnici rade pod nenormalnim uslovima, usled loše podešene voltaže ili neispravnih elektronskih cevi (shunt regulator, visokovoltažna ispravljačka cev) ili katodne cevi bez adekvatne zašite, doze X zračenja mogu biti znatno veće od onih koje su dozvoljene normama ICRP. U SAD povučeno je 1967. godine 110.000 TV prijemnika u boji zbog emisije nepoželjnog X zračenja koje je, često, znatno prevazilazilo dopustive norme (4). S. Becker (5) navodi rezultate merenja koja su obavljena na 6.482 TV prijemnika u boji u stanovima vlasnika televizora. Prema ovim podacima doze zračenja u više od 1.000 slučajeva (16,2%) iznosile su više od 0,5 mR/h do 150 mR/h na rastojanju od 5 cm. od TV prijemnika. Izmerene doze, kao što se vidi, i do trista puta prevazilazile su maksimalno dopustive doze predvidjene normama ICRP.

Sa stanovišta profesionalne ekspozicije, posebno je potrebno voditi računa o licima koja rade na proizvodnji elektronskih cevi i na montiranju, reglaži, koontroli i opravci TV prijemnika. U toku rada na ovim poslovima pojedine elektronske cevi mogu raditi pod znatno većim naponom od rada pod normalnim uslovima a samim tim i doze zračenja koje mogu primiti ova lica mogu biti nezanemarljive. Ovo tim pre što takva lica često rade pod uslovima neodgovarajuće tehničke zaštite i u prisustvu većeg broja elektronskih cevi koje istovremeno rade pod visokim naponom.

Zbog potencijalne mogućnosti emisije X zračenja većih od dopustivih prema normama ICRP, od strane pojedinih TV prijemnika, kao i mogućnosti ozračenja onih lica koja u toku svoje profesionalne delatnosti mogu biti izložena parazitnom X zračenju, a obzirom da u našem zakonodavstvu ne postoje propisi koji bliže regulišu pitanja zaštite u ovoj oblasti, smatramo da bi bilo neophodno:

- zakonskim propisima odrediti maksimalno dopustive doze zračenja TV prijemnika u boji i ove propise uskladiti sa Preporukama Medjunarodne komisije za radiološku zaštitu;

- podvrgnuti medicinskoj kontroli, u odredjenim vremenskim intervalima, ona lica koja rade na radnim mestima na kojima postoji mogućnost ozračivanja, na osnovu zakonskih propisa koji važe za lica koja rade u zoni jonizujućih zračenja;

- obezbediti odgovarajuću tehničku zaštitu na radnim mestima na kojima može doci do ozračivanja zaposlenih radnika i

- vršiti dozimetrijsku kontrolu TV prijemnika u boji pre puštanja u prodajnu mrežu i posle eventualnih opravki na elektronskim cevima.

## ESTIMATION ON THE HAZARD EFFECTS OF X RAY RADIATION AT COLOR TELEVISORS

M. Jeremić, S. Ignjatović i D. Panov

Institute of Occupational and Radiological Health - Beograd

Summary

The authors have discussed the risk degree to people health resulting from the ionising radiations involved in the production and in the use of the color-televisors.

In the paper there are discussed the aspects on the protection both in the television viewers and in the persons engaged in the production of color-televisors.

A suggestion is made on the estabishment of National Regulations relative to the level of maximum permissible doses for the color-televisors as well as on their dosimetric control before they are put on sale or after possibly repairment of electronic tubes.

Bibliografia

1. Berthaud M. et Penotet M.:
Proceedings: Radiological Protection problems Associated with Parasitic X-Ray Emission from electronic products p 213, CID, Luxemburg (1971) EUR 464o d-f-e.

2. Recomandations of the International Commission on Radiological Protection: Report of Committee 3. ICRP Publication 3, p 14, Pergamon Press (196o)

3. O'Riordan M.C. and Casbolt P.N.:
Proceedings: Radiological Protection Problems Associated with Parasitic X-Ray Emission from electronic products, p. 297, CID, Luxemburg (1971) EUR 464o d-f-e

4. Technical services branch, national center for radiological health
Radiological Health Data and Reports, 9:531-538 Florida (1968)

5. Becker S.
Radiol. Health Data Rep. 11:179-182 New York (197o)

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25. do 28. April 1972.

Marjanac A., Jokić J., Simić B.

Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo
Institut za higijenu i socijalnu medicinu , - Sarajevo

# GODIŠNJA FREKVENCIJA RENDGEN-DIJAGNOSTIČKIH PREGLEDA U JEDNOJ GARNIZONSKOJ AMBULANTI

Izvršena je procjena godišnje frekvencije i vrsta rendgen dijagnostičkih pregleda u jednoj garnizonskoj ambulanti obavljenih tokom 197o. godine. Dobiveni rezultati su diskutovani u odnosu na broj pregleda po vojniku i međusobni procentualni odnos pojedine vrste u ukupnoj sumi pregleda.

## Uvod

Podaci o broju rendgen dijagnostičkih pregleda, kao i njihova distribucija u odnosu na starost i spol pregledanih pacijenata, mogu se ustanoviti pomoću prospektivne i retrospektivne metode. U prvom slučaju registruju se svi pregledi u određenom periodu vremena, a drugom metodom prikupe se podaci o izloženosti pojedinaca iz postojeće registracije u zdravstvenim ustanovama /zdravstveni karton, protokol i slično/.

U dosadašnjim procjenama broja i strukture rendgen dijagnostičkih postupaka koja su vršena u našoj zemlji, Petrovčić /1/ je koristio za procjenu broja pregleda u Hrvatskoj obje metode, a Jokić i Marjanac /2/ su koristili prospektivnu metodu. Međutim, u oba spomenuta ispitivanja nisu obuhvaćeni rendgen dijagnostički pregledi u sanitetskim ustanovama.

Cilj ovog saopštenja je da utvrdi frekvenciju i strukturu rendgen dijagnostičkih postupaka u jednoj garnizonskoj ambulanti.

## Metod rada

Iz protokola garnizonske ambulante prikupljeni su podaci o broju i vrsti rendgen dijagnostičkih postupaka koji su izvršeni kod vojnika u toku 197o g. Frekvencija pojedinih vrsta pregleda je preračunavana na ukupan broj vojnika u garnizonu, a međusobni odnos učestalosti pojedinih vrsta pregleda u odnosu na ukupan broj pregleda.

## Rezultati i diskusija

U Tab. 1 prikazan je broj i vrsta rendgen-dijagnostičkih pregleda /izuzev fluorografije/.

TAB. 1.

Godišnja frekvencija i struktura rendgen-dijagnostičkih pregleda u jednoj garnizonskoj ambulanti 197o godine.

| Rendgen dijagnostički pregled | % od ukupnog broja pregleda | % od ukupnog broja vojnika |
|---|---|---|
| 1. Pluća | 47,8 | 22,8 |
| 2. Kičma | 1,9 | o,9 |
| 3. Želudac i duodenum | 9,1 | 4,3 |
| 4. Glava | lo,8 | 5,2 |
| 5. Ekstremiteti | 29,7 | 14,2 |
| 6. Urogenitalni organi | o,7 | o,3 |
| | loo,o | 47,8 |

Iz tabele se vidi da je skoro svaki drugi vojnik, isključujući obaveznu fluorografiju, bio podvrgnut, u toku godine, nekom od rendgen-dijagnostičkih postupaka. U pogledu učestalosti pregleda na prvom mjestu dolaze pregledi pluća, a zatim pregledi ekstremiteta.

Rezultati se odnose na zdravstveno selekcioniranu mušku populaciju starosti između 2o i 23 godine.

Jokić i Marjanac /2/ su utvrdili da je 1967 godine u SFRJ, 79% muškaraca dobne skupine 2o-24 godine bilo podvrgnuto nekom rendgen-dijagnostičkom pregledu, a Jokić /3/ je u Sarajevu utvrdio da se muškarci od 2o-24 godine podvrgavaju toj vrsti pregleda prosječno dva puta godišnje.

Utvrđena razlika u broju rendgen pregleda između vojnika garnizona i ostalog stanovništva u grupi muškaraca iste dobne skupine može se objasniti s jedne strane da su vojnici selekcionirani, tj. zdravi, a s druge strane je moguće da su indikacije za rendgen dijagnostičke preglede u sanitetskim ustanovama strožije nego u zdravstvenim.

Uporedujući učešće pojedine vrste pregleda u općoj sumi pregleda kod vojnika i stanovništva /3/ istog spola i uzrasta, uočava se da su kod vojnika znatno češći pregledi ekstremiteta i glave /29,7% i 1o,8%/, nego u građanstvu /2,o% i 1,5%/, a kod građanstva znatno češći pregledi pluća /93%/ nego kod vojnika /47,8%/.

U Tab. 1 nisu prikazani obavezni fluorografski pregledi vojnika. Kad se pregledima iz Tab. 1 dodaju i obavezni fluorografski pregledi vojnika onda dolazimo do rezultata da je procenat pregledanih vojnika u 197o godini iznosio 158%, tj. da na jednog vojnika dolazi 1,5 rendgen-dijagnostičkih pretraga godišnje, a daleko najveći procenat pregleda otpada na preglede pluća /84%/.

## Zaključak

1. Na jednog vojnika u garnizonu dolazi u prosjeku 1,5 rendgen-dijagnostičkih pregleda godišnje, uključujući obaveznu fluorografiju.

2. Najmasovniji rendgen-dijagnostički postupak je pregled pluća /84%/, a zatim pregled ekstremiteta /8,9%/.

## Literatura

1. Petrovčić F., Margaitner K., /196o/, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 11:34-52;
2. Jokić J., Marjanac A., /197o/, Procjena obima korištenja rendgen-dijagnostičkih postupaka u zdravstvenim ustanovama SFRJ, Materijali V simpozija Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, No 6/o8;

3. Jokić J., /1968/, Primljene gonadne doze iz dijagnostičke upotrebe rendgen aparata. Habilitacioni rad, Medicinski fakultet, Sarajevo.

VI SIMPOZIJ JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA,
OHRID 25. do 28. April 1972.

Simić B., Jokić J., Marjanac A.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo
Higijensko-epidemiološki odred - Sarajevo

# PROCJENA VAZDUŠNIH DOZA NA POVRŠINI KOŽE NA OSNOVU POTROŠNJE RENDGEN F LMOVA

U domu zdravlja, koji opslužuje stanovništvo jedne gradske opštine, evidentiran je broj utrošenih rendgen filmova i broj snimaka pojedinih dijelova tijela. Na osnovu ovih podataka i izmjerenih vazdušnih doza na površini kože, dat je prosječan broj snimaka, vazdušne doze na površini kože, njihov doprinos u ozračavanju stanovništva, sve obračunato po stanovniku navedenog područja.

## Uvod

Posljednjih godina postoji veoma intenzivan naučni i praktični interes u problemu procjene veličine primljenih radijacionih doza koju primi stanovništvo iz dijagnostičke upotrebe rendgen aparata, a s tim u vezi i mogućih somatskih i genetskih efekata kod stanovništva.

Studijska grupa ICRP /1/ je na osnovu iskustava 14 zemalja, koje su te procjene vršili, izradila analizu korišćenih metoda. Prema pomenutim iskustvima, informacije o veličini radijacione doze koju primi stanovništvo iz dijagnostičke rendgenologije moglo bi se dobiti registrovanjem i mjerenjem doze kod svih radioloških pregleda stanovništva, registracijom primljene doze kod posebnih pacijenata, zatim upotrebom uzorka stanovništva ili zdravstvenih ustanova. Prema mišljenju ove grupe, prvi način je skup, zahtijeva mnogo kadrova, opreme i vremena, a drugi način bi obuhvatio relativno mali selekcionirani segment stanovništva. Oni smatraju da je najpogodnija metoda procjene pomoću reprezentativnog uzorka zdravstvenih ustanova i rendgenskih aparata, kao što je primjenjena u Engleskoj, Danskoj, Švedskoj, itd. /2,3,4,5/.

Pomenuta grupa ICRP predlaže da se u zemljama gdje medicinska upotreba jonizujućeg zračenja nije mnogo proširena i gdje se ne vodi evidencija o broju i vrsti rendgen-dijagnostičkih postupaka nad stanovništvom, kao prva informacija i aproksimacija veličine primljenih doza može upotrijebiti kalkulacija pomoću broja upotrebljenih filmova.

Pošto se kod nas ne prikupljaju i ne obrađuju podaci o broju i vrsti rendgen dijagnostičkih pregleda stanovništva, to smo pokušali da procijenimo vazdušnu dozu na površini kože stanovništva, pomoću broja upotrebljenih filmova u jednoj gradskoj opštini.

## Metod rada

Broj utrošenih filmova, odnosno broj ekspozicija uzet je iz evidencije jednog doma zdravlja za 1971 godinu. Nisu obuhvaćeni filmovi iz specijalističkih zdravstvenih ustanova, zdravstvenih stanica radnih organizacija i filmovi od fluorografskih snimanja.

Elementi za snimanja uzeti su iz prakse pomenute ustanove, a vrijednosti za doze dobijene su kao prosjek više mjerenja Victoreen komorama, na istim rendgen aparatima na kojima su vršena snimanja pacijenata. Površina ozračenog polja nije mjerena, jer je ona promjenljiva, zavisno od lica koje snima. Vazdušna doza na površini kože, pri snimanju pojedinih dijelova tijela, mjerena je u centru snopa zračenja /sredina polja/. Ukupna doza podjeljena je na 12o.ooo stanovnika, koliko opslužuje ovaj dom zdravlja.

## Rezultati i diskusija

Dobijeni rezultati /Tab. 1/ pokazuju da na svakog stanovnika ispitivanog područja dolazi prosječno jedan snimak godišnje. Međutim, broj snimaka je svakako veći, jer u navedeni broj nisu uključena snimanja stanovnika ovog područja u drugim zdravstvenim ustanovama /Klinička bolnica, Zavod za Tbc pluća i zdravstvene stanice radnih organizacija/.

Upoređujući broj rendgen grafija sa podacima koje je dao Morgan /6/ proiz-

TAB. 1.

Broj utrošenih filmova i veličine vazdušnih doza na površini kože pri snimanju pojedinih dijelova tijela.

| Objekat snimanja | Broj utrošenih filmova/ekspozicije/ | Prosječna vazdušna doza na površini kože u mR, po jednom snimku | Ukupna vazdušna doza na površini kože u mR | Prosječna vazdušna doza na površini kože u mR, po stanovniku |
|---|---|---|---|---|
| Kuk ..... | 1758 | 445 | 782310 | 6,5 |
| Pelvis ..... | 501 | 445 | 222945 | 1,9 |
| Lumbosakralna kičma AP<br>profil | 5911 | 1200<br>2410 | 1066875o | 88,9 |
| Urografija ..... | 523 | 1200 | 627600 | 5,2 |
| IVP ..... | 2088 | 1200 | 2505600 | 20,9 |
| Želudac i duodenum .... | 2635 | 1900 | 5006500 | 41,7 |
| Donji digestivni trakt ... | 451 | 1200 | 541200 | 4,5 |
| Abdomen ..... | 2939 | 1200 | 3526800 | 29,4 |
| Holecistografija ..... | 4651 | 1200 | 5581200 | 46,5 |
| Glava AP<br>profil | 7509 | 685<br>500 | 4449175 | 37,1 |
| Torakalna kičma AP<br>profil | 800 | 1325<br>1730 | 1222000 | 10,2 |
| Grudni koš ..... | 3881 | 880 | 3415280 | 28,5 |
| Gornji ekstremiteti AP<br>profil | 9570 | 35<br>40 | 358875 | 3,0 |
| Donji ekstremiteti AP<br>profil | 10087 | 35<br>35 | 353045 | 2,9 |
| IVB ..... | 303 | 1200 | 363600 | 3,0 |
| Pregledni snimci pluća . | 3471 | 40 | 138840 | 1,1 |
| Tomografija ..... | 7565 | 350 | 2647750 | 22,1 |
| Snimanje pluća odelka kamerom ..... | 26336 | 125 | 3292000 | 27,4 |
| Zubi ..... | 28500 | 1980 | 56430000 | 470,2 |
| UKUPNO: | 119479 | - | 102133470 | 851,1 |

TAB. 2.

Elementi za snimanje i prosječne vazdušne doze na površini kože pri snimanju pojedinih dijelova tijela.

| | Vrijeme u sec. | kV | mA | Prosječna vazdušna doza na površini kože u mr |
|---|---|---|---|---|
| Kuk ..... | 1,o | 58 | 14o | 445 |
| Pelvis..... | 1,o | 58 | 14o | 445 |
| Lumbosakralna kičma AP | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| profil | 2,o | 76 | 18o | 241o |
| Urografija ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| IVP ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| Želudac i duodenum ..... | o,4 | 9o | 25o | 19oo |
| Donji digestivni trakt ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| Abdomen ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| Holecistografija ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| Glava AP | o,8 | 6o | 26o | 685 |
| profil | o,64 | 56 | 27o | 5oo |
| Torakalna kičma ..... AP | 1,2 | 66 | 23o | 1325 |
| profil | 1,6 | 68 | 22o | 173o |
| Grudni koš ..... | 1,o | 6o | 24o | 88o |
| Gornji ekstremiteti AP | o,o4 | 54 | 4o | 35 |
| profil | o,o4 | 6o | 6o | 4o |
| Donji ekstremiteti AP | o,o4 | 58 | 5o | 35 |
| profil | o,o4 | 54 | 5o | 35 |
| IVB ..... | 1,2 | 58 | 24o | 12oo |
| Pregledni snimci pluća ..... | o,1o | 56 | 75 | 4o |
| Tomografija ..... | 1,6 | 65 | 12o | 25o |
| Snimanje pluća odelka kamerom | 1,o | 8o | 8o | 125 |
| Zubi ..... | 1,7 | 5o | 1o | 198o |

lazi da je u ovoj gradskoj opštini prosječan broj grafija po stanovniku obuhvaćenog područja znatno iznad rezultata koje je ovaj autor dao za neke druge gradove.

Ukupna prosječna doza po stanovniku ne govori mnogo, jer je dobijena snimanjem različitih dijelova tijela i ozračivanjem različitih površina. Mnogo značajniji su podaci koji pokazuju doprinos prosječnoj vazdušnoj dozi na površini kože kod snimanja pojedinih dijelova tijela. Ovdje u prvom redu ističemo dozu kod snimanja lumbosakralne regije, želuca i duodenuma, abdomena i kod holecistografije, zbog lokaliteta u odnosu na gonade i površine polja ozračenog tijela. Značajan doprinos prosječnoj dozi daju snimanja grudnog koša, glave i pluća, a naročito upadljivi podaci, kako po broju snimaka, tako i po prosječnoj dozi po stanovniku, dobijeni su kod snimanja zuba. Gotovo četvrtina svih ekspozicija otpada na snimanje zuba, što je uz visoku dozu dalo i vrlo visoku prosječnu dozu po stanovniku obuhvaćenog područja.

Na kraju, moramo napomenuti da sva snimanja vrše medicinski tehničari, koji su naknadno obučavani za ovu vrstu posla. Zbog toga se događa da elementi za snimanje /Tab. 2/ nisu uvijek najcjelishodnije odabrani.


Rezime

Jednogodišnja potrošnja filmova u domu zdravlja, koji opslužuje oko 12o.ooo stanovnika, iznosila je 119.479 filmova.

Najveći broj filmova utrošen je za snimanje pluća, zuba i ekstremiteta. Najveće vazdušne doze na površini kože izmjerene su pri snimanju kičme.


Bibliografija


1. ICRP, ICRU /1957/: Physics in Medicine and Biology, 2 , 1o7-151.
2. Adrian Committee /195o/: Radiological hazards to patients. Interim report of the Committee. London, Her Majesty's Stationery Office.
3. Adrian Committee /196o/: Radiological hazards to patients. Second report of the Committee. London, Her Majesty's Stationery Office.

4. Beckman Z.M.,/1962/: Geneticaly Significant Dose from diagnostic Roentgenology. N.V. Drukkerij V/H Batteljee and Ferporta-Leiden.

5. Larsson L.E. /1958/: Acta Radiological. Supplement, No 157.

6. Morgan R.H. /1963/, American Ind. Hygiene 24, 588-599.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

Mr. dipl. fiz. Tomašević Miroslav.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SR Srbije
"Dr D.Karajović" - Beograd, Deligradska 29

# VREME SNIMANJA ZUBA MERILO IZLOŽENOSTI PACIJENATA EKSPOZICIONIM DOZAMA ZRAĆENJA

## Rezime

Vreme snimanja zuba odabira svako lice koje vrši snimanje manje ili više proizvoljno. Iz tih razloga sprovedeno je ispitivanje sa ciljem da se utvrdi sa kojim se vremenom snimaju zubi pacijentima u SR Srbiji te da se na osnovu njega proceni izloženost pacijenata zračenju.

Prema preporuci proizvodjača rendgen aparata DENT vreme za retroalveolarno snimanje zuba iznosi izmedju 0,5 i 1 sek. U praksi vreme snimanja je znatno duže. Prosečna vrednost za SR Srbiju iznosi 2,3 - 0,5 sek.

Srazmerno povećanju vremena snimanja i ozračenost pacijenata je veća no što je potrebno.

## Uvod

Svaki proizvodjač rendgen aparata za svoj rendgen aparat daje i uputstvo za rukovanje u kome se navode osnovne karakteristike rendgen aparata i uputstvo za rukovanje sa njime. Ukoliko se sa rendgen aparatom vrši snimanje kao što je u našem slučaju proizvodjač u uputstvu daje i preporuku sa kojim se vremenom treba koristiti da bi se dobili optimalni snimci uz što manje ozračivanje pacijenata.

Elektronska industrija iz Niša za svoj rendgen aparat Dent preporučuje sledeća vremena za retroalveolarno snimanje zuba,

koja smo mi prikazali na tabeli br. 1.

TABELA br. 1
Vreme snimanja zuba za rendgen aparat DENT

| objekat snimanja | vreme snimanja, sek. |
|---|---|
| GORNJA VILICA | |
| sekutići | 0,5 - 0,6 |
| očnjaci | 0,6 - 0,8 |
| pretkutnjaci | 0,6 - 0,8 |
| kutnjaci | 0,8 - 1,0 |
| DONJA VILICA | |
| sekutići | 0,5 - 0,6 |
| očnjaci | 0,6 - 0,8 |
| pretkutnjaci | 0,6 - 0,8 |
| kutnjaci | 0,7 - 0,9 |

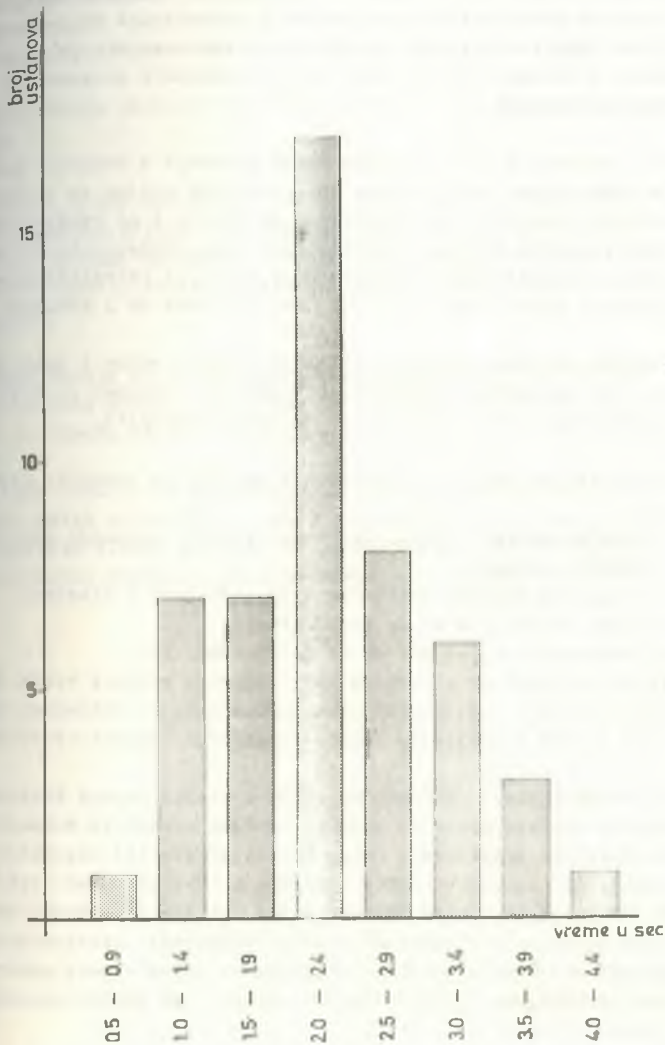
Rezultati ispitivanja

Ispitivanjem smo obuhvatili 50 ustanova u kojima se vrši retroalveolarno snimanje zuba rendgen aparatom EI NIŠ DENT. Rezultate ispitivanja prikazali smo na strani 3, crtež br. 1. Na osnovu dobijenih podataka izračunata je srednja vrednost trajanja ekspozicije pri retroalveolarnom snimanju zuba rendgen aparatom Dent na teritoriji SR Srbije.
Srednja vrednost trajanja ekspozicije iznosi:

$$2,3 \pm 0,5 \text{ sec.}$$

Dobijena vrednost ukazuje da se retroalveolarno snimanje zuba u 84 % ustanova obavlja sa vremenom koje je znatno duže od neophodnog. Iz tih razloga i ozračenost pacijenata u ovim ustanovama je veća od neophodne.

CRTEŽ BROJ 7 VREME EKSPOZICIJE PRI SNIMANJU ZUBA



Kako je ekspoziciona doza zračenja kojoj se izlaže pacijent direktno srazmerna vremenu trajanja ekspozicije to je razumljivo zbog čega se zalažemo da ovo vreme bude što je moguće kraće i nikako duže od onoga koje preporučuje proizvodjač rendgen aparata.

Ni u slučaju kada se koristi vreme snimanja u trajanju koje je preporučeno ekspozicione doze zračenja kojima se izlažu pacijenti nisu male. Za teritoriju SR Srbije i za rendgen aparat DENT prosečna vrednost ekspozicione doze zračenja kojoj je izložen maksilofacijalni region pacijenta pri retroalveolarnom snimanju zuba iznosi 1590 ± 170 mR za vreme od 1 sekunde.

Ukoliko se vreme trajanja snimanja produži makar i malo dolazimo do impozantne vrednosti od nekoliko rendgena (u nekim slučajevima i 9R) što sigurno ne smemo potceniti.

Produžavanje trajanja ekspozicije nastaje iz nekoliko razloga:

- Stručna sprema i obuka kadrova koje vrši snimanje zuba nije zadovoljavajuća,
- U radu se koriste stari rastvori razvijača i fiksira,
- Vreme razvijanja se ne kontroliše,
- Temperatura razvijača se ne kontroliše, itd.

Iz tih razloga osoblje koje vrši snimanje odabira vreme snimanja koje je u većini slučajeva znatno duže od potrebnog pri čemu i sebe i pacijente izlažu nepotrebnim dozama zračenja.

Na vreme snimanja svakako da utiče i visina napona električne struje gradske mreže na koju se rendgen aparat za snimanje zuba direktno priključuje (nema stabilizatora ili regulatora napona). Ali na osnovu našeg izučavanja ovog problema došli smo do saznanja da visina napona električne struje gradske mreže nije bitna u ovom slučaju. U svim posmatranim slučajevima u kojima se snimalo sa dužim vremenom od preporučenog uspevali smo da dobijemo zadovoljavajuće snimke i sa kraćim ekspozicijama.

Zaključak

Pri retroalveolarnom snimanju zuba na teritoriji SR Srbije osoblje koristi vreme ekspozicije koje je u 84 % ustanova duže od onoga koje preporučuje proizvodjač rendgen aparata.

U našem slučaju prosečno vreme sa kojim se vrši snimanje zuba iznosi:

$$2,3 \pm 0,5 \text{ sec}$$

Kako je ovo vreme dvostruko duže od onoga koje se preporučuje i kako je ekspoziciona doza zračenja kojoj se izlaže region kontakta direktno srazmerna vremenu ekspozicije to proizilazi da su pacijenti u većini slučajeva izloženi većim dozama od neophodnih.

Na ovakvo stanje utiče prvenstveno nedovoljna stručna sprema lica koja vrše snimanje zuba kao i nedostatak odgovarajućih uslova za obradu snimljenih filmova.

Prema tome ukoliko bi se osoblje koje vrši snimanje zuba pridržavalo datih uputstava i saveta proizvodjača rendgen aparata i stručnih službi postiglo bi se znatno smanjenje izloženosti pacijenata zračenju pri retroalveolarnom snimanju zuba.

Summary

THE EXPOSURE TIME TAKEN AS A FACTOR OF PATIENT EXPOSURE TO THE RADIATION

Exposure time undergoes the deliberate dentist staff's choice. That was the main reason of undertaking a serious and scientific investigation in order to get the information of exposure time used in SR Serbia which was taken as a base for the evaluation of the level of patient exposure to the radiation.

According to the producer recommendations for Dent X-ray apparatus the exposure time in dental intraoral radiography should be between 0,5 and 1 sec. However, the exposure time was found to be much longer in the practice. The average duration in SRS is being 2,3 ± 0,5 sec. According to the increased exposure time the level of patient exposure is higher than it is recommended.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. april 1972.

Mr. dipl. fiz. Tomašević Miroslav

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SR Srbije
"Dr D.Karajović" - Beograd, Deligradska 29

# EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA KOJIMA SU IZLOŽENI REPRODUKTIVNI ORGANI PACIJENATA PRI RETROALVEOLARNOM SNIMANJU ZUBA

## Rezime

U radu su dati rezultati proučavanja koja su bila vršena na teritoriji SR Srbije u cilju odredjivanja izloženosti pacijenata jonizujućem zračenju pri retroalveolarnom snimanju zuba.

Na osnovu izvršenih ispitivanja postavljena je korelacija izmedju ekspozicione doze zračenja kojoj je izložen maksilofacijalni region i ekspozicione doze zračenja kojoj su izložene gonade pacijenata.

Prema izvršenom ispitivanju, gonadne doze iznose oko 0,01% doze, kojoj je izložen region kontakta.

## Uvod

Za vreme snimanja zuba, celo telo pacijenta izloženo je jonizujućem zračenju. Svakako da je u tom slučaju maksilofacijalni region izložen najvećim vrednostima, ali ne treba podceniti ni izloženost ostalih delova tela pacijenta, kao što su oči, sternum ili genitalni organi.

Do genitalnih organa pacijenata dospevaju samo mali iznosi doza zračenja ali mi im moramo pokloniti isto toliko pažnje kao i dozama kojima su izloženi ostali organi, jer za genetske efekte zračenja ne postoji prag doze. Iz toga razloga makoliko ona bila mala, primljena na nivou gonada, povećava moguć-

nost nastajanja mutacija. A mutacije nastale na ovaj način mogu biti pre štetne no korisne za potomstvo ozračene jedinke.

U literaturi nailazimo na veliki broj podataka, koji se odnose na vrednosti gonadnih doza. Rezultate dosadašnjih merenja izvršenih od strane izvesnog broja autora prikazali smo na tabeli br. 1.

TABELA br. 1

Rezultati dosadašnjih odredjivanja gonadne doze

| Autor | godina | doza u mR muškarci | doza u mR žene | primedba |
|---|---|---|---|---|
| Standford i Vance | 1955 | 0,34 | 0,06 | 14 snimaka |
| Osborn i Smith | 1956 | 4,75 | 0,80 | - |
| Budowsky | 1956 | 0,40 | - | - |
| Hell | 1957 | 4,60 | - | 12 snimaka |
| Webster i Merrill | 1957 | 8,0 | 1,0 | 10 snimaka |
| Kirsch | 1958 | 5-10 | - | 12 snimaka |
| Larsson | 1958 | 0,80 | - | 13 snimaka |
| Richards | 1958 | 2,14 | - | 14 snimaka |
| Seelentag | 1958 | 6,50 | 0,28 | 11 snimaka |
| Bjaerngard | 1959 | 0,90 | 0,40 | 14 snimaka |
| Williamson | 1959 | 0,42 | 0,08 | - |
| Sonnabend | 1960 | 0,90 | 0,90 | 11 snimaka |
| Jung | 1965 | 0,86 | - | - |
| Lubenau | 1968 | 0,6-0,06 | - | - |

Metoda merenja

Odredjivanje gonadnih doza obavili smo u sedam ustanova koje

su se nalazile u Beogradu i okolini. U obzir smo uzeli samo one u kojima se svakodnevno snimanje obavlja na većem broju pacijenata a snimanje vrši rendgen tehničar. Ovo smo učinili zato jer smo smatrali da će se u njima koristiti bolja tehnika snimanja koja bi garantovala i tačnije rezultate u radu. Merenja smo sproveli na po 50 pacijenata, ili na ukupno 350 pacijenata i to samo u onim slučajevima, kada je bio sniman ceo status gornje i donje vilice, za što se obično koristilo 14 filmova (ukupno 4900 ekspozicija).

Osim ovih merenja, u 10 slučaja snimanja celog statusa, merenja smo sproveli u uslovima laboratorijskog rada, kada smo posebnu pažnju posvetili odredjivanju sagitalnog ugla, ugla nagiba cevi kao i vremenu ekspozicije. Kada smo radili na terenu ove elemente nismo mogli u svim slučajevima da kontrolišemo u potpunosti a osoblje koje je vršilo snimanje odabiralo ih je proizvoljno.

Kako vreme snimanja u pojedinim ustanovama nije isto to smo dobijene vrednosti preračunavali na vreme koje preporučuje proizvodjač rendgen aparata.

Merenje ekspozicionih doza zračenja u visini genitalnih organa muških pacijenata obavljeno je Röntgen - Gamma - Dosimeter tip VA-J-15A, No.315, proizvodnje VEB Vakutronik Dresden DDR. Sam postupak merenja sastojao se u sledećem:
Pacijent kome je trebalo izvršiti snimanje zuba, sedeo je u zubarskoj stolici. Pošto bi rendgen tehničar postavio film u usta pacijentu i izvršio podešavanje zračnika, pristupili bi pacijentu i izmedju nogu mu postavljali instrumenat VA-J-15A. Posle svake izvršene ekspozicije očitavali smo sa skale instrumenta vrednost ekspozicione doze zračenja.

Rezultati merenja

Na tabeli br. 2 (strana 5) prikazali smo rezultate naših merenja. Na tabeli smo samo uvida radi izneli dobijene vrednosti za samo nekoliko ustanova a ne za sve u kojima su merenja bila

vršena. U drugim ustanovama i iznete vrednosti bile su drugačije a zavisile su jedino od vrednosti ekspozicione doze zračenja kojoj je izložen maksilofacijalni region pacijenta. Zbog toga naša glavna pažnja i nije bila toliko posvećena iznošenju podataka za svaku pojedinu ustanovu već postavljanju korelacije izmedju ekspozicione doze zračenja kojoj su izložene gonade i maksilofacijalni region pacijenta. Prema našem proučavanju, gonadne doze u posmatranim ustanovama iznose izmedju 0,0075% i 0,0085% doze, kojoj je izložen region kontakta. Prema radu Richardsa (1) ova vrednost iznosi oko 0,01%. Prema tome naša se merenja izvanredno slažu (2). Na tabeli br. 2 iznete vrednosti izražene su u mR. Kako je to jedinica za ekspozicionu dozu zračenja, to bi vrednosti trebalo izraziti u mrad jedinicama jer radiobiološki efekti zračenja zavise od absorbovane energije. Za datu energiju zračenja od 23 KeV konverzioni faktor za preračunavanje R u rad jedinice za meko tkivo iznosi 0,89 (3,4).

Zaključak

Naš rad imao je za cilj da se odrede ekspozicione doze zračenja kojima su izloženi reproduktivni organi muških pacijenata za vreme retroalveolarnog snimanja zuba te da se postavi korelacija izmedju ove vrednosti i ekspozicione doze zračenja kojoj je izložen maksilofacijalni region.

Prosečna vrednost ekspozicione doze zračenja kojoj je izložen region kontakta pacijenta pri snimanju zuba u SR Srbiji iznosi 18,3 R za snimanje celog statusa sa 14 filmova u trajanju od 11,4 sec. (1590 mR ± 170 mR za vreme od 1 sec). (5). Kako gonadne doze zračenja u proseku za jedno snimanje statusa od 14 filmova iznose oko 0,01% ove vrednosti, to proizilazi da u proseku iznose oko 1,8 mR ili 1,6 mrad.

Ova vrednost predstavlja 1,5% godišnje vrednosti prirodnog gama fona za teritoriju SR Srbije.

TABELA BROJ 11

GONADNE DOZE MERENE NA ODRASLIM MUŠKARCIMA U 4 POSMATRANE USTANOVE

| vilica i zub | | | vreme snimanja u sec | d o z e u mR | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| gornja vilica | levo | kutnjak | 1 | 0.34 | 0.24 | 0.29 | 0.16 |
| | | predkutnjak | 0.8 | 0.29 | 0.20 | 0.25 | 0.13 |
| | | očnjak | 0.8 | 0.40 | 0.22 | 0.32 | 0.15 |
| | | sekutići | 0.5 | 0.40 | 0.20 | 0.44 | 0.12 |
| | desno | očnjak | 0.8 | 0.29 | 0.27 | 0.32 | 0.15 |
| | | predkutnjak | 0.8 | 0.29 | 0.22 | 0.25 | 0.13 |
| | | kutnjak | 1 | 0.28 | 0.30 | 0.29 | 0.16 |
| donja vilica | desno | kutnjak | 1 | 0.16 | 0.21 | 0.23 | 0.15 |
| | | predkutnjak | 0.8 | 0.16 | 0.20 | 0.12 | 0.12 |
| | | očnjak | 0.8 | 0.16 | 0.24 | 0.14 | 0.14 |
| | | sekutići | 0.5 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.08 |
| | levo | očnjak | 0.8 | 0.16 | 0.22 | 0.14 | 0.14 |
| | | predkutnjak | 0.8 | 0.16 | 0.20 | 0.12 | 0.12 |
| | | kutnjak | 1 | 0.16 | 0.17 | 0.23 | 0.15 |
| ukupno na površini testisa | | | 11.4 | 3.38 | 3.04 | 3.30 | 1.90 |
| ukupno u centru testisa | | | 11.4 | 2.14 | 1.93 | 2.08 | 1.20 |
| ukupna ekspozicija kontakta | | | 11.4 | 25.1 R | 22.8 R | 27.4 R | 15.9 R |
| % apsorbovane doze od ukupne doze na kontaktu | | | | 0.0085 % | 0.0035 % | 0.0076 % | 0.0075 % |

Summary

GONADAL IRRADIATION OF PATIENTS DURING THE DENTAL INTRAORAL RADIOGRAPHY

In the paper there are presented the results of the investigations that were undertaken on the SR Serbia teritory having as the aim to measure a patient exposure to a ionizing radiation during dental intraoral radiography.

On the basis of the investigations there was determined a correlation between Cone tip exposure and gonadal exposure.

According to the investigation results the gonadal exposures are found to be approximately 0,01% of the Cone tip exposure.

Literatura

1. Richards A.G., J.Amer.Dent.Ass. 56: 351, 1958.
2. Richards A.G., privatna prepiska (1971)
3. Jaeger G.R., Dosimetrie und Strahlenschutz, Georg Thieme Verlag Stuttgart, (1959).
4. Radiological Health Handbook, PB 121784 R:153,145 (196o).
5. Standford R.W. i Vance J., Brit.J.Radiol.28.329.266 (1955)
6. Osborn S.B. i Smith E.E., Lancet 1: 949. (1956)
7. BudowskiJ., J. Amer.Dent.Ass.52: 555. (1956)
8. Hell W., Inauqural Dissertation Heidelberg. (1957)
9. Kirsch T., Deutsche. zahnaerztl.Zeitschrift 14. 175.(1959)
1o. Larson L.E., Acta Radiol. Supp. 157 (1959)
11. Seelentag W., Strahlentherapie 1o5. 169-179. (1958)
12. Bjaerngard B., Odont.Revy 1o. 355. (1959)
13. Williamson B.D.P., N.Z.Dent.J.55:262. 18o. (1959)
14. Sonnabend E., Goettingen Habillitations Schrift (1959)
15. Jung T., Oral Surg. Oral Med. Oral Pathology I9.No.6 745-753, (1965).
16. Lebenau J.O. i Thomas M. G., Health Physics Pergamon Press vol.14. 151-155. (1968)

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972

mr. dipl. fiz. Tomašević Miroslav
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SR Srbije
"Dr D.Karajović" - Beograd, Deligradska 29

# EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA KOJIMA JE IZLOŽENA GLAVA LEKARA PRI PROSVETLJAVANJU PACIJENATA I NJIHOVA ZAVISNOST OD VELIČINE OTVORA BLENDE

Rezime

Za vreme prosvetljavanja pcijenata glava lekara izložena je jonizujućem zračenju. Ekspozicione doze zračenja kojima je izložena zavise od izabranih kondicija (mA, kV), ali i od veličine otvora blende.

U radu je dat prikaz ekspozicionih doza zračenja u visini glave lekara u zavisnosti od mA, kV i veličine blende za rendgen aparat Morava proizvodnje EI NIŠ. Na osnovu dobijenih rezultata dat je zaključak da otvor blende za vreme rada ne sme biti veći od 25 x 25 cm.

## Uvod

Ekspozicione doze zračenja kojima je izložen lekar a i pacijent za vreme dijagnostičkog pregleda rendgen aparatom, prvenstveno zavise od izabranih kondicija (visok napon kV, i struje prosvetljavanja mA) a takodje i od dužine pregleda. No i u slučaju da se sprovodi ispravna tehnika pregleda (kV, mA, vreme pregleda) usled većeg otvaranja blende dolazi do nepotrebno većeg ozračivanja. Znatan broj lekara u toku pregleda koristi potpuno otvorenu blendu. U tom slučaju postoji mogućnost da se lekar izloži i direktnom snopu zračenja. Ovo je naročito čest slučaj kod rendgen aparata Morava, kod koga izmedju rama i ekrana postoji širok prorez oko 1 cm, koji omogućava nesmetan

prolaz zračenju.

Zato i želimo da na ovom mestu iznesemo podatke o zavisnosti ekspozicione doze zračenja koja se registruje u visini glave lekara od veličine otvora blende.

Metoda merenja

U želji da prikažemo kako se povećavaju ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara pri postepenom otvaranju blende, obavili smo merenja na rendgen aparatu MORAVA za različite vrednosti visokog napona i struje prosvetljavanja. Aparat Morava izabran je zbog toga što je on u pogledu zaštite lekara vrlo oskudno opremljen a sem toga i zato što je on danas najviše zastupljen na teritoriji SR Srbije. U radu smo se koristili aparatom Morava br. zračnika 1558510 iz 1962 godine. Rastojanje izmedju ekrana i ledjnog paravana iznosilo je 30 cm. Na rastojanju od 20 cm od centra ekrana (u visini glave lekara) bila je fiksirana komora Röntgen - Gamma - Dosimeter-a VA-J-15A koja je na ovom mestu registrovala jačinu ekspozicione doze zračenja. Merenja smo obavili za različite otvore blende počev od 10 x 10 cm do 35 x 35 cm. Za vreme rada koristili smo struju prosvetljavanja od 2 mA i 3 mA i visoki napon od 60,65,70,75 i 80 kV.

Rezultati merenja

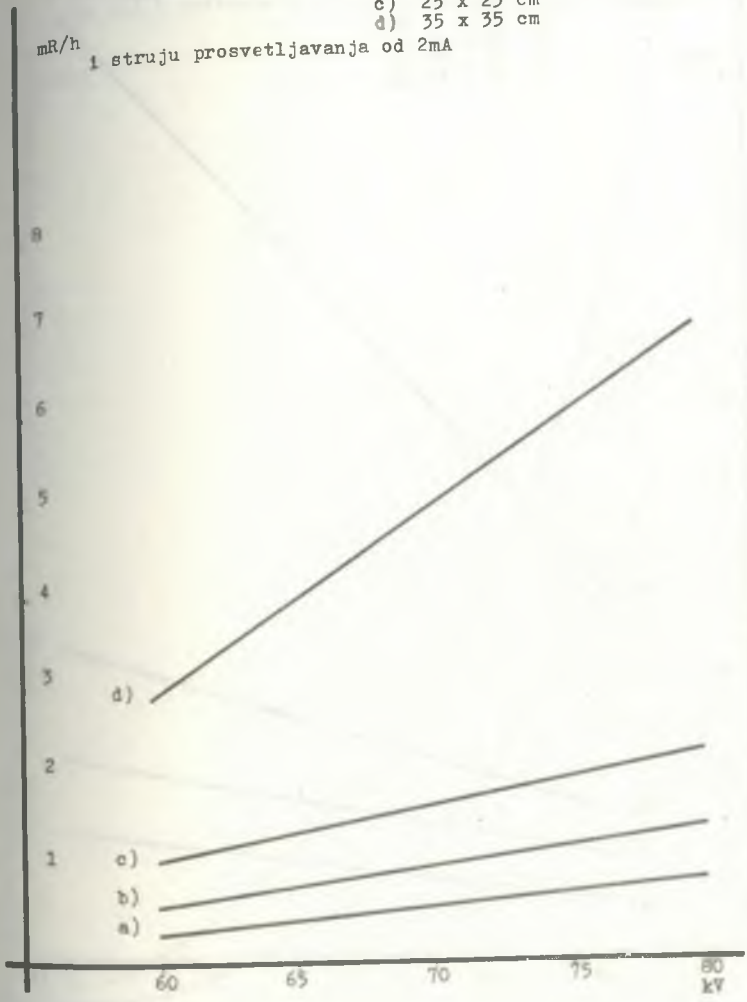
Rezultate merenja prikazali smo na sledeći način:
Prvo, prikazali smo zavisnost jačine ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara od primenjenog visokog napona za struju prosvetljavanja od 2 i 3 mA a za različite otvore blende. Ovi rezultati su dati na crtežu br. 1 i 2 na strani 3 i 4. (radi preglednosti ucrtani su rezultati za samo četiri otvora blende).

Drugo, prikazali smo zavisnost jačine ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara od veličine otvora blende za struju prosvetljavanja od 2 i 3 mA a za različite vrednosti visokog napona (radi preglednosti ucrtani su rezultati za samo vredno-

Jačina ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara za otvor blende :

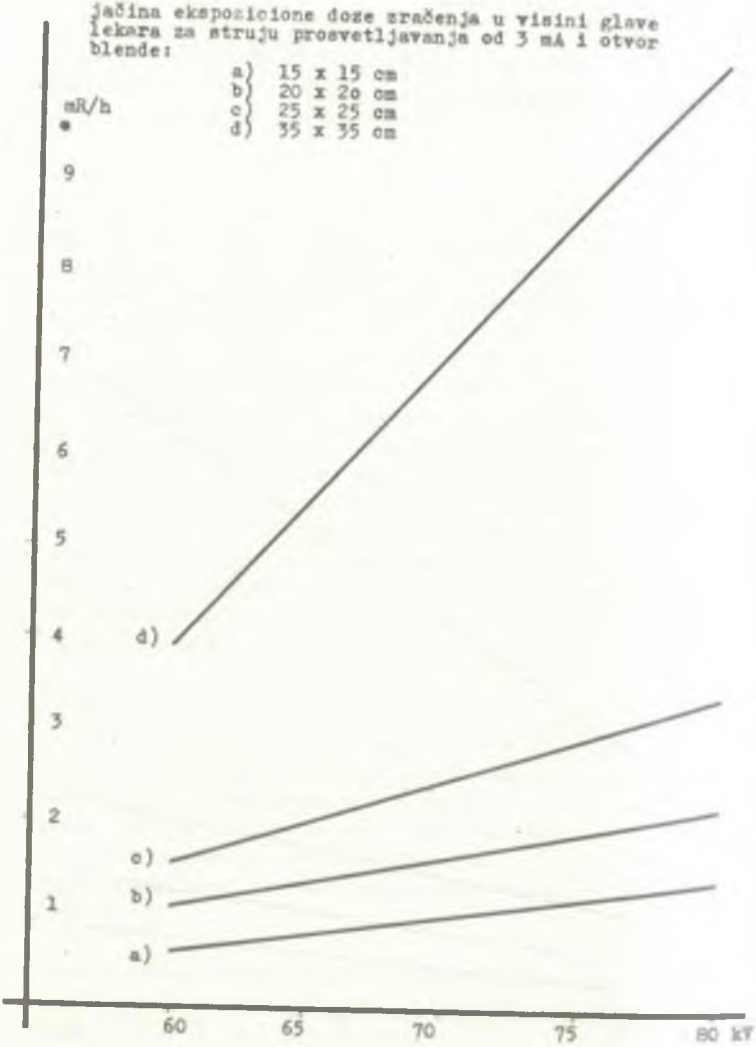
a) 15 x 15 cm
b) 20 x 20 cm
c) 25 x 25 cm
d) 35 x 35 cm

i struju prosvetljavanja od 2mA



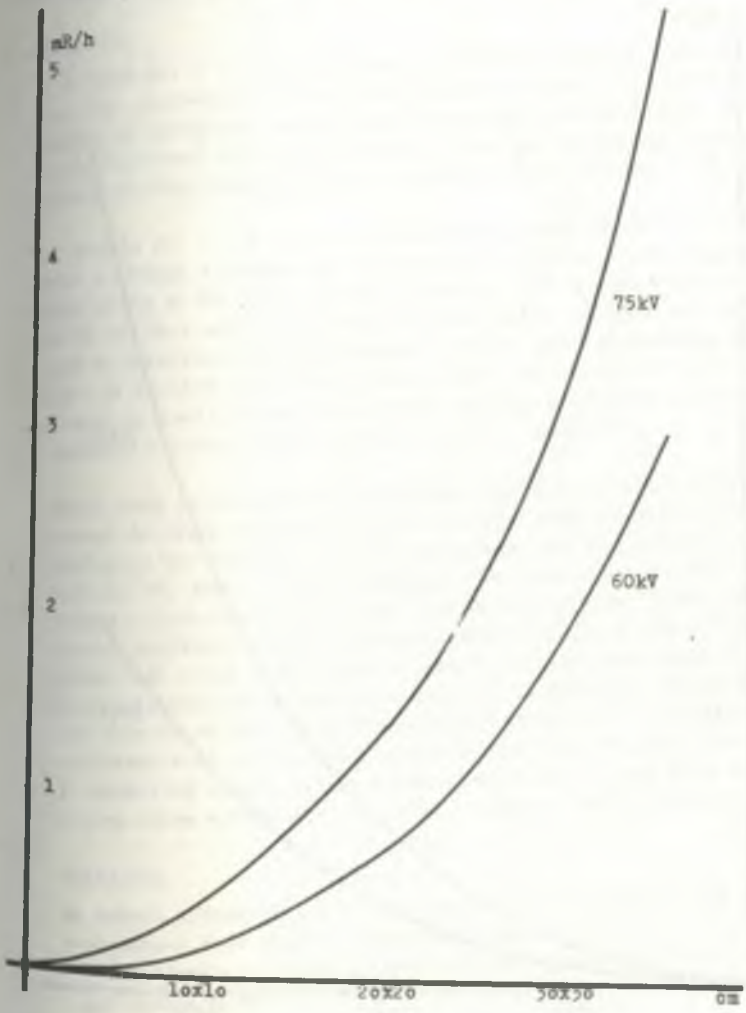
Crtež br. 2

jačina ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara za struju prosvetljavanja od 3 mA i otvor blende:



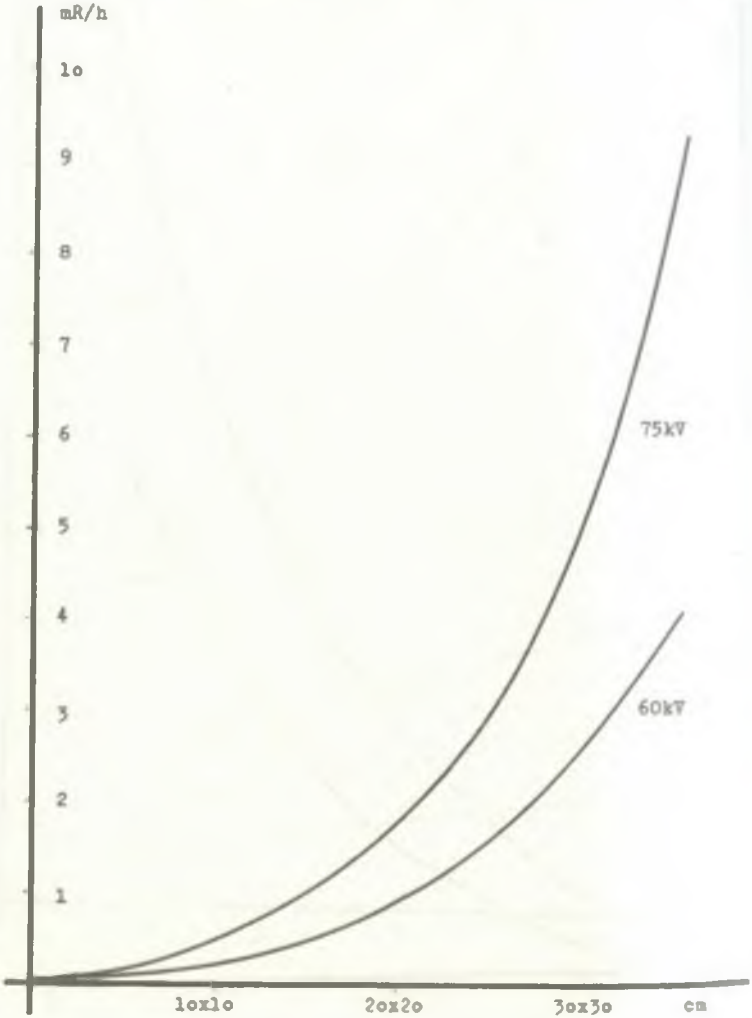
Crtež br. 3

Jačina ekspozicione doze zračenja za struju prosvetljavanja 2mA u zavisnosti od otvora blende za 60kV i 75kV



Crtež br. 4

Jačina ekspozicione doze zračenja za struju prosvetljavanja 3mA u zavisnosti od otvora blende za 60kV i 75kV



sti od 60 i 75 kV). Rezultati su dati na crtežu br. 3 i 4 na stranama 5 i 6.

Diskusija

Sa crteža br. 1 i 2 koji prikazuju zavisnost jačine ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara od primljenog visokog napona za odredjenu struju prosvetljavanja i otvor blende vidi se da vrednosti ovih doza linearno rastu sa povećanjem primenjenog visokog napona za jedan odredjen otvor blende.

Sa crteža br. 3 i 4 koji daju zavisnost jačine ekspozicione doze zračenja u visini glave lekara od veličine otvora blende, vidi se da krive imaju sasvim drugačiji izgled. One ukazuju na to da su doze zračenja u visini glave lekara utoliko veće pri jednom odredjenom visokom naponu i struji prosvetljavanja ukoliko se koristi veći otvor blende. Kako ova zavisnost nije linearna to znači da će se pri malom promenu otvora blende doze zračenja u visini glave lekara znatnije povećavati.

Prema tome jačina ekspozicionih doza zračenja u visini glave lekara za vreme prosvetljavanja ne zavisi samo od izabranih kondicija već takodje i od otvora blende, ali dok se pri povečavanju kV, struje prosvetljavanja i vremena pregleda doze povećavaju linearno dotle se pri povećavanju otvora blende iste znatno uvećavaju. Iz tih razloga, nije dovoljno da se pri pregledu vodi brïga samo o kondicijama i njihovom pravilnom izboru već takodje treba obratiti pažnju i na veličinu otvora blende tako da ne bude veći od neophodno potrebnog. Iz prikazanih rezultata vidi se da jačina ekspozicione doze zračenja ima brži porast od otvora blende većeg od 20 x 20 cm zbog čega savetujemo da se u radu koristi otvor blende ne veći od ovoga.

Zaključak

Na osnovu izvršenih ispitivanja na rendgen aparatu EI Niš Morava možemo dati sledeće zaključke i preporuke:

- Otvor blende za vreme prosvetljavanja ne sme biti veći od neophodno potrebnog a maksimalno otvaranje blende ne sme da-

ti sliku na ekranu veću od 20 x 20 cm do 25 x 25 cm.

- Kod svih rendgen aparata potrebno je ugraditi automatske regulatore otvora blende koji bi onemogućili potpuno osvetljavanje ekrana.
- Voditi računa o visokom naponu i struji prosvetljavanja i za svakog pacijenta birati ih posebno.
- Kod aparata EI Niš Morava (posebno onih starije proizvodnje) kod kojih izmedju rama ekrana i zaštitnog olovnog stakla postoji prorez, namestiti u okvir rama prsten od olovne gume širine do 5 cm, kako bi se sprečilo ozračivanje lekara direktnim snopom zračenja.

Pridržavajući se gornjih saveta izloženost lekara pri prosvetljavanju pacijenata može biti znatno smanjena. Da li će se u praksi to i ostvariti zavisi jedino od njih samih.

Summary

THE EXPOSURE DOSES IN THE LEVEL OF PHYSICIAN HEAD DURING THE FLUOROSCOPY IN RELATION TO THE SIZE OF DIAPHRAGMA OPENING

During the fluoroscopy the physician head is exposed to ionizing radiation. These exposure doses depend on chosen conditions (mA, kV) as well as on the diaphragma opening size. In the paper there are presented the exposure doses measured in the level of physician head in relation to milliampere and high potential being applied on the tube as well as the size of the diaphragma opening of an X-ray apparatus "Morava"-produced by EI Niš. The conclusion on the base of the gained data was that the size of the diaphragma opening during the fluoroscopy should not be greater than 25 x 25 cm.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA, OHRID 25.-28.4.1972.

Tomislav Veljković,
Srdjan Mitrović
Institut "Boris Kidrič",Vinča

# REGULISANJE ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U DUHU USTAVNIH PROMENA

Kratak sadržaj. Ustavni amandmani su stvorili novu situaciju u pogledu regulisanja zaštite od jonizujućih zračenja. Stvorena je mogućnost regulisanja kroz zaštitu životne sredine, ili kao samostalne materije na nivou Federacije. S druge strane republike su dobile mogućnost da regulisanjem zaštite vode, vazduha i tla obuhvate i neke vidove zaštite od zračenja. U radu se, polazeći od dosadašnjih stavova i politike JDZZ, kao i na osnovu medjunarodnih kriterijuma i principa, predlažu moguća rešenja i otvara diskusija.

## I Uvod

Ustavne promene pretpostavljaju novu etapu u razvoju društveno-političkog sistema kod nas. Dalja decentralizacija i deetatizacija su osnovne poluge tih promena. A osnova Ustava je, kao što je poznato, radni čovek i njegov samoupravljački položaj. U vezi s tim pretstoji obiman i odgovoran zakonodavno-pravni rad svake društveno-političke zajednice, a posebno Savezne i Republičkih skupština. One treba da usklade sve zakonske i podzakonske propisa sa ustavnim amandmanima, što nije nimalo lak niti jednostavan posao.

## II Usklađivanje zakona sa Ustavom

Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja odnosno materija zaštite od zračenja ostaje u nadležnosti federacije. Time je

određen i značaj ove materije, kao specifične, i njeno mesto u našem društvenom i pravnom sistemu.

Treba reći da je pitanje Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i pre donošenja amandmana bilo predmet posebnog razmatranja odnosno diskutovanja o tome da li Zakon treba menjati i dopunjavati. Na tu temu napisano je nekoliko radova, a održano je i više sastanaka na nivou federacije. Sve to ukazuje da je Zakon, s obzirom na razvoj nauke i tehnologije, s jedne strane i društvenih odnosa, s druge strane, postao tesan da reši sva neophodna pitanja u svakodnevnom radu sa korišćenjem nuklearne energije i izvora zračenja, kao i zaštite od jonizujućih zračenja.

Sem toga ostalo je od ranije nerešeno pitanje nuklearne energije uopšte, a time i kompletne zaštite od jonizujućih zračenja kao pratećeg fenomena korišćenja ove energije. Medjutim, to pitanje, nije ni do sada potpuno jasno definisano. Naime, ako je zaštita od jonizujućih zračenja ostala u nadležnosti federacije, da li su time i zaštita od zračenja usled korišćenja nuklearne energije, a time uslovi korišćenja nuklearne energije ostali u nadležnosti federacije ili nisu. Postoji mogućnost dvojakog tumačenja. Potpun odgovor na ovo pitanje trebalo bi očekivati od Zakona koji su u pripremi pa i od novog Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja.

Postoji još jedan problem. U nadležnosti federacije ostala je u celosti ne samo zaštita od jonizujućih zračenja već i zaštita životne sredine. Tu spadaju zaštita vazduha, voda, tla i urbanih sredina. Osnovna dilema je da li sva pitanja zaštite životne sredine treba urediti jednim zakonskim propisom ili kroz više posebnih zakonskih propisa. Postoje mišljenja za jedno i za drugo rešenje.

Donošenje posebnih zakonskih propisa za pojedina pitanja, a posebno za poslove zaštite od jonizujućih zračenja, je i po našem mišljenju opravdanije i to iz više razloga. Prvo, zaštita od zračenja je materija koja je ostala u celosti u nadležnosti federacije; drugo, to je takva materija koja i traži zajednička i jedinstvena rešenja za celu zemlju; treće,zato što opasnosti od zračenja nastaju na mestu primene i mogu se preneti u živu okolinu, i četvrto, zaštita vazduha od zagadjivanja, kao i zaštita voda, prenete su u nadležnost republika, a zaštita od jonizujućih zračenja nije.Stoga

se ne mogu praviti uopštena i posebna rešenja jednaka za zaštitu vazduha i zaštitu voda, od zagadjivanja gde postoje republički zakonski propisi, i s druge strane zaštite od jonizujućih zračenja, gde ne postoje republički propisi. Sama ta činjenica dovoljna je da ukaže na nemogućnost donošenja jednog saveznog zakona koji bi regulisao zaštitu životne sredine a kroz nju i zaštitu od jonizujućih zračenja. Pored niza drugih stručnih razloga, ovo posebno treba istaći ako se uzme u obzir ono što je rečeno napred o nuklearnoj energiji, odnosno o uslovima njenog korišćenja sa aspekata zaštite životne sredine uopšte, isto tako lako je zaključiti da republike ne mogu kroz svoje propise o zaštiti voda i vazduha obuhvatiti na adekvatan način zaštitu od jonizujućeg zračenja,pre donošenja odgovarajućih saveznih propisa.

Ako bi se to rezimiralo zaključak bi bio da materiju zaštite od jonizujućih zračenja treba regulisati posebnim zakonom i to jedinstveno za celu zemlju. Bilo bi izuzetno korisno kad bi se jednim zakonom regulisala materija korišćenja nuklearne energije ili bar neka osnovna pitanja korišćenja nuklearne energije i zaštite od jonizujućih zračenja. Ovakav zaključak se može izvući i iz do sadašnjih diskusija i rasprava o ovim problemima. Svako drugo rešenje, u današnjim uslovima, ne bi dalo željene rezultate. Posebno treba prestati sa žurbama i pritiscima u donošenju zakonskih propisa iz ove materije bez dovoljnog proučavanja i aktivnog učešća onih na koje se ta pitanja odnose, kao i sa kabinetskim regulisanjem ovako složene materije.

Treba napomenuti da je obrazovana komisija za urbanizam i prostorno planiranje svih veća Savezne skupštine, koja ima zadatak da izradi principe i teze o zaštiti životne sredine, gde je uključena i zaštita od jonizujućih zračenja. U ovu komisiju nije uključen nijedan stručnjak koji radi u oblasti zaštite od zračenja.

Pomenuta komisija je u petoj redakciji radnog materijala pod naslovom:"Projekt (zbornik) zakonodavne materije o urbanizmu, sredini i prostornom uredjenju" (decembar 1971.god. od celokupne problematike zaštite od zračenja obuhvatila samo neke probleme lociranja nuklearnih objekata (t.6.41), dok ostale probleme zaštite životne sredine obradjuje dosta detaljno. Iako se neki opšti principi zaštite životne sredine mogu primeniti i na zaštitu od jonizujućih zračenja, čitav niz specifičnih problema nije pomenut, a sve

je to još isuviše daleko da bi se obuhvatila cela problematika zaštite od zračenja.

## III Principi za traženje rešenja

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja je zaključilo na svom simpozijumu na Bledu 1970. g. i na Skupštini održanoj u isto vreme da je "Zaštita od zračenja jedinstvena za celu zemlju i zasnovana na koncepciji celovitosti u miru i ratu".

Usvajajući ovakav stav članovi društva, oko 300 stručnjaka za zaštitu od zračenja iz cele zemlje imali su u vidu sledeće principe:

1. - Zaštita od zračenja je ustvari zaštita čoveka, a čovek je isti i na isti način podložan oštećenjima od zračenja ma gde bio na teritoriji zemlje, i da zbog rada osnovni principi i kriterijumi zaštite treba da budu isti. To što je nivo primene izvora zračenja različit po republikama i pokrajinama znači da će se svuda primenjivati odgovarajuće u principu iste mere, ali na nivou koji odgovara datoj regiji.

2. - Stručnjaci su i do sada primenjivali jedinstvene jugoslovenske propise, a u njihovom nedostatku najsavremenije medjunarodne propise, preporuke i konvencije /ICRP, MAAE itd./. Zato nema nikakvih razloga ni potreba da se izmišljaju različiti kriterijumi, postupci i norme; a pored toga danas se u celom svetu ide na njihovo ujednačavanje.

3. - Zaštita od štetnog dejstva jonizujućeg zračenja nije samo problem mirnodopske primene radioaktivnih izotopa, problem korišćenja nuklearne energije u miru, već može da bude i problem preživljavanja nacije u eventualnom nuklearnom ratu pri čemu treba za odbranu i zaštitu koristiti sva sredstva i vojna i mornodopska na najbolji mogući način, a shodno našoj koncepciji opštenarodne odbrane i uz poštovanje činjenice da je priroda opasnosti u ratu i miru ista, a da se razlikuju samo nivoi i obim opasnosti. Zbog unificiranja metoda, opreme, formiranja kadrova, uzajamne saradnje vojnih i civilnih službi u svim situacijama, organizacija, metode, mere i kriterijumi treba da budu jedinstveni.

4. - Zaštita od zračenja obuhvata svu primenu izvora zračenja i nuklearne energije u privredi, medicinskim i naucnim ustanovama, Zavodima i centrima za zaštitu,

u nuklearnim institutima i na fakultetima, u armiji i bilo gde. Svi oni treba da se nalaze u situaciji da brzo i lako saradjuju i menjaju iskustva, porede rezultate i da se ispomažu u okviru jedne jedinstvene službe.

5. - Zaštita od zračenja obuhvata kako radnike sa izvorima zračenja tako i celokupno stanovništvo koje može biti izloženo zračenju u vanrednim okolnostima i akcidentima. Zato organizacija praćenje mera zaštite i podaci o ozračivanju radnika i stanovništva treba da budu evidentirani i obradjivani kroz jedinstvenu službu.

6. - Čovek nema čula za opasnosti od ozračivanja. Utoliko pre je potrebna jedna dobro organizovana i opremljena jedinstvena služba koja može odmah da otkrije opasnost i da je na vreme signalizira potencijalno ugroženima i da organizuje i preduzme sve potrebne mere uključujući i medjunarodnu saradnju i pomoć u saniranju akcidenata.

Citirani zaključak Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja došao je u doba diskusije oko ustavnih amandmana i značio je podršku amandmanima u kojima je stajalo da je "Zaštita od jonizujućih zračenja od interesa za federaciju". Niko od stručnjaka nije pomislio da može biti drugačije, posebno u vreme kada se radi na ujednačavanju kriterijuma i normi u celom svetu.

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja primilo je obavezu da izradi predlog odnosno prednacrt Osnovnog zakona o zaštiti od zračenja. Na ovom poslu se dosta uradilo, ali predstoji da se tek rasčiste postavljena pitanja, održi jedan skup stručnjaka i korisnika na kome bi se prodiskutovali pripremljeni materijali, i posle razrade konačni tekst uputio nadležnim organima.

## IV Zaključak

Na kraju kao zaključak može se predložiti:

1. Da Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja svoje stavove po ovom pitanju obradi i uputi Saveznom izvršnom veću kao predlagaču Saveznih zakona.

2. Da se dovrši rad na predlogu za izmenu Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja uključujući i problematiku korišćenja nuklearne energije.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid, od 25. do 28. aprila 1972.

Srdjan Mitrović
Tomislav Veljković
Institut"Boris Kidrič", Vinča

# PROBLEMI ORGANIZOVANJA SLUŽBE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Kratak sadržaj: Polazeći od preporuka Medjunarodne agencije za atomsku energiju u pogledu organizovanja službe zaštite od zračenja u jednoj radnoj organizaciji izvode se zaključci o potrebi postojanja jedne šire službe i njenom domenu delovanja. Zatim su opisane neke naše dileme nastale reorganizacijom državne uprave. Dat je pregled mera i poslova jedne službe sa stručnih aspekata, a takodje su diskutovane različite mogućnosti za traženje adekvatnih rešenja u našim uslovima. Zbog ograničenog prostora nisu data sva rešenja već su neka pitanja ostala otvorena, kao prilog diskusiji koja je u toku.

## 1. Medjunarodna agencija za atomsku energiju o službi zaštite od zračenja

Medjunarodna agencija za atomsku energiju od svog osnivanja radi izmedju ostalog i na sakupljanju i širenju iskustava iz primene mera zaštite od zračenja. Medju velikim brojem njenih publikacija u ovom smislu se naročito ističe "Serija SIGURNOST" u kojoj je do sada u 34 svezaka opisan niz praktičnih upustava za bezopasnu primenu izvora zračenja i nuklearne energije. Neke od tih svezaka radjene su u saradnji sa Svetskom zdravstvenom organizacijom, Medjunarodnom organizacijom rada i Organizacijom za ishranu i poljoprivredu UN, prošle su odgovarajuću proceduru i zbog toga imaju veću težinu od ostalih,a zemlje članice ovih organizacija dužne da ih se pridržavaju. To su Osnovni standardi sigurnosti, Transport radioaktivnih materija, Norme sigurnosti za istraživačke i energetske nuklearne reaktore i Organizacija službe zaštite od zračenja. Ova poslednja koja nosi naslov THE PROVISION OF RADIOLOGICAL PROTECTION SERVICES, Safety series N° 13, IAEA, VIENNA, 1966., STI/PUB/94 će biti predmet kratkog prikaza.

(Nije suvišno napomenuti da je u njenoj pripremi učestvovao i pretstavnik SFRJ, T.Tasovac).

1.1. Ciljevi i svrha Zaštite od zračenja

Glavni cilj službe zaštite od zračenja je da rad sa izvorom zračenja bude tako obezbedjen da se garantuje zaštita zdravlja radnika i okoline primenom važećih pravila i odgovarajućih normi i nadzorom nad efikasnosti primenjenih mera. Za sve radnike moraju se ostvariti odgovarajući uslovi rada primenom mera zaštite, uputstava i pravila, a isto i za druga lica koja duže borave u okolini. Okolina takodje mora biti zaštićena od ispuštanja radioaktivnih materija uz preduzimanje svih mera, uključujući saradnju sa drugim službama i organima u izradi planova likvidacije akcidenta.

Ostali ciljevi službe zaštite od zračenja su registracija rezultata merenja, zaštita dobara itd.

1.2. Obaveze i raspodela odgovornosti

Odgovorno lice, odn. rukovodeći organ (u radnoj organizaciji direktor) uskladjuje, potrebe radne organizacije i službe sa zahtevima viših rukovodstava i zakona. Rukovodeći organ organizuje fizičku i medicinsku službu zaštite i obezbedjuje je zaštitnom opremom i mernim instrumentima, obezbedjuje uslove rada prema stepenu opasnosti i veze sa kompetentnim organima.

Služba zaštite od zračenja predvidja opasnosti u vezi sa radom sa izvorima zračenja, informiše rukovodeći organ o svim poslovima i pitanjima zaštite i potrebama za regulisanjem. razradjuje mere,sprovodi medicinski nadzor, vrši pripremu kadra i trening osoblja i sl. Služba može imati konsultativne komitete i druga stručna tela po pojedinim specifičnim pitanjima.

1.3. Funkcije službe zaštite od zračenja

Osnovni cilj službe je obezbedjenje da primlene doze budu na praktično mogućem najnižem nivou, u kom cilju stručne preporuke medjunarodnih organizacija služe kao rukovodstvo za akciju i mere;kao i obaveštavanje rukovodećih i nadležnih organa o pridržavanju normi i pravila.

Nadzor osoblja se ostvaruje dozimetriskom kontrolom, ocenom ekvivalentne doze i medicinskim nadzorom. Kontrola nivoa radioaktivnosti se ostvaruje ocenom sigurnosti uredjaja, klasifikacijom zona,propisivanjem i proverom radnih metoda, dozimetriskom kontrolom, a po potrebi dekontaminacijom i sl. Kontrola okoline počinje ocenom posmatranja sa stanovišta ugrožavanja okoline i dozimetriskom kontrolom.

Služba vrši kalibraciju i proveru instrumenata i metoda i vrši celokupnu potrebnu registraciju (izvora. lica i njihovog zdravlja, primljenih doza, preduzetih mera, mera nadzora i sl.).

Služba predlaže donošenje pravila rada i mera.Za normalne uslove rada donose se stalna i opšta pravila, posebna - za specifične operacije i mere kontrole, a za akcidentalne uslove donosi propise za klasifikaciju akcidenata i redosled mera za svaki pojedini moguć slučaj. Služba takodje priprema i usavršava kadrove za zaštitu od zračenja i inicira ili sama vrši potrebna naučna istraživanja.

1.4. Organizacione mere

Služba zaštite od zračenja održava administrativne veze sa ostalim organima i službama u radnim organizacijama i van njih po svim nivoima, vidovima i potrebama, obezbedjuje funkcionisanje i drugih službi u slučaju potrebe, brine se o kadrovima i sl.

Primedba. Sva podvlačenja u gornjem tekstu izvršili su autori, želeći na taj način da izbegnu izvlačenje svojih zaključaka o potrebni postojanja odgovarajuće organizacije - službe na višim nivoima či je je postojanje i rad tek garancija da će i u radnoj organizaciji biti sprovedene i poštovane sve propisane mere zaštite od zračenja, kao i da će samo u slučaju postojanja opštih pravila i propisa moći da se obezbedi adekvatna i željena zaštita.

2. Naše dileme

Prilikom izrade prvih prednacrta teza novog zakona o zaštiti od jonizujućeg zračenja, koji je trebalo da postavi odgovarajuće kriterijume i da na njihovoj bazi razradi odgovarajuću regulativu i postavi adekvatnu organizaciju službe zaštite, kao i prilikom prvih diskusija o tim tezama, javilo se nekoliko grupa nedovoljno jasno rešenih pitanja:

1) Zaštita od zračenja kao i zaštita životne sredine spadaju u pitanja koja "Federacija uredjuje a republika obezbedjuje".Ova formulacija možda ima političkog smisla, ali je nerazumljiva za sprovodjenje. Ako regulativa pripada Federaciji prema čijim propisima republika treba da se ravna i da obezbedi sredstva za sprovodjenje, - stvorena je mogućnost za različite ocene potreba zaštite, nivoa i obima sprovodjenja mera, pa i materijalnog obezbedjenja službe. što ne bi bilo pogrešno kada bi zavisilo samo od nivoa primene izvora zračenja.

2) Zaštita od zračenja je direktna zaštita čoveka od štetnog dejstva odgovarajućeg agensa, zračenja ili materije, u ma kom vidu i u ma kojoj količini, koji deluju bilo gde jonizovanjem sredine, tj. zaštita od fenomena bilo na radnom mestu, bilo u okolini.Nasuprot tome, zaštita životne sredine kao takve je nešto različito i znači posrednu zaštitu čoveka od svih štetnih uticaja i materija.Oba principa ne mogu biti ravnopravna u jedinstvenoj službi.

3) Jonizujuće zračenje deluje direktno na čoveka iz izvora zračenja (čak i kroz razne materije), a može biti u vidu kontaminanta preneto vazduhom, vodom i životnim namirnicama, preko tla i raznih predmeta preneto do čoveka, pa i uneto u njihov organizam. Medjutim, regulativa o zaštiti vazduha, voda i sl. preneta je u nadležnost republika, koje, šta više, moraju doneti svoje zakona u kraćem roku od federacije. Pitanje je da li u republičkim propisima treba obuhvatiti i jonizujuće zračenje u okviru zaštite vazduha i voda, a ako treba, kako obezbediti jedinstvo kriterijuma, odn. službe zaštite.

4) U nekim oblastima federacija je zadržala pravo da reguliše bezbednost i zaštitu od opasnih materija, dok je republikama ostalo da regulišu sve ostalo, kao na pr. promet, primenu, rukovanje,uslove za osoblje, nadležne organe, da donose dopunske propise, uputstva i sl. Radioaktivne materije (kao i mnoge druge) nisu toliko štetne samim svojim postojanjem i prisustvo na nekom mestu, posebno ako su preduzete odgovarajuće mere zaštite. Glavna opasnost nastaje pri njihovom stavljanju u promet, korišćenju..., drugim rečima samo pri aktivnostima i manipulacijama sa izvorima zračenja mogu nastati prave opasnosti. Tako je došlo do kolizije prava i dužnosti da se na jednom nivou reguliše rad, a na drugom - višem, mere bezbednosti i zaštite.

5) Pri radu sa izvorima zračenja, pri njihovom prenosu, kao i pri radu nuklearnih postrojenja može doći do slučajeva kada nastaju situacije opasne po okolinu. Zaštita okolne sredine u tom slučaju znači pre svega zaštitu rada i obezbedjenje uslova pravilnog rukovanja, eksploatacije i sl., a zatim i preduzimanje i adekvatnih mera u okolini. Vidi se da se zaštita može regulisati sa dva aspekta: zaštita rada i zaštita okoline. Medjutim, tako bi se izgubila jedinstvenost službe.

6) Zaštita životne sredine ne može se obazirati na regionalnu i teritorijalnu podelu, isto kao ni zaštita od opasnosti ozračivanja, posebno onih koje se mogu preneti vazduhom, vodom i sl. Akcident na jednoj nuklearnoj elektrani može prouzrokovati zagadjenje većeg dela toka reke, čak i sliva i izazvati medjunarodni problem. Slična situacija može nastati kontaminacijom vazduha. Problemi mogu prerasti kompetentnosti lokalnih i republičkih organa. Kao što druge države mogu biti zainteresovane hoćemo li mi zagaditi sliv Dunava, tako i mi treba da se interesujemo može li neka država zagaditi Dravu, Dunav ili neku drugu reku pre no što ona dospe do naših granica (a ima indicija da se baš to radi). U vreme kada i kod nas i van naših granica nastaju ovakvi problemi, mi smo ukinuli jedini organ na nivou federacije bez adekvatne zamene koji je bio ovlašćen i dužan da procenjuje mogućnosti nastajanja takvih stanja i da daje mišljenja i saglasnosti na izbor lokacije nuklearnih objekata - SKNE (nije problem ukidanja SKNE već nepostojanje saveznog organa koji bi preuzeo ove odgovornosti). Slična je situacija o zbrinjavanju radioaktivnih otpadaka.

7) Kao malo koji štetni agens zračenje nije dostupno čulima i čovek ne oseća prisutnu opasnost, koja, pored ostalih može imati i trajne genetske posledice po čitave grupe stanovnika. Znači da sama priroda opasnosti i posledica nameću potrebu postojanja i dobre organizovanosti i opremljenosti službe zaštite u širim razmerama, koja bi se uspešno suprostavila opasnostima ma gde nastale i ma kako se budu rasprostirale.

8) Javlja se tendencija da se zaštita od zračenja reguliše kroz dva zakona - o zaštiti rada i o zaštiti životne sredine. Problem nije u tome koliko će zakona biti, već da se očuvaju jedinstveni kriterijumi i da se formira jedinstvena služba. Zato ima i pravnog i organizacionog osnova za obe materije, i zaštita rada i za-

tita sredine spadaju pod isti savezni sekretarijat. Znači postoji mogućnost da se sva ova sporna pitanja regulišu na najbolji mogući način.

Osnovni tehnološki principi za regulativu i službu bili bi sledeći:

a) Postojanje izvora zračenja pretstavlja potencijalnu opasnost, te izvor mora biti zaštićen.

b) Rad sa izvorom pretstavlja direktnu opasnost za radnika, te se radnik mora zaštititi (treba se kloniti demagogije da se merama zaštite ova opasnost može sasvim otkloniti, jer je to protivno prirodi stvari).

c) Akcident sa izvorom zračenja ili u nuklearnom postrojenju može da prestavlja i širu opasnost po okolinu i okolno stanovništvo, te se i oni moraju zaštititi.

d) Mere zaštite moraju biti tehnički moguće i ekonomski opravdane i uvek prestavljaju kompromis izmedju potreba i uslova rada s jedne strane i mogućnosti sa druge. Zato uvek postoji odredjeni rizik koji se prihvata donošenjem propisa i pravila i zbog čega država stavlja izvore i mere zaštite pod nadzor.

3. <u>Šta se mora regulisati - domen službe</u>

1) Zaštita izvora kao takvog, jer opasnosti ne zavise samo od mesta primene ili skladištenja, već i od vrste, količine, intenziteta zračenja i stanja izvora.

2) Uslovi rada, tj. mere zaštite pri radu sa izvorom, i to samog radnika, kao i njegove uže i šire okoline.

3) Dozvoljene doze ozračivanja, način njihovog merenja i utvrdjivanja u skladu sa dostignućima nauke.

4) Radnik mora biti zaštićen adekvatnim medicinskim nadzorom njegovog zdravlja, ličnim i kolektivnim sredstvima zaštite, ali i odgovarajućom stručnom spremom za obavljanje odredjenih poslova.

5) Mere i planovi zaštite u okolini većih izvora, kao i pri prenosu većih izvora zračenja i nuklearnih materijala.

6.) Poznavanje stanja u životnoj sredini, tj. prirodne radioaktivnosti, praćenje mogućih kontaminacija i puteva njihovog prenošenja.

666

7) Uslovi pod kojima se sotvaruje pravo na rad sa izvorima zra čenja i za radne organizacije i pojedince, kao i -obaveza poštovanja propisa pri radu zavisno od vrste rada.

8) Poštovanje odgovarajućih medjunarodnih konvencija i preporuka.

9) Medjuresorska saradnja (na pr. medicinsko ozračivanja stanov ništva, rudnici u radioaktivnim stenama, prenos radioaktivnih materi jala, primena izvora u privredi, poljoprivredi...).

10) Uslovi za izbor lokacije nuklearnih i radijacionih instalaci ja, od mikrolokacije za smeštaj rentgen aparata do lociranja nuklear nih elektrana, stokova radioaktivnih otpadaka, naučnih laboratorija i sl.

11) Uslovi za kvalitet i proizvodnju merne i zaštitne opreme, za njihovu kontrolu i atestiranja.

12) sistem evidencije i informisanja u oba smera kao i u širinu: izveštavanje o merama, primljenim dozama, pokretanje inicijativa,davanje upustava, korišćenje rezultata nauke itd.

13) Usmeravanje naučnih istraživanja i razvoja.

14) Načine i uslove kontrole svih mera zaštite i obezbedjenje njihovog poštovanja (pravo inspekcije, kaznene mere i sl.).

15) Mogućnost brzog i elestičnog rešavanja novo nastalih problema nepredvidjenih postojećim propisima i postupcima.

Jedan deo ove regulative i službe će biti zasnovan na medjunarodnim konvencijama i medjunarodno priznatim kriterijumima,dok bi se ostalo moglo ostvariti medjurepubličkim dogovorom nadležnih orga na i stručnjaka.

## 4. Kako regulisati - oblik i organizacija službe

Iz dosadašnjeg izlaganja jasno proizilazi da sam pojam zaštite od jonizujućih zračenja obuhvata istovremeno i zaštitu rada i radni ka, okoline i imovine. To zaštiti daje društveni karakter i zato za zajednicu predstavlja poseban interes. Zbog delovanja zračenja na veliku daljinu štetno dejstvo nema nikada lokalni karakter, a suma štetnosti je jednaka zbiru primljenih doza svih grupa stanovništva. Zato se osnovne mere svode na "minimiziranje" opasnosti (tj.primlje-

nih doza), suzbijanjem štetnih faktora u radnoj i životnoj sredini i modifikacijom i zaštitom istih sredina, a kao krajnja mera i jačanje odbranbenih sposobnosti čoveka (benificije u materijalnim primanjima radnom vremenu i stažu, godišnjem odmoru, zaštita preozračenih itd.)

Osnovni oblik zaštite od zračenja je adekvatan nadzor nad izvorima i merama kroz odgovarajuću službu (Slične službe u SFRJ su postojale i postoje i dalje, kao Civilno vazduhoplovstvo, plan,društveno knjihovodstvo, statistika, urbanizam i sl.) koja bi počinjala u radnoj organizaciji, pa bi se preko komune i republike (naravno i pokrajine) završavala u Federaciji i bila preko nje uključena i u medjunarodne organizacije. Služba bi morala da ima dodirne tačke sa zdravstvom, privredom, naukom, školstvom, odbranom i sl

Osnovni način delovanja službe bi bila preventiva, tj. sprečavanje štetnog dejstva zračenja pre nego što do njega dodje u granicama mogućeg, a osnovni princip bi bio samostalnost svakog organa u najvećoj mogućoj meri (u skladu sa moralnim i zakonskim odgovornostima i materijalnim i finansijskim mogućnostima, zakonskim kompentencijama i sl.) ali i povezanost prema nivoima društvene hijerarhije u okvirima obima primene izvora. Ovom prilikom bi trebalo striktno izdvojiti upravne funkcije od inspekcijskih poslova, što do sada nije bio slučaj u dosadašnjoj organizaciji zaštite od zračenja.

Uslovi pod kojima treba organizovati službu razlikuju se od prethodnih, a najviše time što je promenjen položaj republika i radnih organizacija u smislu većih ovlašćenja i nadležnosti. Zbog toga bi trebalo regulisati samo osnovne odnose neophodne za obezbedjenje jedinstvenosti i predvideti neophodne instrumente za obezbedjenje izvršenja mera i propisa. Istovremeno treba smanjiti u granici mogućeg normativnu delatnost organa federacije (eventualno preko društvenih dogovora stručnjaka u okviru njihovog udruženja JDZZ, kao pokretača inicijativa i njihovog razradjivača) a takodje treba proširiti prava republika, pokrajina i radnih organizacija.

Ovaj zadatak ne bi bilo teško izvršiti da se on istovremeno ne komplikuje sa potrebom da se istovremeno otklone sve dosadašnje neuskladjenosti i nepotpunosti i regulative i službe, što je tehnički teško izvodljivo u jednom vrlo decentralizovanom sistemu, jer nema sličnih presedana.

U praksi se mora poći od toga na svakom mestu gde se radi sa ma

kakvim izvorom zračenja mora postojati odgovarajući organ zaštite (od jednog čoveka do cele organizacije - prema obimu i nivou aktivnosti i opasnosti). Za izdavanje odgovarajućih odobrenja, nadzor nad sprovodjenjem mera mora postojati i odgovarajući organ u komuni, pokrajini, republici i federacija, a već postoje stručna tela na medjunarodnom nivou. Svaki od ovih organa imaće ili neće imati:

- Odgovarajuća ovlašćenja za donošenje normi i standarda, za održavanje vertikalnih i horizontalnih veza, za projektovanje,proizvodjenje, atestiranje i primenu mera zaštite, za medicinski nadzor,za vodjenje evidencije, za donošenje odluka i dozvola, za prikupljanje odredjenih izveštaja, za izdavanje uputstava...

- Odgovarajući obim poslova, dužnosti i odgovornosti u skladu sa ovlašćenjima i materijalnim sredstvima i drugim,

- Odgovarajuće nadležnosti i organe službe, za na pr. mere zaštite, vršenja dekontaminacije, merenja, za vršenje nadzora, atestiranje i kalibraciju

- Odgovarajuće obaveze u koordiniranju poslova zaštite sa drugim službama, usmeravanju razvoja odredjenih naučnih istraživanja, razvoja službe, pripremanje i usavršavanje kadrova, tumačenje propisa, intervencije na drugim mestima po potrebi, pružanja medjunarodne pomoći i sl.

- itd.

Zaključaj je već sadržan u tekstu, a izdvojen on bi glasio:

Potrebno je, radi zaštite radnika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja i njihove bliže i dalje okoline, organizovati službu zaštite od zračenja i to od radne organizacije do federacije.

VI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU
OD ZRAČENJA, OHRID, 25.-28. APRILA 1972. GOD.

Tomislav Veljković
Srđjan Mitrović
Institut "Boris Kidrič", Vinča

# POSEBNA PRAVA LICA KOJA RADE SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Kratak sadržaj. Rad, polazeći od sadašnjih zakonskih propisa, ukazuje na posebna prava radnika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja, zatim na način i mogućnosti korišćenje tih prava i najzad na moguća rešenja kroz sadašnje i buduće propise.

## I Uvodne napomene

Pravo je sistem društvenih normi koje sankcioniše država i koje predstavljaju volju vladajuće klase, a imaju za cilj da održe i zaštite dati način proizvodnje. Pravo je, dakle, oružje u rukama vladajuće klase za zaštitu datog načina proizvodnje i regulisanja svih drugih odnosa u društvu koji su korisni za vladajuću - u našim uslovima - radničku klasu. Tu spadaju sva ona pitanja koja su vezana za svakodnevni život čoveka. To bi bila samo jedna uopštena napomena o pravu kao takvom. Ona treba da posluži lakšem razumevanju osnovnih postavki ovog rada.

## II Pravo na rad

Radni odnosi ili pravo na rad kod nas je regulisano Ustavom kao osnovno pravo radnog čoveka. Pravo na rad je u osnovi političko pravo gradjana. Ono datira još od februarske revolucije 1848. godine, a u nas od 1945. godine, odnosno od Ustava nove socijalističke države. Ono, za nas znači, pravo gradjanina da traži odgovarajuće zaposlenje prema svojim umnim i fizičkim sposobnostima, a s druge strane obavezu društva da stvori takve uslove koji će

omogućiti oživotvorenje tog prava. Pravo na rad je jednako za sve gradjane naše zemlje pod jednakim uslovima bez obzira na pol, uzrast, veru, nacionalnost i društveno poreklo.

III Prava iz radnog odnosa

Iz tog osnovnog prava na rad za ona lica koja su u radnom odnosu postoji grupa prava iz radnog odnosa i to: pravo na zaštitu na radu, pravo na lični dohodak prema rezultatima rada - učinku, pravo na samoupravljanje, pravo na zdravstvenu zaštitu, pravo na penzijsko i invalidsko osiguranje. Zatim tu dolaze posebna prava omladine, radnica - trudnica i majke sa malom decom i lica koja rade pod posebnim uslovima rada, i dr.

Treba odmah reći da je mnogo lakše pisati i govoriti o načelnim i osnovnim pitanjima prava nego o konkretnim i posebnim - specifičnim. Razlozi za to su opšte poznati. Medjutim, mi smo želeli upravo da govorimo o posebnim problemima radnika iz radnog odnosa, odnosno samo o posebnim pravima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja. Svesni smo da to nije jednostavno i lako a posebno u sadašnjim uslovima kada se menjaju i uskladjuju zakonski propisi i u materiji kakva je zaštita od jonizujućih zračenja. Želimo da iznesemo samo onoliko i ona pitanja koliko nam mogućnosti dozvoljavaju i da pokrenemo diskusiju i akciju u cilju definisanja i utvrdjivanja tih posebnih prava, upravo sada kada se uskladjuju postojeći i donose novi zakonski propisi. Dalje to treba da doprinese jedinstvenom $ jednakom tretiranju svih lica koja rade pod istim uslovima sa izvorima jonizujućih zračenja u našoj zemlji. A do sada, kao što je poznato, i pored jedinstvenih propisa, nije jednako postupano u svim slučajevima.

II Posebna prava iz radnog odnosa

Efekti jonizujućeg zračenja na čoveka, iako još do kraja nisu izučeni, uglavnom su poznati. Ovde ćemo navesti samo one koji su od uticaja na posebna prava radnika.

1. Nema idealne zaštite, pa ni dovoljno dobre, od zračenja elektromagnetne prirode (gama i X zraci) i

nekih čestica (neutroni, visoko energetski protoni i sl.). Znači svaki radnik ipak prima neku dozu.

2. Efekti zračenja su izučeni statistički, što znači da nema zračenja i doza, ma kako malih, koji ne mogu izazvati neko štetno dejstvo, mada je u principu stepen štetnosti srazmeran dozi.

3. Radioaktivne materije mogu biti raznim putevima unete u organizam, kada je njihovo dejstvo još štetnije i trajnije.

4. Čovek nema čula za ovu vrstu opasnosti, što znači da im može biti i nevoljno izložen.

5. Jednokratno, akcidentalno ozračivanje, može izazvati somatske efekte srazmerno primljenoj dozi i stanju organizma, od radijacionih bolesti do trajnih posledica i smrti.

6. Stalna izloženost zračenju, tj. svakodnevno primanje malih doza pri radu, može u konačnom zbiru dati teže posledice od jednokratkog ozračivanja.

7. Jonizujuće zračenje može imati i genetske posledice, koje sa sve širom upotrebom izvora zračenja i sve masovnijim ozračivanjem stanovništva mogu da ugroze grupe stanovništva ili još šire.

8. Najosetljiviji na štetno dejstvo zračenja su fetusi, deca i omladina, ljudi i žene u reproduktivnom periodu, trudnice, a zatim izvesne grupe bolesnika.

9. Pod povoljnim uslovima čovekov organizam izložen zračenju se može oporaviti po prestanku ozračivanja.

Na osnovu ovih štetnih dejstava efekata posebna prava lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, prema sadašnjim propisima su:

a - pravo na zaštitu na radu

b - pravo na skraćeno radno vreme

c - pravo na beneficirani radni staž

d - pravo na duži godišnji odmor

e - pravo na odgovarajuću nagradu - lični dohodak

f - pravo na zaštitu žena i omladine.

a - Pravo na zaštitu na radu

Osnovni princip je da radnika treba zaštiti na radu, odnosno obezbediti takve uslove rada gde neće biti opasnosti po život i zdravlje radnika. Prema tome, težište je na potpunoj zaštiti, a tek potom na razne, tzv. beneficije. Zaštita na radu regulisana je Osnovnim zakonom o radnim odnosima a zatim Zakonom o zaštiti na radu i Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja, kao i njihovim pratećim propisima. Svi ti propisi dosta detaljno i precizno regulišu pojedine vidove zaštite na radu. Po propisima o zaštiti na radu spadamo medju razvijenije industrijske zemlje. Medjutim, postavlja se pitanje primene u praksi, odnosno sprovodjenje propisa u život. Moramo odmah reći da tu postoji velika šarolikost i to od poslednje primene propisa pa do apsolutnog nepoštovanja i to pogotovu kao što je u pitanju zaštita od jonizujućih zračenja. Razlike se mogu primetiti od jedne do druge radne organizacije, a nastaju zbog različitog internog regulisanja i nedovoljne kontrole.

Ali kako sve mere zaštite bez obzira kakve su, nisu još takve da pružaju potpunu zaštitu na radu, to se zavisno od vrste i stepena opasnosti, pribegava propisivanju raznih benificija.

b - Pravo na skraćeno radno vreme

Pravo na skraćeno radno vreme imaju oni radnici koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja pod uslovima iz čl. 38. Osnovnog zakona o radnim odnosima. Po ovom propisu o pravu na skraćeno radno vreme odlučuje radna organizacija zavisno od vrste i broja izvora zračenja, njihove jačine i vremena koje se provodi pored istih. Akt radne organizacije kojim se uvodi skraćeno radno vreme podleže davanju saglasnosti republičkog organa nadležnog za poslove rada i radnih odnosa. Prema dosadašnjim propisima,kao što se vidi, skraćeno radno vreme utvrdjivale su same radne organizacije, tj. prema radnom mestu. Da li će to pravo radnih organizacija zadržati republički propisi, koji su u pripremi, ostaje da se vidi. Mi smatramo da nema potrebe da se ono ukida.

Možda bi bilo dobro, a radi objektivnijeg i jedinstvenog rešenja ovog pitanja, propisati saveznim propisom doze ozrači-

vanja u datom vremenu kao osnovu za utvrdjivanje skraćenog radnog vremena. Sadašnji propisi bez nekih opštih kriterijuma, pružaju mogućnost za nejednaka rešenja i velike razlike u praksi.

c - Pravo na beneficirani radni staž

I ovo je pravo dato radnicima koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja ali ne svim već samo pojedinim kategorijama. Na osnovu samog zakona (Službeni list SFRJ, br. 17/68,20/69 i 19/71) pravo na uvećani radni staž imaju radnici koji rade na reaktorima, akceleratorima i preradi nuklearnog goriva. Zakon je dao mogućnost da radne organizacije, u zajednici sa Zavodima za socijalno osiguranje utvrde i druga radna mesta na kojima se radni staž uvećava. I ovde je dato pravo radnim organizacijama da same predlažu radna mesta na kojima se radni staž uvećava,odnosno računa uvećan i učestvuju u odlučivanju o tome. Samo i ovde, kao i kod skraćenog radnog vremena, nisu dati neki bliži kriterijumi za ovo utvrdjivanje. Zbog toga se i ovde mogu očekivati nejednaka rešenja za jednake uslove rada. A sve to može negativno da utiče na radnike koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja i na poslovima zaštite od tih zračenja.

d - Pravo na duži godišnji odmor

Godišnji odmor predstavlja jedno od osnovnih prava iz radnog odnosa. Korišćenjem godišnjeg odmora radnik se fizički i psihički odmori - rekreira od čega imaju koristi radne organizacija u kojoj radnik radi i sam radnik koji je u pitanju. Zbog toga je zakonom propisano da se radnik ne može odreći prava na korišćenje godišnjeg odmora niti mu radna organizacija može uskratiti korišćenje.

Pravo na duži godišnji odmor imaju svi radnici koji rade pod posebnim uslovima rada. Rad sa izvorima jonizujućih zračenja smatra se rad pod posebnim uslovima. Zato radnici koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja i na poslovima zaštite od tih zračenja, imaju pravo na duži godišnji odmor.

Godišnji odmor radnika traje 14-30 radnih dana. Duži godišnji odmor traje od 30 pa do 60 radnih dana (čl.65.tač.3.

Zakona o radnim odnosima). Dužinu, vreme i način korišćenja godišnjeg odmora, utvrdjuje sama radna organizacija, zavisno od uslova rada (težina rada, složenosti rada, uticaj rada i radne okoline na radnika, stepen fizičke i psihičke napregnutosti u radu i stepena izloženosti dejstvu jonizujućeg zračenja). Zakon je obavezao da se godišnji odmor u trajanju dužem od 30 dana mora koristiti u dva dela. Ostalo je ostavljeno radnim organizacijama da same urede svojim propisima.

e - Pravo na odgovarajuću nagradu - lični dohodak

Lični dohodak radnika prema osnovnim zakonima o radnim odnosima, zavisi od vrste radnih zadataka, složenosti rada, stepenu izloženosti štetnim uticajima, posebnih uslova rada i drugo. Rad pod posebnim uslovima rada smatra se i rad pod vodom, rad u kesonima, rad koji je izložen jonizujućem zračenju i dr. Prema zakonskim propisima nije odredjen poseban dodatak za rad sa izvorima jonizujućih zračenja, ali se takav rad smatra radom pod posebnim uslovima rada i kao takav treba posebno da se nagradjuje, odnosno kategoriše u sistemu nagradjivanja u okviru radne organizacije.

Kao što se vidi postoji više ravnopravnih osnova koje utiču na visinu ličnog dohodka radnika. Bitno je koje poslove radnik obavlja i sa kakvim rezultatom, što je u tesnoj vezi sa njegovom stručnom spremom, radnim navikama, umešnošću u njegovom radu - radnim sposobnostima, zatim pod kakvim uslovima vrši poslove radnog mesta i dr. A sve te kriterijume i uslove utvrdjuje sama radna organizacija prema svojim specifičnim uslovima rada i poslovanja.

Jedan broj radnih organizacija, koristeći se ranijim propisima koji su propisivali pravo na poseban dodatak lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja, zadržao je poseban dodatak za rad sa izvorima jonizujućih zračenja umesto da to utvrdi kroz ukupan lični dohodak radnog mesta. Ta praksa nije suprotna zakonu odnosno odredjivanje posebnog dodatka za posebne uslove rada je slično što i odredjivanje posebnih uslova rada na radnom mestu. Suština je ista, ali se samo forma razlikuje.

f - Pravo na zaštitu žena i omladine

Zakonom o radnim odnosima, zakonom o zaštiti na radu i Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućeg zračenja predvidjene su odredjene zabrane odnosno posebna prava žena radnica, žena majke sa malom decom i omladine. Ti propisi dovoljno zaštićuju kategorije radnika o kojima je reč i to jedinstveno za celu zemlju. Prema članu 34 OZRO radna mesta na kojima se ne mogu rasporedjivati radnici mladji od 18 godina su ona radna mesta na kojima se vrše pretežno fizički poslovi, na kojima se rad obavlja pod zemljom, i radna mesta na kojima se obavljaju radovi koji bi mogli štetno i sa povećanim rizikom da utiču na zdravlje i život mladih radnika i žena s obzirom na njihove fizičke i psihičke sposobnosti.

Prema članu 24 Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju raditi lica mladja od 18 godina i žene za vreme celog toka trudnoće, a ako se radi o otvorenim izvorima zračenja ni žene za vreme dojenja deteta.

Na radnim mestima izloženim jonizujućim zračenjima ne smeju raditi ni lica čije zdravstveno stanje ne odgovara propisanim uslovima.

Na izloženi način zakonski propisi regulišu zaštitu omladine i žena u radnom odnosu a posebno onih koji rade sa izvorima zračenja. Pored toga, pod zakonskim propisima su sva ova prava bliže razradjena i utvrdjena. Potrebna je dosledna primena istih.

V z a k l j u č a k

U sadašnjim uslovima, kada se menjaju svi savezni i republički zakoni i uskladjuju sa Ustavom, teško je nabrojati sva prava, a posebno posebna prava lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja. Medjutim, ovde su istaknuta samo osnovna prava koja postoje po sadašnjim propisima i ukazano na neophodnost jedinstvenog regulisanja prava lica koja rade sa izvorima jonizujućeg zračenja, bez obzira da li se to regulisalo na nivou federacije ili republika.

Iz izloženog se vidi da su i do sada radne organizacije bile te preko kojih su radnici realizovali svoja posebna prava po osnovu rada sa izvorima jonizujućih zračenja, a na osnovu Ustavnih amandmana to će biti još i više. Već je ukazano na postojanje neujednacenosti u ostvarivanju ovih prava, koje nastaju zbog različitih kriterijuma u primeni, nivoa poznavanja materije i ekonomskog položaja radne organizacije. Bilo bi korisno da se pri Jugoslovenskom društvu za zaštitu od zračenja formira posebna komisija koja bi radila na utvrdjivanju jedinstvenih kriterijuma za posebna prava radnika koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja, i da ih u vidu preporuka dostavljaju republikama i radnim organizacijama.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Lj.Melovski, M.Nikolić i A.Fertilio
IBK - Vinča, "Prva iskra" - Barič i Hemijska industrija - Pančevo

# OBUKA KADROVA ZA INDUSTRIJSKU RADIOGRAFIJU

Polazeći od stvarnih potreba naše industrije u Institutu "Boris Kidrič" je u saradnji sa Jugoslovenskim društvom za ispitivanje materijala izradjen nov program za obuku kadra iz oblasti industrijske radiografije.

Povoljnim odnosom broja časova praktične i teorijske nastave i izborom kvalitetnog predavačkog kadra postignuti su dobri rezultati u obuci kadrova za industrijsku radiografiju, o čemu svedoče rezultati na ispitima i uspešan rad kursista u preduzećima.

## UVOD.

U svim oblastima savremene tehnologije postavljaju se sve strožiji zahtevi u pogledu kvaliteta proizvoda. Ovi zahtevi su utoliko strožiji ukoliko se radi o visoko odgovornim elementima, gde je neophodna potpuna homogenost, odsustvo unutrašnjih i spoljašnjih grešaka.

Stoga je u savremenoj kontroli materijala bez razaranja razvijen niz metoda od kojih svaka ima svoju oblast primene, prednosti i nedostatke u odnosu na druge. Medju njima je radiografija - primena X i gama zračenja, našla najširu primenu, a znatan broj stručnjaka je zaposlen na razvijanju starih i uvodjenju novih metoda ili na njihovoj direktnoj primeni. Naročito se ova druga grupa - operatorski kadar, zbog velike fluktuacije, neprekidno obnavlja, što još više povećava broj onih koji se, duže ili kraće vreme, bave praktičnom primenom radiografskih metoda.

Za obuku ovog kadra postoje, u principu, nekoliko mogućnosti:

1. Obuka na fakultetima i srednjim školama;
2. Vlastita obuka (samoobuka);
3. Obuka na radnom mestu;
4. Obuka na kursevima pri institutima i stručnim organizacijama;

5. Obuka na kursevima kod proizvodjača opreme.
Prvi vid obuke kod nas i ne postoji. Na odgovarajućim fakultetima i srednjim školama se sem informativnih predavanja ova oblast skoro i ne obradjuje. Zadnji vid obuke se uglavnom svodi na upoznavanje same opreme. Vlastita obuka se najčešće odnosi na visoko kvalifikovan kadar, dok se obuka na radnom mestu uz pomoć kvalifikovanijih lica, odnosi uglavnom na operatorski kadar. I jedna i druga ne smeju da budu jedini oblici sticanja znanja, već samo dopuna stečenih znanja i usavršavanje.

Jedini vid organizovane obuke iz industrijske radiografije kod nas su kursevi pri naučnim institutima i stručnim organizacijama. Pozitivni zakonski propisi ("Sl.list SFRJ" br.31/65) ograničavaju broj institucija pri kojima može da se vrši obuka za rad sa izvorima jonizujućeg zračenja. Medjutim, kriterijumi na osnovu kojih se obuka vrši, kao i programi nastave, za sada su jedino u nadležnosti onih koji ovu obuku sprovode. Stoga postoji velika raznolikost u pogledu dužine trajanja kurseva, programa i sadržaja nastave, odnosa izmedju teorijskih predavanja i praktičnih vežbi itd.

U svim programima obzirom na karakter same metode neminovno su zastupljene dve komponente:

1. Upoznavanje same radiografske metode i tehnika rada;
2. Upoznavanje principa zaštite od zračenja i obuka u bezbednom rukovanju radioaktivnim materijalima.

U zavisnosti od toga gde se kurs održava obično preovladava jedna ili druga komponenta. U Nuklearnom institutu "Boris Kidrič" npr. na Bazičnim kursevima za obuku za rad sa radioaktivnim materijalima velika pažnja je posvećena sticanju znanja iz dozimetrije i zaštite od zračenja, dok je samoj radiografskoj tehnici posvećeno $7^h$. Obično je suprotno u stručnim organizacijama koje se

bave razvojem i primenom radiografskih metoda.

Očigledno je da postoji tesna povezanost stručnog dela sa problemima zaštite na radu i da je dobro poznavanje tehnike rada bitan uslov i za bezbedan rad sa radioaktivnim materijalima. Iz ovog razloga bilo je neophodno ili proširiti deo programa, koji se odnosi na radiografsku tehniku, na Bazičnim kursevima ili organizovati specijalizovane kurseve isključivo namenjene ovom kadru.

U razmatranju ovog problema sa predstavnicima većih industrijskih preduzeća, koja u svom sastavu imaju dobro razvijene laboratorije za kontrolu bez razaranja, organizacija specijalizovanih kurseva prihvaćena je kao bolje rešenje.

U saradnji sa Jugoslovenskim društvom za ispitivanje materijala bez razaranja /Regionalni odbor SRS/ formirana je radna grupa za izradu osnovnih kriterijuma na osnovu kojih je izradjen program obuke kadrova iz industrijske radiografije.

PRIPREMA PROGRAMA

Pred ovu radnu grupu postavila su se tri osnovna pitanja (2):

- koga obučavati;
- za koju vrstu poslova;
- za koje vreme.

Koga obučavati?

Jedna šira anketa je ukazala da je našoj industriji potreban inženjersko-tehničarski i laborantski kadar.

Dok za prvu grupu nije bilo dileme, u drugom slučaju se postavilo pitanje potrebnih kvalifikacija kursista. Javila su se dva mišljenja. Po prvom potrebno je obučavati kadar koji već poseduje odredjeno iskustvo u oblasti u kojoj će vršiti kontrolu (zavarivanje, livenje i sl.). Po drugom je za kurs potrebno samo osnovno znanje da bi kursista mogao pratiti teorijski deo nastave.

Uzrok ove dileme leži u vrsti posla koji operatora očekuje. To je sa jedne strane manuelni posao, a sa druge strane zahteva odredjena znanja i poznavanje tehnologije, da bi se primenio odredjen način kontrole i primenila pravilna tehnika.

Za koju vrstu poslova obučavati?

Već prvo pitanje nametnulo je dvojnu namenu kursa. Sa jedne strane potrebno je obučiti kadar za korektno sprovodjenje kontrole uz dobro poznavanje tehnologije, mogućih grešaka, izbor metode, organizaciju kontrole i zaštite, jednom rečju za samostalni rad, a sa druge strane osposobiti dobro operatore za korektno vršenje kontrole u dobro organizovanim laboratorijama.

Za koje vreme?

Pri odredjivanju vremena trajanja kursa potrebno je voditi računa o dva na izgled suprotna zahteva: zahtev industrije za što kraćim vremenom obuke i što bržim povratkom personala u fabrike i zahtevom za što dužim vremenom obuke kako bi kursisti stekli ne samo dobro teorijsko znanje, već i iskustvo na praktičnom radu.

Polazeći od ovih osnovnih pitanja radna grupa je stvorila kriterijume za izradu programa obuke iz oblasti industrijske radiografije.

1. Namena kursa

Namena kursa je da se stvori kadar sposoban da korektno sprovodi industrijsku radiografiju. Za inženjersko-tehničarski kadar akcenat je na onim oblastima programa koji daje veću spremnost za samostalan rad. Za laborantski kadar na praktičnim vežbama koje daju odredjeno početno iskustvo, koje će im pomoći da se lako uključe u rad, po povratku u preduzeća.

2. Stručna sprema kadra koji se obučava

A. Tehnički, prirodno-matematički fakultet ili srednja tehnička škola (za inženjersko-tehničarski kurs)

B. VK ili KV radnici sa praksom u oblasti u kojoj će raditi (za laborantski kurs).

3. Program i trajanje kursa

Neophodno je da program kursa obuhvati sledeće oblasti:

- Osnove fizike jonizujućeg zračenja;
- Izvore jonizujućeg zračenja;
- Osnove radiografije;
- Radiografsku tehniku;
- Interpretaciju radiograma;
- Organizaciju kontrole i
- Zaštitu od zračenja.

Odnos fonda časova uvodnih predavanja i predavanja u oblasti zaštite prema stručnom delu kursa treba da je 1:3.

Posebna pažnja se mora poklon ti praktičnim vežbama. Odnos broja časova i vežbi i teorijskih predavanja treba da je 1:1, pri čemu najveći deo vežbi mora biti iz stručnog dela.

Trajanje kursa može biti najmanje mesec dana sa intenzivno organizovanom nastavom.

Na kraju kursa se obavezno polaže ispit.

4. Nastavno osoblje

Kako za fiziku jonizujućeg zračenja tako i za stručni deo iz industrijske radiografije neophodno je angažovati stručni kadar koji se neposredno bave oblastima koje predaje, i koji su se istakli u svom stručnom i pedagoškom radu.

PROGRAM KURSA

Na osnovu postavljenih kriterijuma izradjen je nov program za obuku kadra u oblasti industrijske radiografije.

1. Uvodni deo
   1.1. Značaj kontrole
   1.2. Postupci kontrole
   1.3. Osetljivost pojedinih metoda kontrole
2. Fizički osnovi
   2.1. Osnovni pojmovi o strukturi materije
   2.2. Radioaktivnost
   2.3. Interakcija zračenja sa materijom
   2.4. Metode merenja jonizujućeg zračenja
3. Izvori jonizujućeg zračenja
   3.1. Izvori X zračenja
   3.2. Izvori gama zračenja
   3.3. Vrste i karakteristike izvora gama zraka, koji se koriste u industrijskoj radiografiji
   3.4. Kontrola i podešavanje uredjaja za dobijanje jonizujućeg zračenja
4. Zaštita od jonizujućeg zračenja
   4.1. Biološko dejstvo zračenja
   4.2. Sredstva zaštite
   4.3. Karakteristike zaštitnih materijala
   4.4. Proračun debljine zaklona kod zaštite od primarnog i sekundarnog zračenja
   4.5. Dozimetrija
   4.6. Organizacija zaštite pri radu u laboratorijskim i terenskim uslovima
   4.7. Zakonske odredbe i propisi
5. Medicinska zaštita
6. Oprema
   6.1. Oprema za rentgenografiju
   6.2. Oprema za gamagrafiju (defektoskopi, kontejneri, manipulatori i sl.)
   6.3. Oprema za laboratorijsku obradu rentgen filma i pregled radiograma

6.4. Radiografski pribor
6.6. Oprema za zaštitu od zračenja

7. Postupak obrade industrijskog rentgen filma
7.1. Industrijski rentgen filmovi
7.2. Hemijska obrada industrijskog rentgen filma
7.3. Uloga, vrsta i oblast primene folija
7.4. Greške na radiogramu nastale u procesu snimanja i obrade rentgen filma
7.5. Mračna komora

8. Optimalni uslovi za dobijanje kvalitetnog radiograma
8.1. Osetljivost radiografske metode
8.2. Uticaj energije primarnog i sekundarnog zračenja na osetljivost metode
8.3. Zavisnost vidljivosti defekata od kvaliteta radiograma
8.4. Faktori koji definišu kvalitet radiograma

9. Radiografska tehnika
9.1. Priprema za kontrolu
9.1.1. Prikupljanje podataka o objektu
9.1.2. Izbor tehnike rada
9.1.3. Izbor sheme prozračavanja
9.2. Izvodjenje radiografske kontrole
9.2.1. Priprema objekata za kontrolu
9.2.2. Identifikacija radiograma
9.2.3. Postavljanje opreme
9.3. Dokumentacija o kontroli
9.4. Radiografska kontrola materijala i proizvoda
9.4.1. Kontrola zavarenih spojeva
9.4.2. Kontrola odlivaka
9.4.3. Kontrola negvozdenih materijala

10. Interpretacija radiograma
10.1. Osnovni principi očitavanja radiograma
10.2. Greške kod zavarenih spojeva
10.3. Greške kod odlivaka
10.4. Greške na opremi nastale u procesu eksploatacije
10.5. Odredjivanje dubine grešaka
10.6. Ocenjivanje radiograma
10.7. Domaći i inostrani propisi o prihvatljivosti zavarenih spojeva i odlivaka

10.8. Obim radiografske kontrole

11. Organizacija radiografske kontrole
    11.1. Organizacija radiografske kontrole u laboratorijskim i terenskim uslovima

12. Praktične vežbe
    12.1. Vežbe iz detekcije zračenja
    12.2. Vežbe iz zaštite od zračenja
    12.3. Vežbe iz obrade filma
    12.4. Vežbe iz radiografske tehnike
    12.5. Vežbe iz interpretacije radiograma

Po ovom programu obučavaju se kadrovi za industrijsku radiografiju u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" samo jednu godinu. Održana su tri kursa.

Z A K L J U Č A K

1. Polazeći od stvarnih potreba naše industrije u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" je u saradnji sa Jugoslovenskim društvom za ispitivanje materijala izradjen nov program za obuku kadra iz oblasti industrijske radiografije.

2. Povoljnim odnosom broja časova praktične i teorijske nastave i izborom kvalitetnog predavačkog kadra postignuti su dobri rezultati u obuci kadrova za industrijsku radiografiju, o čemu svedoče rezultati na ispitima i uspešan rad kursista u preduzećima.

3. Stalni interes za ovu vrstu obuke kadrova potvrdjuje još jednom da se obučeni kadar afirmisao u radu, i da je program pogodno izradjen.

4. Programski i terminski nesklad pri odredjivanju ovakvih kurseva ukazuje na potrebu dogovora o jedinstvenim kriterijumima za obuku i planiranim terminima.

VI simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Ohrid 25. do 28. aprila 1972.

Ćirić Vladimir, Radenković Dragoljub
Republički sekretarijat za opštenarodnu odbranu SR Srbije, Beograd

# OBUKA KADROVA IZ ZAŠTITE OD ZRAČENJA ZA POTREBE CIVILNE ZAŠTITE SRBIJE

## Rezime

U okviru sprovođenja mera zaštite od zračenja, civilna zaštita Srbije je najpre pristupila osposobljavanju kadrova-instruktora sa visokom stručnom spremom raznih specijalnosti, iz većih gradova (I nastavna baza). Oni treba da u svojim mestima organizuju obuku kadrova sa visokom, višom i srednjom stručnom spremom (II nastavna baza).

Isto tako se pristupilo opremanju, specijalnom opremom za merenje radioaktivnosti, hemijskih i sličnih laboratorija u zdravstvenim, industrijskim i drugim radnim organizacijama gde postoje takve laboratorije.

## Uvod

Civilnu zaštitu sačinjavaju dve komponente:

- jedinice civilne zaštite i
- mere civilne zaštite.

Obe komponente razvijaju aktivnost na planu zaštite od zračenja. Zaštita od zračenja je jedan od tri elementa zaštite od sredstava za masovno uništavanje, koja u civilnoj zaštiti ima naziv radijaciono-hemijsko-biološka (RHB) zaštita.

Civilna zaštita Srbije pridaje veliki značaj obuci svojih obveznika iz zaštite od zračenja. Obuka se sprovodi na različitim nivoima, u zavisnosti od stepena obrazovanja obveznika i konkretne potrebe.

Postoje dve kategorije obveznika jedinica civilne zaštite koji se obučavaju, pored ostalog, iz zaštite od zračenja:

1) Obveznici specijalizovanih jedinica RHB-zaštite izučavaju zaštitu od zračenja i to iz teorije neophodni minimum za razumevanje ove materije, dok se više pažnje poklanja praktičnom radu.

2) Obveznici ostalih jedinica civilne zaštite izučavaju zaštitu od zračenja u vrlo uskom obimu, samo iz domena lične zaštite sa elementima detekcije, dozimetrije i dekontaminacije.

Upotreba specijalizovanih RHB-jedinica civilne zaštite

se predviđa za intervenciju na otklanjanju posledica nuklearnog udesa ratnog ili mirnodopskog karaktera.

U programima obuke obveznika jedinica civilne zaštite, zaštita od zračenja zauzima do 30 % nastavnog gradiva u zavisnosti od vrste jedinice.

Obuka instruktora za sprovođenje mera RHB-zaštite

Jedna od mera civilne zaštite jeste RHB-zaštita, odnosno zaštita od zračenja kao jedan elemenat RHB-zaštite. Mere RHB-zaštite se sprovode kao preventivno sredstvo u svim društvenim strukturama, a naročito u privrednom sektoru. Za sprovođenje mera zaštite angažovani su kadrovi različitih profila i stepena obrazovanja. To podrazumeva i odgovarajući način sprovođenja obuke.

Najpre se pristupilo obuci kadrova sa fakultetskom spremom iz oblasti zdravstva, privrede i obrazovanja. Smatra se da zaštiti od zračenja treba dati prioritet. U ukupnom volumenu nastavnog gradiva zaštita od zračenja obuhvata do 50 %, pa čak i do 80 %. To je uglavnom zbog toga što zračenje, a istovremeno i zaštita, predstavljaju nove elemente u znanju koje se pruža tokom redovnih studija. Ovo znanje je vrlo oskudno, a negde nije čak ni zastupljeno.

U poslednje dve godine organizovani su kursevi za instruktore iz raznih grana delatnosti. Slušaoci kurseva su bili stručnjaci iz većih gradova Uže Srbije, Novog Sada i Beograda. Cilj kurseva je da se slušaocima pruži određeno teorijsko znanje, da bi kasnije mogli sami da izučavaju materiju iz domena zaštite od zračenja, a od interesa za civilnu zaštitu. Poseban naglasak na ovim kursevima je stavljen na praktičan rad sa sredstvima za detekciju, dozimetriju i dekontaminaciju. Navešćemo ove kurseve sa najvažnijim karakteristikama:

1) Ratni medicinski minimum za lekare specijaliste iz hirurgije. Na ovom kursu je,pored ostalog, razmatrana mogućnost hirurške intervencije u uslovima radijacione kontaminacije i ozračivanja. Kurs je održan u VMA. Trajanje kursa iznosi 120 časova, od toga 30 časova iz radijacionog dela.

2) Ratni medicinski minimum za lekare specijaliste - instruktore za lečenje i zaštitu povređenih od zračenja. Slušaoci kursa su bili lekari specijalisti najbliži ovoj oblasti i to: rendgenolozi , medicine rada, ftiziolozi i internisti. Kurs je održan u VMA, Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dragomir Karajović" i Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-

-Vinča. Trajanje kursa iznosi 120 časova, od toga je 60 časova iz radijacionog dela.

3) Ratni medicinski minimum za lekare specijaliste - instruktore za lečenje i zaštitu povređenih od bojnih otrova. Na ovom kursu su data enciklopedijska znanja iz oblasti zaštite i lečenja povređenih od zračenja. Slušaoci kursa su lekari specijalisti iz medicine rada i internisti. Kurs je održan u VMA. Trajanje kursa iznosi 120 časova, od toga 30 časova iz radijacionog dela.

4) Ratni medicinski minimum za lekare specijaliste iz mikrobiologije - instruktore za biološku zaštitu. Na ovom kursu su data enciklopedijska znanja iz oblasti zaštite i lečenja povređenih od zračenja. Slušaoci kursa su lekari specijalisti mikrobiolozi, bakteriolozi i epidemiolozi. Kurs je održan u VMA. Trajanje kursa iznosi 120 časova, od toga 20 časova iz radijacionog dela.

5) Ratni medicinski minimum za farmaceute - instruktore za radijaciono-hemijsku zaštitu (RH). Slušaoci kursa su osposobljavani za pripremanje i merenje uzoraka vode i hrane na radioaktivnost, kao i za izvođenje dekontaminacije i zaštite lekova i sanitetskog materijala. Ovaj deo kursa je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča. Trajanje kursa iznosi 120 časova, od toga 42 časa iz radijacionog dela.

6) RHB-zaštita za veterinare. Na ovom kursu od 150 časova radijacionom delu je pripalo oko 50. U okviru toga, zaštiti i lečenju domaćih životinja posvećena je najveća pažnja. Kurs je održan na Veterinarskom fakultetu u Beogradu.

7) RHB-zaštita u tehnologiji namirnica animalnog porekla. Ovim kursom su obuhvaćeni veterinari-tehnolozi iz klanične industrije i veterinarski inspektori. Trajanje kursa iznosi 150 časova, a radijacioni deo oko 60. Pored radiobiologije, dekontaminacije, rada na mernoj instrumentaciji, na ovom kursu je posebna pažnja posvećena proceni konzumne vrednosti prehrambenih proizvoda animalnog porekla ozračenih ili kontaminiranih radioaktivnim materijama. Kurs je održan na Veterinarskom fakultetu u Beogradu.

8) RHB-zaštita u agronomiji i šumarstvu. Trajanje kursa iznosi 140 časova, od toga oko 40 iz radijacionog dela. Na ovom kursu je najvažniji deo bio mogućnost i postupci zaštite i dekontaminacije hrane biljnog porekla u otvorenom i zatvorenom prostoru, kao i procena konzumne vrednosti ove hrane kontaminirane ra-

dioaktivnim materijama. Kurs je održan na Poljoprivrednom fakultetu i u Institutu za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, šumarstvu i veterinarstvu u Zemunu.

9) RHB-zaštita u stočarstvu. Trajanje kursa iznosi oko 140 časova, od toga oko 45 iz radijacionog dela. Na ovom kursu je najvažniji deo bio zaštita stoke i stočne hrane u uslovima radijacione kontaminacije. Kurs je održan na Poljoprivrednom fakultetu i u Institutu za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, šumarstvu i veterinarstvu u Zemunu.

10) RHB-zaštita u tehnologiji namirnica biljnog porekla. Slušaoci ovog kursa su bili inženjeri-tehnolozi iz industrije namirnica biljnog porekla (industrija hleba, piva, konzervi voća i povrća i dr.). Trajanje kursa je 140 časova, od toga je oko 55 iz radijacionog dela. Kurs je održan na Poljoprivrednom fakultetu i u Institutu za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, šumarstvu i veterinarstvu u Zemunu.

11) Detekcija i identifikacija nuklearnih zračenja. Slušaoci kursa su bili profesori fizike srednjih škola i inženjeri elektronike. Trajanje kursa je 100 časova, od toga je oko 80 iz radijacionog dela. Kurs je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča.

12) Detekcija i identifikacija RH-agenasa i zaštita. Slušaoci kursa su bili profesori hemije srednjih škola kao i inženjeri tehnologije iz prehrambene industrije. Trajanje kursa je 100 časova, od toga je oko 60 bilo iz radijacionog dela. Na kursu je naročito obraćena pažnja pripremanju uzoraka i merenju radioaktivnosti. Ovaj deo kursa je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča.

13) RHB-dekontaminacija i zaštita. Slušaoci kursa su bili hemičari i inženjeri tehnologije i drugih grana tehnike. Na ovom kursu je posebna pažnja posvećena dekontaminaciji i zaštiti industrijskih preduzeća i ljudi u njima u uslovima ugroženosti od nuklearnog oružja. Trajanje kursa iznosi 140 časova, od toga je oko 90 iz radijacionog dela. Ovaj deo kursa je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča.

14) Analiza uzoraka vode i hrane na RH-agense i zaštita. Slušaoci kursa su bili inženjeri tehnologije, prehrambeni inženjeri, hemičari i farmaceuti koji rade u zavodima za zdravstvenu zaštitu (higijenski zavodi), vodovodima i prehrambenoj industriji. Trajanje kursa iznosi 140 časova, od toga je oko 70 iz radi-

jacionog dela. Posebna pažnja je obraćena mernoj tehnici i instrumentaciji. Ovaj deo kursa je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča.

15) RHB-zaštita za biologe. Slušaoci kursa su bili profesori biologije srednjih škola. Trajanje kursa iznosi 100 časova, od toga oko 35 iz radijacionog dela. Posebna pažnja je posvećena pružanju prve pomoći i lečenju povređenih od zračenja. Kurs je održan u Školi Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča.

16) Tehnika zaštite od ratnih razaranja u području građevinarstva - građevinsko-konstruktivni smer. Slušaoci kursa su bili inženjeri građevinarstva i arhitekture. Na ovom kursu je posebno obraćena pažnja projektovanju skloništa za zaštitu od nuklearnog oružja. Kurs je održan na Građevinskom fakultetu u Beogradu.

Za naredni period pripremljena su još dva kursa i to:

17) Tehnika zaštite od ratnih razaranja u području građevinarstva - projektovanje instalacija za skloništa. Slušaoci kursa su mašinski inženjeri. Trajanje kursa 132 časa.

18) Tehnika zaštite od ratnih razaranja u području građevinarstva - arhitektonsko-urbanistički smer. Slušaoci ovog kursa su arhitekte-urbanisti koji treba da se upoznaju sa problemima urbanističkog rešavanja stambenih naselja i lokacije industrijskih objekata s aspekta zaštite od eventualne primene sredstava za masovno uništavanje živog sveta i materijalnih dobara. Trajanje kursa 130 časova.

Izvedeni kursevi su pokazali da univerzitetski obrazovani kadrovi i to specijalnosti čija je osnovna naučna disciplina fizika, hemija ili biologija, nedovoljno poznaju fizičke osnove zračenja, a još manje tehniku merenja, instrumentaciju, dekontaminaciju i biološke osnove dejstva zračenja na živu materiju.

Kursevi u trajanju do mesec dana su omogućili da slušaoci nauče da praktično rade sa određenim uređajima i opremom s kojima treba da budu opremljene laboratorije, radne organizacije i jedinice civilne zaštite.

Izvođenje ove obuke na fakultetima i institutima je doprinelo da se sami fakulteti odnosno instituti angažuju, u granicama svojih mogućnosti, u jednoj oblasti koja nije bila u toj meri zastupljena u redovnoj nastavi.

## Zaključak

Osposobljeni kadrovi iz većih gradova Srbije su dužni da se uključe u rad na obuci i stručnom usavršavanju drugih kadrova iz privrede, zdravstva i obrazovanja. U nekim gradovima se već otpočelo sa ovom obukom. To je druga nastavna baza.

Paralelno obuci potrebno je snabdeti,specijalnom opremom postojeće hemijske i druge laboratorije u institutima, ustanovama i radnim organizacijama, za merenje radioaktivnog zračenja i obavljanje drugih poslova iz oblasti zaštite od zračenja. Nekoliko gradova se već opremilo prenosnim laboratorijama za merenje radioaktivnog zračenja.

Za vršenje ovih poslova neophodno je propisati potrebna uputstva za rad i organizovanje takvih laboratorija. Na tom planu je već nešto učinjeno u Srbiji. Pripremljeno je "Uputstvo o učešću naučnoistraživačkih instituta, hidrometeorološke službe i drugih ustanova i radnih organizacija koje imaju laboratorije za sprovođenje mera i zadataka iz RHB-zaštite".


## Abstract

TRAINING OF PERSONNEL FOR RADIATION PROTECTION FOR NEEDS OF CIVIL DEFENSE IN SERBIA

In the aim of realising measures for radiation protection, Civil Defense in Serbia at first started with qualifying of diverse diplomaed specialists - instructors from bigger towons - First educational base. Those specialists have to organize in their towns training of personnel with finished faculties, higher schools and secondary schools - Second educational base.

It is also approcehed to equipping of chemical and similar laboratories with special equipment for measurement of radioactive radiation in health, industrial and other working organization in which exist such laboratories.

S A D R Ž A J

Strana

OSNOVNE I IZVEDENE NORME I STANDARDI

1. Breyer B.
MJERENJE FAKTORA KVALITETE ZRAČENJA METODOM MIKRODOZIMETRIJE 1

2. Koturović A.,Muždeka S.
FORMIRANJE MERNIH MREŽA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA NA OSNOVU KRITERIJUMA POVREDIVOSTI 7

3. Marković P.,Vidmar M.
RADIJACIONE VELIČINE I JEDINICE - OSVRT NA NAJNOVIJE PREPORUKE BKRJ 15

4. Marković P.,Ninković M.
FAKTOR KAKVOĆE (QUALITY FACTOR) - RASPRAVA O NJEGOVOM ZNAČENJU I KORIŠĆENJU 21

SISTEM INFORMACIJA

1. Burai K.,Milojević A.,Bek-Uzarov Dj.
SPACE CHARGE EFFECTS IN PROPORTIONAL COUNTER 27

2. Dobrilović Lj., Bek-Uzarov Dj.
APSOLUTNO MERENJE BRZINE RASPADA $^{51}$Cr KOINCIDENTNOM METODOM 35

3. Danilović D.,Veselinović D.
MINIJATURNI UREDJAJ ZA SAKUPLJANJE PODATAKA 41

4. Vladiković-Jevremović Mr V.
SISTEM INFORMACIJA U OBLASTI NUKLEARNE ENERGIJE 49

5. Hadžišehović M.,Močilnik I.
APARATURA ZA DOBIJANJE I APSOLUTNO MERENJE AKTIVNOSTI GASNIH UZORAKA TRITIUMA 55

RADIOMETRIJA I DOZIMETRIJA

1. Vojvodić V.
STATISTIČKA ZAKONITOST PROFESIONALNE EKSPOZICIJE JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU 61

2. Glavič B.,Cotoman D.
PRENOSNI MONITOR SGM 29 69

3. Damljanović D., Županski M.,Djantar K.
MONITOR ZRAČENJA KOMO-TM 77

Strana

4. Mirič I., Mirić P.
INTERKOMPARACIJA AKCIDENTALNIH DOZIMETARA ZA NEUTRONSKO I GAMA ZRAČENJE NA HPRR(SAD) 85

5. Mihajlović M.,Kosi V., Sedaj L.
TERMOLUMINESCENTNI EMAJLI 93

6. Mihajlović S.
RADIOLOŠKE VELIČINE I JEDINICE KOJE SE KORISTE U RATNOJ RADIOLOŠKOJ DETEKCIJI I DOZIMETRIJI 101

7. Novković D.,Mirić P.,Bratanić I.
KOMPARACIJA ETALONSKIH UREDJAJA ZA MERENJE EKSPOZICIONE DOZE 111

8. Obelić B.
SPEKTROMETAR ZA MJERENJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA ENERGIJE ISPOD 2 keV 117

9. Planinić J.
OSOBINE BROJAČKOG PLINA U PROPORCIONALNOM BROJAČU ZA MJERENJE NISKIH AKTIVNOSTI 125

10. Prokić M.
EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE OSETLJIVOSTI TLD - $CaF_2$ : Mn NA NEUTRONE 133

11. Prokić M.
RAČUNSKO ODREDJIVANJE OSETLJIVOSTI Ca:Mn TERMOLUMINISCENTNOG DOZIMETRA NA NEUTRONE RAZLIČITIH ENERGIJA 141

12. Prokić M.,Mirić I.
PROCENA APSORBOVANE NEUTRONSKE DOZE U SLUČAJU AKCIDENATA NA OSNOVU AKTIVACIJE METALNOG NOVCA 149

13. Simović M.,Dobrilović Lj., Kolarž M., Bek-Uzarov Dj., Milojević A.
MONOMOLEKULARNI RADIOAKTIVNI IZVORI $^{51}Cr$ 157

14. Srdoč D.
RASPODJELA ENERGIJE ZRAČENJA U TKIVU:MJERNA TEHNIKA I REZULTATI 165

15. Sušnik J.
DOZNO POLJE PO NAJHUJŠI PROJEKTNI NEZGODI 171

16. Tasić R., Bek-UzarovDj.
METODE MERENJA BRZINE RASPADA ELEKTRON→ZAHVATNOG IZOTOPA $^{55}Fe$ 179

Strana

17. Ćirić V.
RAČUNANJE NEUTRONSKIH DOZA ZA VAZDUŠNU NUKLERANU EKSPLOZIJU 187

18. Uran D.,Kolenko F.
NEKATERE KONSTRUKCIJSKE POSEBNOSTI PRENOSNEGA ČITALNIKA ZA TLD 197

19. Šobajić M.,Blagojević R.
MOGUĆNOST ISTOVREMENOG MERENJA JAČINE EKSPOZICIONE DOZE I EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA 205

20. Gal V.,Radovanović R.,Krmpotić Dj.
ODREDJIVANJE BRZINE APSORBOVANE DOZE ALFA ZRAČENJA U MEKOM TKIVU 213

RADIOAKTIVNOST ŽIVOTNE SREDINE

1. Bauman A.
ODJELJIVANJE Sb-125 U UZORCIMA FALLOUT-A TALOŽENJEM KAO $Cs_3Sb_2Cl_9$ 221

2. Gvozdenović S.
ODNOS Ca,Sr,Ba i Ra U LJUDSKOM KOSTURU I HRANI U ZAVISNOSTI OD UZRASTA 225

3. Gvozdenović D.
EKOLOGIJA I METABOLIZAM TORIUMA I DRUGIH ELEMENATA PRELAZNE GRUPE 233

4. Kalendarov Z., Teodosievski G.
ISPITUVANJE NA PRIRODNATA GAMA RADIOAKTIVNOST VO OKOLINATA NA RUDNICI I BANSKO-KLIMATSKI LEČILIŠTA NA TERITORIJATA NA SRM 241

5. Kobal I., Kristan J.
MERENJE NISKIH KONCENTRACIJA $^{222}Rn$ U VODI 245

6. Kristan J.,Kobal I.,Ančik M.,Sedovšek T.
KONTROLA KONCENTARCIJE $^{222}Rn$ I NJEGOVIH KRATKOŽIVEČIH POTOMAKA U RUDNIKU URANA U ŽIROVSKOM VRHU 253

7. Ninković M.
SPECIFIČNA GAMA KONSTANTA $^{226}Ra$ U RAVNOTEŽI SA PRODUKTIMA RASPADA= 261

8. Novosel-Radović V.
ANALIZA PRAŠINE LIVNICA X-ZRAKAMA 275

Strana

9. Novak J.,Velkov D.,Teodosievski G. Kalendarov Z.

UPOREDJENJE PRIRODNE GAMA RADIOAKTIVNOSTI I GEOGRAFSKE RASPROSTRANJENOSTI MALIGNIH TUMORA U SR MAKEDONIJI 281

10. Patić D., Smiljanić R.

ELIMINACIJA PERIODIČNE KOMPONENTE PRI ANALIZI REZULTATA MERENJA KONCENTRACIJA RADIOAKTIVNIH AEROSOLA 289

11. Radosavljević R.,Tasovac T.,Zarić M.

RADIOEKOLOGIJA $K^{40}$ U DUNAVU 297

12. Sliepčević A.,Srdoč D.

MJERENJE KONCENTRACIJE TRICIJA U POVRŠINSKIM VODAMA 307

13. Strohal P.,Jelisavčić O.

RADIOKONTAMINACIJA JADRANSKOG MORA 315

14. Teodosievski G., Kalendarov Z.

ISPITUVANJE NA PRIRODNATA GAMA RADIOAKTIVNOST VO NASELENI MESTA VO SR MAKEDONIJA 321

RADIOAKTIVNI OTPADNI MATERIJALI

1. Vuković Ž.

PERSPEKTIVE PRIMENE NEKIH KRISTALNIH SOLI ZA SORPCIJU PRODUKATA FISIJE 327

2. Janković O., Radovanović P.,Kostadinović A.

SORPCIJA RADIONUKLIDA $^{137}Cs$, $^{89}Sr$ i $^{60}Co$ NA ZEOLITU AW-500 331

3. Knežević Lj.,Janković O.

SORPCIJA $Co^{++}$ NA ILITNIM GLINAMA 337

4. Pirš M., Toplišek M.

SORPCIJA CEZIJA IN STRONCIJA NA INFUZORIJSKI ZEMLJI 341

5. Pirš M., Toplišek M.

KINETIKA IONSKE IZMENJAVE NA NARAVNIH IONSKIH IZMENJALCIH 347

KONTAMINACIJA I DEKONTAMINACIJA

1. Bojović T.,Pejusković B.,Milovanović M.

UTICAJ GEOMETRIJE UZORKA PRI MERENJIMA KONTAMINACIJE NEKIM FISIONIM PRODUKTIMA NA P R L 353

Strana

2. Zarić M., Matijašević A., Stojanović B.
KONTAMINACIJA METALNIH SPREGOVA 359

3. Kello D., Kostial K.
UTJECAJ MLIJEKA NA APSORPCIJU RADIOAKTIVNOGA OLOVA IZ PROBAVNOG TRAKTA 367

4. Pejušković B., Bojović T., Nikolić O., Toković B., Milovanović M
MOGUĆNOSTI R-DEKONTAMINACIJE NEKIH SANITETSKIH SREDSTAVA 369

5. Pejušković B., Bojović T.,Stojadinović S., Milovanović M.
ODREDJIVANJE AKTIVNOSTI U BIOLOSKOM MATERIJALU KONTAMINIRANIM NEKIM IZOTOPIMA; METODOM DEBELOG UZORKA 375

6. Švabić A.,Jeremić M.
DEKONTAMINACIJA $^{60}Co$ I $^{137}Cs$ IZ EFLUENATA TIPA VR-1 KOJA ĆE SE PRIMENITI U POSTROJENJU 381

MEDICINSKA ZAŠTITA

1. Gligorijević J.,Draganović B.,Stanković S., Petrović B.
DISTRIBUCIJA RADIONUKLIDA $^{131}J$ KOD ALIMENTARNE KONTAMINACIJE VODENE PERADI 387

2. Gruden N.
UTJECAJ PRODUŽENOG PRIMANJA TETRACIKLINA U HRANI NA APSORPCIJU RADIOSTRONCIJA IZ PROBAVNOG TRAKTA 395

3. Draganović B.,Gačević M.,Stefanović K., Petrović B.
RADIJACIONI SINDROM GUSAKA OZRAČENIM X-ZRACIMA 397

4. Križanović D.
ZASTUPLJENOST TIPOVA RENTGEN APARATA U SR CRNOJ GORI I SR SRBIJI 407

5. Maljković T.,Dekanić D.,Kostial K.
UTJECAJ TETRACIKLINA NA RETENCIJU RADIOSTRONCIJA KOD AKUTNE ORALNE I PARENTERALNE KONTAMINACIJE 413

6. Milivojević K., Stojanović D.
UTICAJ NEKIH FIZIČKIH I HEMISKIH FAKTORA NA TRANSKUTANU RESORPCIJU RADIONUKLIDA 415

Strana

7. Momčilović B., Kostial K.

UTJECAJ LAKTACIJE NA APSORPCIJU RADIOAKTIVNOG OLOVA IZ PROBAVNOG TRAKTA 421

8. Novak Lj.,Panov D.

ODREDJIVANJE POLONIJUMA-210 U PLUĆIMA PUSAČA I NEPUŠAČA 423

9. Panov D., Petrović D., Ranković M.

EKSKRECIJA POLONIJUMA-210 POSLE EKSPOZICIJE ZECEVA RADONU 431

10. Peričić D., Deanović Ž.

IZLUČIVANJE NEKIH METABOLITA BIOGENIH AMINA U OZRAČENIH BOLESNIKA 439

11. Petrović B.,Draganović B.,Češkov B., Šuvakov D.

TOPOGRAFSKA ANALIZA RADIOAKTIVNIH REZIDUA U ORGANIMA I KONZUMNOM MESU VODENIH PERADI 445

12. Radovanović R.

IZLOŽENOST ZRAČENJU I KONTAMINACIJI LJUDI PRI BALNEOLOŠKOJ TERAPIJI 451

13. Stojanović D.,Milivojević K.

DEKONTAMINACIONI TRETMAN USNE DUPLJE KONTAMINIRANE RADIONUKLIDIMA 459

14. Hajduković D.

PROCENA OZRAČENJA RESPIRATORNOG SISTEMA RADONOM I NJEGOVIM KRATKOŽIVEĆIM POTOMCIMA PRIMENOM MODELA PLUĆA M O R R O W KOD RUDARA URANSKOG RUDNIKA 465

15. Hajduković D,. Kunevski N.

HIGIJENSKI ZNAČAJ KONTROLE RADIOAKTIVNOSTI U (NEURANSKOM) RUDNIKU OLOVA I CINKA -ZLETOVO-DOBREVO 473

TEHNIČKA ZAŠTITA

1. Batista J.,Grgić M.,Gabrovšek Z.

VARNOST IN NORMATIVNA PROBLEMATIKA NUKLEARNIH ENERGETSKIH OBJEKTOV 481

2. Ignjatović S.

RADIJACIONO POLJE ISPOD GROMOBRANA SA RADIOAKTIVNIM EUROPIUMOM JAČINE 300 MILIKIRIJA I PROBLEMI KONTROLE OVIH GROMOBRANA 489

Strana

3. Jelić Lj.
ISPITIVANJE ATHEZIJE ČESTICA NA MATERIJALIMA KOJI SE KORISTE ZA IZRADU ZAŠTITNE ODEĆE 493

4. Ninković M.,Mininčić T.Z.
ANALIZA OZRAČIVANJA OSOBLJA KOD REAKTORA RA U VINČI 501

5. Ristić Dj.
OCENA I PROVERA ZAŠTITNIH SVOJSTAVA KONTEJNERA B-2 513

AKCIDENTI I SIGURNOST

1. Grgić M.
SPLOŠNO O RADIOAKTIVNIH ODPADKAH NUKLEARNIH ELEKTRAN PRI NORMALNEM OBRATOVANJU 521

2. Grgić M.
OCENITVE IN UPOŠTEVANJE POJAVOV REKONCENTRIRANJA PRI OMEJEVANJU SPROŠČENJA RADIOAKTIVNOSTI IZ NUKLEARNIH ELEKTRAN 529

3. Muždeka S.,Šmelcerović M.
LABORATORIJA ZA MERENJE I PRIPREMU UZORAKA U AKCIDENTALNIM USLOVIMA 537

4. Petrović D., Panov D.
ISPITIVANJE SREDSTAVA ZA GAŠENJE POŽARA(LAKA PENA) U POGLEDU SORPCIJE RADIOAKTIVNIH I DRUGIH ŠTETNIH SUPSTANCIJA 543

5. Stamenković B.,Muždeka S.,Koturović A., Damljanović D.,Šmelcerovic M.,Kostić P.
BROJAČKI KOMPLET ZA MERENJE UZORAKA 557

6. Ubović Ž.,Mirić I.,Trajković M.
ANALIZA NEKIH FAKTORA KOJI UTICU NA TAČNOST ODREDJIVANJA APSORBOVANE DOZE NEUTRONA U SLUČAJU AKCIDENATA 565

7. Hajduković D.
MOGUĆNOST OBRADE NUMERIČKOG MODELA RUDNIKA URANA RAČUNAROM 573

8. Šmelcerović M., Ilić R., Muždeka S.
MERENJE AKTIVNOSTI FISIONIH PRODUKATA METODOM DEBELOG UZORKA 579

Strana

OZRAČIVANJE STANOVNIŠTVA

1. Jokić J.

IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA MEDICINSKIM IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 587

2. Jokić J., Marjanac A.

RENTGENSKI PREGLEDI PLUĆA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA SFRJ 595

3. Jokić J., Marjanac A., Simić B.

KORIŠTENJE RENTGEN-DIJAGNOSTIČKE DOKUMENTACIJE KOD BOLESNIKA SA HRONIČNIM BOLESTIMA 603

4. Jokić J., Marjanac A., Simić B.

PROSJEČNO TRAJANJE DIJASKOPIJA GASTRO DUODENUMA MJERENO U NEKIM RENTGEN KABINETIMA 609

5. Jokić J.,Marjanac A.,Simić B.

IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU KAO POSLEDICA ADMINISTRATIVNIH ZAHTJEVA 617

6. Jeremić M., Ignjatović S., Panov D.

PROCENA OPASNOSTI OD ŠTETNOG DEJSTVA X ZRAČENJA TV PRIJEMNIKA U BOJI 619

7. Marjanac A., Jokić J., Simić B.

GODIŠNJA FREKVENCIJA RENTGEN DIJAGNOSTIČKIH PREGLEDA U JEDNOJ GARNIZONSKOJ AMBULANTI 625

8. Simić B., Jokić J.,Marjanac A.

PROCJENA VAZDUŠNIH DOZA NA POVRŠINI KOŽE NA OSNOVU POTROŠNJE RENTGEN FILMOVA 629

9. Tomašević M.

VREME SNIMANJA ZUBA MERILO IZLOŽENOSTI PACIJENATA EKSPOZICIONIM DOZAMA ZRAČENJA 635

10. Tomašević M.

EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA KOJIMA SU IZLOŽENI REPRODUKTIVNI ORGANI PACIJENATA PRI RETROALVEOLARNOM SNIMANJU ZUBA 641

11. Tomašević M.

EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA KOJIMA JE IZLOŽENA GLAVA LEKARA PRI PROSVETLJAVANJU PACIJENATA I NJIHOVA ZAVISNOST OD VELIČINE OTVORA BLENDE 647

Strana

ORGANIZACIONI I PRAVNI PROBLEMI ZAŠTITE

1. Veljković T.,Mitrović S.
REGULISANJE ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U DUHU USTAVNIH PROMENA 655

2. Veljković T.,Mitrović S.
POSEBNA PRAVA LICA KOJA RADE SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA 661

3. Mitrović S., Veljković T.
PROBLEMI ORGANIZOVANJA SLUŽBE ZAŠTITE OD ZRAČENJA 671

USAVRŠAVANJE KADROVA

1. Melovski Lj.,Nikolić M.,Fertilio A.
OBUKA KADROVA ZA INDUSTRISKU RADIOGRAFIJU 679

2. Ćirić V.,Radenković D.
OBUKA KADROVA IZ ZAŠTITE OD ZRAČENJA ZA POTREBE CIVILNE ZAŠTITE SRBIJE 687