

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADILOŠKU ZAŠТИTU

MERENJA I INSTRUMENTACIJA
U ZAŠТИTI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

ZBORNIK MATERIJALA
III JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA
O RADILOŠKOJ ZAŠТИTI

BANJA LUKA,
23 - 26. OKTOBRA 1967.

Zgrada

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADILOŠKU ZAŠТИTU

MERENJA I INSTRUMENTACIJA U ZAŠTITI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

ZBORNIK MATERIJALA
III JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA
O RADILOŠKOJ ZAŠTITI

BANJA LUKA,
23 - 26. OKTOBRA 1967.

REDAKCIIONI ODBOR:

S. MUŽDEKA

P. MIRIĆ

D. PANOV

RADNA TELA SIMPOZIJUMA:

Počasno predsedništvo

Dr NIKOLA GEORGIJEVSKI, predsednik Saveznog saveta za zdravstvo i socijalnu politiku

VOJIN GUZINA, predsednik Savezne komisije za nuklearnu energiju

VASO RADIĆ, sekretar Saveta za zdravstvo i socijalnu politiku SR BiH

Dr SIDA MARJANOVIĆ, predsednik Saveta za naučni red SR BiH

ŽIVKO BABIĆ, predsednik SO Banja Luka

General potpukovnik DJURO LONČAREVIĆ, pomoćnik Državnog sekretara za civilnu odbranu

General potpukovnik Dr IVAN KRALJ, načelnik Sanitetske uprave JNA

General major MILOŠ MANOJLOVIĆ, načelnik Uprave AVHO JNA

General major ĐORDJE MARAN, sekretar za narodnu odbranu SR BiH

General major MILOJICA PANTELIĆ, načelnik Uprave za civilnu zaštitu

Dr VELJKO BRAJOVIĆ, direktor Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"

Dr VINKO ŠKARIĆ, direktor Instituta za nuklearne nauke "Rudjer Bošković"

Prof.dr MILAN OSREDKAR, direktor Instituta za nuklearne nauke "Jožef Štefan"

Ing. BRANKO BASARIĆ, direktor Tvornice "Rudi Čajavec"

Dr HERBERT KRAUS, direktor Saveznog zavoda za zdravstvenu zaštitu

Dr KAZIMIR BARILA, direktor Instituta za tehničko-medicinsku zaštitu

Dr MILOŠ KILIBARDA, direktor Instituta za medicinu rada SRS

Dr MARKO ŠARIĆ, direktor Instituta za medicinska istraživanja JAZU

MILAN SKITEK, direktor Zavoda SR Slovenije za zdravstveno in tehničko vernošč

Prof. dr GRUJICA ŽARKOVIĆ, direktor Instituta za higijenu i
socijalnu medicinu SR BiH

Dr GLIGOR TOFOSKI, direktor Zavoda za zdravstvenu zaštitu
SR Makedonije

Organizacioni odbor

AKSMAN IVAN, dipl. ing.

Mr. DJORDJE BEK-UZAROV

Doc.PREDRAG BOJOVIĆ, dipl.ing.

Pukovnik BUZADŽIĆ ZDRAVKO

CEROVIĆ HRVOJE, dipl. ing.

Dr DJURIĆ DUŠAN, dipl. ing.

Mr. ILİĆ RADOVAN, dipl. ing.

Dr JOVANOVIĆ PETAR

Prof. dr MIHAJLOVIĆ MIODRAG

Dr MUŽDEKA SLOBODAN, dipl. ing.

Dr PETROVIĆ ŽIVANA

POPOVIĆ VELIMIR, dipl. ing.

RADOSAVLJEVIĆ RADOSLAV, dipl. ing.

Prof. dr STERLE MARJAN

Dr TRAJKOVIĆ MIODRAG

ZAFIROVSKI PETAR, dipl. fiz.

Dr ŽIVADINović MILUTIN, dipl. ing.

Sekretarijat

AKSMAN IVAN, dipl. ing.

KIĆOVIĆ EMILIJA, dipl. fil.

ŠKONDRIĆ SVETOMIR

OZDRAVNI GOVOR LJUBOMIRA BARBARIĆA SAVETNIKA PREDSEDNIKA SAVEZNE
KOMISIJE ZA NUKLEARNU ENERGIJU

rugarice i drugovi,

redsednik Savezne komisije za nuklearne energije upućuje svim učes-
icima ovog značajnog simpozijuma svoje najlepše pozdrave i želje
a što bolji i veći uspeh u radu.

Savezna komisija za nuklearnu energiju, po svojoj službenoj dužno-
ti dala je inicijativu i preko osnovnih nuklearnih instituta pro-
odila prve korake i preduzimala mere u oblasti zaštite od jonizu-
ućih zračenja. Taj rad je započet u nuklearnom institutu "Boris
idrič" u Vinči već 1951. godine u vezi sa radom prvih akcelera-
orskih mašina i izvora zračenja i nastavio se do današnjih dana i
ostalim nuklearnim institutima u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani.

Savezna komisija za nuklearnu energiju već godinama finansira u
ranicama mogućnosti kroz sklopljene istraživačke ugovore sa nuklear-
im i vanuklearnim institutima istraživačku delatnost vezanu za za-
štitu od jonizujućih zračenja, kao i razvijanje i osvajanje nuklearne
instrumentacije potrebne u te svrhe.

Sigurno je da su u toj oblasti dosegnuti određeni rezultati, koji
se sagledati kako kroz rad ovog simpozijuma tako i kroz prikaz
zložbe koja se ovom prilikom organizuje.

Yugoslovensko društvo za radiološku zaštitu ovim simpozijumom želi
poznati ne samo naučnu i stručnu nego i ostalu javnost naše socija-
ističke društvene zajednice sa problematikom zaštite od ionizujućih
zračenja i aktivnošću koja je razvijena i koja se razvija u našoj
zemlji u cilju njenog rješavanja.

U doba u kojem živimo, u savremenom svijetu u kojem radimo i djelujemo,
radni čovjek se susreće svakog dana sa sve većim brojem

potencijalnih izvora opasnosti, koja predstavljaju razni izvori jonizujućih zračenja počev od prirodnog zračenja neposredno okoline, pa preko rentgenskih medicinskih aparata, raznih akceleratorskih mašina, radioaktivnih izvora i otpadaka, nuklearnih reaktora, istraživačkih laboratorijskih velikih nuklearnih elektrana, pa konačno do radioaktivnih atmosferskih padavina poslije izvršenih nuklearnih eksplozija.

Radni čovjek je suočen sa takvim opasnostima, koje postaju svakim danom sve veće i zbog kojih mora već danas razmišljati kako da od njih očuva i sebe i svoje potomstvo. Očuvati se uspješno može samo onda, ako upozna njene uzroke i posljedice, kao i mјere koje treba da preduzme pred samom opasnošću i u toku njenog postojanja.

Ovaj simpozijum kao i ranije održani i oni koji se kasnije predviđaju imaju da doprinesu tom cilju.

Savezna komisija za nuklearnu energiju pomažući organizovanje ovakvih simpozijuma želi kroz njih da dobije kritičke stavove najpozvаниjih naučnika i stručnjaka, koji se ovom problematikom bave, kao i da kroz njihovu diskusiju i zaključke simpozijuma dobije nove sugestije i predlože što treba dalje još uraditi u ovoj oblasti.

Savezna komisija za nuklearnu energiju će i dalje u okviru njene nadležnosti razvijati i pomagati istraživački i razvojni rad u ovoj oblasti, tim prije što pripremajući se na izgradnju prve nuklearne elektrane mora rješavati i čitav niz problema koja su vezani za zaštitu od ionizujućih zračenja radnih ljudi i prirode njene bliže i dalje okoline.

Završavajući moju riječ želim još jednom pun uspjeh radu ovog simpozijuma.

POTREBA I ZNAČAJ MERENJA ZRAČENJA
U NORMALNIM I VANREDNIM USLOVIMA

- P.Bojović, P.Mirić, R.Ilić, S.Ignjatović -
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Zaštita od zračenja predstavlja danas izuzetno značajnu interdisciplinarnu oblast i to zbog činjenice što je zračenje sve više prisutno u svakodennom životu savremenog čovečanstva i što u vanrednim uslovima može biti za naciju jedna od najvećih opasnosti, potencirana kvalitetom novog i nepoznatog. Iz ovih razloga zaštita od zračenja ima opštedruštveni značaj i spada u kategoriju nužnih i neophodnih delatnosti.

U oblasti zaštite merenja zračenja zauzima posebno mesto jer čini jedinu informaciju na osnovu koje se identificuje vrsta zračenja i određuje njegov intenzitet. Iz ova dva podatka i stava o dozvoljenim dozama zračenja procenjuje se nivo opasnosti i određuje potreban stepen zaštite.

U ovom referatu tretiraju se potreba i značaj merenja samo u oblasti zaštite, i to one kategorije merenja iz kojih rezultuju doze ozračivanja i sadržaj radioaktivnih izotopa u sredinama za koje su odredjene maksimalno dozvoljene koncentracije.

Aktuelna sredstva za merenje doza ozračivanja i koncentracija radioaktivnih izotopa nalaze se na izvanredno visokom nivou ako se uporede sa sredstvima ranijih godina, ali većija je nesavršena, nedovoljna i daleko zaostaju za savremenim potrebama bilo da se radi o merenjima u mirnodopskim ili vanrednim uslovima.

Počeci merenja doza ozračivanja datiraju od početka ovog veka, tj. potreba za dozimetrijom javila se od-

mah nakon otkrića zračenja i konstatacije da zračenje oštećuje čovečije tkivo. U to vreme jedinice za merenje ozračivanja bile su nesigurne i vrlo neodredjene, a dozvoljene doze ozračivanja bile su jako visoke. Primera radi navodimo da je 1902. godine cenjeno da zračenje nije štetno ako fotografска ploča izložena njegovom dejству ne pocrni za sedam minuta.

Prva zvanično usvojena jedinica datira iz 1925. god., naziva se "eritema" i predstavlja količinu rendgenskog zračenja od koje pocrveni koža. Za osoblje zaposleno na radu sa izvorima zračenja bio je dozvoljen deseti deo ove jedinice godišnje. Prema danas dozvoljenoj dozi ozračivanja, koja iznosi 5 rem-a godišnje, citirane doze bile su vrlo velike. Prema proceni iz 1902. godine čovek je mogao primiti i 10 rem-a dnevno, a na osnovu desetog dela "eriteme" oko 270 do blizu 700 rem-a godišnje, zavisno od energije zračenja. S obzirom da se smrtna doza može proceniti na oko 500 rem-a, ako je čovek ozračen po celom telu, lako je konstatovati koliki je ogroman rad morao biti učinjen da bi se za proteklih 50 do 60 godina došlo do današnjih saznanja.

Savremena dozimetrija ima zadatak da uspostavi što jasniju i precizniju relaciju izmedju fizičkog efekta zračenja i biološkog efekta. Na ovoj relaciji postoje dve kategorije problema: u prvu kategoriju spada fizička interakcija zračenja sa materijom i energetska kvantifikacija ove reakcije, dok drugu kategoriju čine aspekti biološkog dejstva, što je jako kompleksan problem jer se javljaju mnogi uticaji većeg broja različitih faktora.

Merenje koncentracije radioaktivnih izotopa u raznim sredinama, naročito u vodi i vazduhu, a takođe u namirnicama pa i u samom čoveku, novijeg su datuma. Ova merenja postala su naročito važna zbog rada nuklearnih elektrana, probnih nuklearnih eksplozija i odlaganja otpadnih radioaktivnih materijala u reke, mora i pogodne geološke formacije.

1. IZVORI ZRAČENJA

Da bi se shvatio značaj i potreba merenja zračenja, a naročito širina koju treba pokriti ovim merenjima, važno je citirati aktuelne izvore zračenja.

Interesantno je odmah ukazati da izvori zračenja različitih jačina pokrivaju celu zemlju sa prilično ravnomernom disperzijom, da imaju tendenciju porasta i daljeg širenja.

Svi izvori čijem je zračenju čovek danas izložen mogu se klasifikovati na više različitih načina. Mi smo u ovom referatu sve izvore podelili u tri osnovne kategorije, a ove na više ili manje odgovarajućih grupa:

1. Prirodni izvori zračenja
 - a) Kosmičko zračenje
 - b) Zračenje prirodnih radioaktivnih izotopa.
2. Korisni izvori zračenja
 - a) Medicinski izvori
 - b) Izvori u raznim aparatima svakodnevne upotrebe
 - c) Nuklearni reaktori i akceleratori
 - d) Primena radioaktivnih izotopa u istraživanju i praksi
 - e) Razni izvori zračenja.
3. Izvori zračenja koje je čovek izbacio u prirodu
 - a) Fisioni produkti nastali eksperimentalnim nuklearnim eksplozijama
 - b) Otpadni radioaktivni materijali
 - c) Izvori nastali pri akcidentima sa radioaktivnim materijalima.

Citirani izvori zračenja mogu se analizirati sa više različitih gledišta, što zavisi od svrhe odnosno primene i eksploracije rezultata analize. Na primer, može se analizirati trend aktivnosti, tj. jačine ovih izvora, njihov broj i disperzija, veličina i sastav grupe profesionalno zaposlenog osoblja ili stanovništva izloženog zračenju ovih izvora mogu se analizirati frekvenca i doza ozračivanja, verovatnoća promene mesta izvora, promene doza, simultanost dejstva, itd.

U ovom referatu važno je ukazati da izuzev kosmičkog

zračenja svi ostali izvori pokazuju tendenciju porasta aktivnosti, a mnoge grupe izvora i tendenciju porasta njihovog broja. Porast aktivnosti prirodnih izvora ipak postoji, mada se ukupna aktivnost prirodnih radioaktivnih izotopa u zemlji ne povećava. Naime, do nedavno su rude urana i torijuma bile dušboko pod zemljom, dakle daleko od čoveka. Danas, međutim, otvoreni su mnogi rudnici urana iz kojih se ruda vadi i prerađuje, a uran ekstrahuje i od njega fabrikuje gorivo za reaktore ili nuklearni eksploziv. Očigledno je da su na ovaj način prirodni izvori približeni čoveku, pa je sasvim opravданa konstatacija da je njihova aktivnost prividno porasla.

Druga važna analiza pokazuje da je mali broj izvora čije zračenje deluje isključivo na profesionalno zaposleno osoblje. Veliki broj izvora naročito u oblasti medicine deluje simultano na profesionalno zaposleno osoblje i određenu grupu stanovništva, dok veliki broj izvora deluje na pričično velike grupe ljudi ili na stanovništvo u celini.

2. MERENJE ZRAČENJA U NORMALNIM USLOVIMA

Evidentna je činjenica da u normalnim uslovima života stanovništvo ne bi trebalo da bude izloženo većim dozama zračenja. Većih doza, po pravilu, nema ni kod vrlo jakih izvora zračenja, kao što je nuklearni reaktor na primer, jer se za profesionalno zaposleno osoblje preduzimaju potrebne mere zaštite. Iz ovoga rezultuje zaključak da u normalnim uslovima doze ozračivanja nisu velike. Međutim, njih je potrebno meriti i to vrlo brižljivo iz sledećih razloga:

1. Naše poznavanje relacije doza - biološki efekat za sada je nekompletno.

2. Opšte je prihvaćeno mišljenje da ne postoji prag doze za genetske efekte, nego da svaka pa i najmanja doza predstavlja određeno oštećenje na genetskom planu, dakle opasnost za generacije koje dolaze.

3. Izlaganje manjim dozama ozračivanja u dužem vremenskom periodu reda veličine godine i duže, dakle hronično izlaganje, može izazvati više različitih efekata. Ovi efekti ispoljavaju se posle latentnog perioda koji može biti različitog trajanja, a često prilično dug.

Možda će se potreba i značaj merenja u mirnodopskim uslovima najbolje sagledati ako se poslužimo jednim citatom sa osnovnim pitanjima za čije se rešavanje zalaže Naučni komitet Ujedinjenih nacija za izučavanje efekata jonizujućeg zračenja. Ova pitanja u nešto slobodnijem prevodu glase:

".... kojim je nivoima ozračivanja čovek izložen od različitih eksternih i internih izvora (uključujući i ozračivanje od radioaktivne kontaminacije nastale nuklearnim eksplozijama) i kako je ovo ozračivanje raspodeljeno po vremenu, u različitim geografskim oblastima, u različitim delovima tela? Važno je posebno precizirati koje su doze, polazeći od različitih izvora, i jačine doze ozračivanja koje primaju sa jedne strane gonade iz razloga njihove važnosti sa genetskog gledišta, a sa druge strane ćelije kod kojih maligne transformacije mogu biti izazvane zračenjem ... ". Zatim, "koji su efekti ozračivanja, kako na ozračenim osobama tako i na njihovom potomstvu, naročito na aktuelnim nivoima kojima je izloženo stanovništvo?"

Da bi se u domenu biologije mogli preduzimati istraživački radovi koji će davati odgovore na ova pitanja, a i iz razloga koji su napred citirani, rezultati merenja predstavljaju osnovni potreban podatak i time spadaju u kategoriju neophodnih.

Dakle, merenje zračenja u normalnim uslovima mora biti realizovano za sve citirane izvore što podrazumeva merenje polja zračenja, tj. doza ozračivanja, i merenje koncentracije radioaktivnih izotopa u raznim sredinama i materijalima, uključujući i aktivnost čoveka. Merenja moraju da se obavljaju po sistemu koji je jedinstven u svim domenima, a

koji u prvom redu obezbedjuje reprezentativnost grupa, lokacija i uzoraka, zatim, komparabilnost i eksploataciju dobijenih rezultata.

Samo rezultati dobiveni ovakvim sistemom mogu biti korisni u daljim istraživanjima i zaključcima. Jedino ovakvim radom mogu i naši rezultati učiniti doprinos opštem naporu i zajedno sa ostalim zemljama odgovarati postepeno na gore postavljena pitanja. Bez jedinstvenog, dobro analiziranog i proučenog sistema merenja nemaju smisla razni separatistički radovi, makar preduzeti i sa najplemenitijim namerama, jer predstavljaju rasipanje snaga i uzaludno trošenje sredstava i kadrovskih efektiva.

Neka nam se dozvoli da ovde iznesemo i sledeće mišljenje: kod nas ima kadrova, doduše nedovoljno, prilično opreme, a mnogo entuzijazma i dubokog uverenja u opravdanost i nužnost rada na merenju. Međutim nedostaje nam ono što je u ovim okolnostima najpotrebnije, a to su određeniji kriterijumi i bolja koordinacija raspoloživih snaga. Zatim, više angažovanja na standardizaciji, razvoju metoda merenja, obrazovanju kadrova i donošenju odgovarajućih zakonskih regulativa.

U vezi sa ovim radom, a i mnogim drugim, kod nas su često prisutne reči kao "profit", "ekonomski opravdanost", itd. Ovakve kategorije nespojive su sa zadatom i značajem merenja, što ne isključuje tehnico-ekonomski analize i optimizacije koje moraju prethoditi svim našim poduhvatima na ovom polju i ostalim delatnostima.

3. MERENJE ZRAČENJA U VANREDNIM USLOVIMA

Vanrednim uslovima možemo nazvati sve okolnosti u kojima su veće grupe ljudi ili čitavo stanovništvo izloženi dejstvu zračenja. U ovakvim okolnostima izvori zračenja najverovatnije mogu biti fisioni produkti nastali nuklearnom eksplozijom. Osnovna karakteristika ovakvih izvora zračenja jeste

disperzija po velikim prostranstvima, u vazduhu, vodi, namirnicama, uključujući i čoveka. Druge karakteristike jesu visoke doze ozračivanja koje se normalno mogu očekivati u ovakvim okolnostima.

Za procenu opasnosti u vanrednim uslovima osnovna i jedina informacija jeste merenje zračenja. Podvlačimo da je merenje nužno i neminovno. Neka nam se dozvoli da ovde podsetimo da za procenu opasnosti od poplave, požara ili vatrenog oružja postoji iskustvo generacija, lično iskustvo iz doba detinjstva; da ovoj proceni doprinose čula, a takodje opšti nivoi ozračivanja i inteligencija čoveka. Za procenu opasnosti od zračenja nema značaja ni jedna od ovih kategorija ako se ne raspolaže podacima merenja.

Ispitivanja za mirnodopske potrebe, razvoj metoda i opreme, obrazovanje kadrova, a takodje i mnoge druge delatnosti u oblasti merenja zračenja uključuju se u potrebe za vanredne uslove. Međutim, za vanredne potrebe sve je ovo nedovoljno i programski i dimenzionalno, jer se radi o posebnim karakteristikama izvora, javljaju se specifični problemi, prisutne su višoke doze, širina merenja dobija sasvim druge dimenzije, deluju mnogi faktori koji se moraju analizirati. Nije nam namera da u okviru ovoga referata razmatramo razlike u domenu merenja zračenja za mirnodopske i vanredne uslove, ali ćemo pomenuti dve stvari koje zauzimaju vrlo značajne koordinate u sistemu merenja.

Na primer, u normalnim uslovima sredstva lične dozimetrije, film i stilo dozimetar, zauzimaju određeno mesto u ustaljenoj geometriji koja je sugerirana laboratorijskim ili drugim uslovima. To jest, lični dozimetar nalazi se izmedju čoveka, ili nekog njegovog dela, na primer, šake, glave, i izvora zračenja, bio on tačkast, linijski ili drugog oblika. Sve procene, maniri, filozofija dozimetrije i tehnike, zasnovani su na ovakvoj geometriji. Međutim, u vanrednim uslovima moguće je veći broj vrlo različitih i kompleksnih relacija čovek -

izvor zračenja, što će dovesti i do različitih geometrija, tj. položaja čoveka, izvora zračenja i ličnog dozimetra. Ovo će, sa raznim varijantama, dovesti do sasvim različitih efekata. Čovek će biti ozračen mnogo većom dozom nego što pokazuje dozimetar ako su kontaminirani površina tla, odelo i atmosfera. Suprotan efekat je parcijalno ozračivanje, na primer, dela na kome se nalazi dozimetar, kada je čovek primio mnogo manje nego što pokazuje rezultat čitanja dozimetra. Kosekvenca ove okolnosti može da bude vrlo rizična, jer će odlaziti na lečenje grupe koje nisu mnogo ozračene, dok će bez lekarske brige ostati lica koja su bila izložena većim dozama ozračivanja.

Drugi primer za razliku mirnodopskih i vanrednih uslova jeste merenje kontaminacije površina, voda, hrane, čoveka. U mirnodopskim uslovima sva merenja se vrše u relativno niskom i konstantnom fonu. U vanrednim uslovima fon će biti visok, podložen čestim i iznenadnim oscilacijama. Sa standardnom mirnodopskom tehnikom i metodama teško da se može odgovoriti postavljenim zadacima.

Ovo su samo dva od mnogih problema merenja koja se znatno razlikuju u mirnodopskim i vanrednim uslovima. Razlike postoje i u mnogim drugim problemima, a izuzetno je velika i vrlo značajna razlika u dimenzijama i širini merenja.

Za ove i druge slične probleme naše je mišljenje da mi imamo solidnu kadrovsku bazu koja je u prvom redu formirana dugogodišnjim radom u nuklearnim institutima. Č ovom govorim impozantan broj radova pripremljenih za ovaj simpozijum. To istovremeno pokazuje da naši ljudi rade, da pokazuju vrlo zapužene rezultate. Neki od ovih rezultata naišli su na vrlo dobar prijem na medjunarodnim konferencijama, neki se u inostranstvu eksplorativišu, a neki su ušli u stranu literaturu visokog nivoa.

Zaključio bih ovaj referat sa željom da ovakav rad produžimo, a da se istovremeno angažujemo na iznalaženju pogodnih formi rada za što bolju eksploraciju i praktičnu primenu dobivenih rezultata.

ELEKTRONSKA INSTRUMENTACIJA ZA RADILOSKU ZASTITU

S.Muždeka

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

Sve veće korišćenje nuklearne energije, prirodnih i veštačkih radioaktivnih elemenata dovelo je do intenzivnog razvoja metode i aparature koje omogućavaju detekciju i merenje raznih vrsta radioaktivnih zračenja. Ove kontrole nisu samo potrebne nuklearnim centrima. Merenje nivoa zračenja i nivoa radioaktivne kontaminacije u hrani, vodi, vazduhu i drugim sredinama je značajno pošto i šire stanovništvo može biti izloženo zračenjima. Brza detekcija i poznavanje površina koje mogu biti kontaminirane omogućava procenu akcija potrebnih za sigurnost i zaštitu lica, životinja, hrane i ostalih stvari.

Instrumenti koji se koriste u radiološkoj zaštiti biće izneti kroz sledeće grupe:

- A. Kontrola i merenje radijacionih polja;
- B. Kontrola i merenje kontaminacije lica, odeće, površina;
- C. Kontrola i merenje kontaminacije atmosfere i voda;
- D. Kontrola i merenje uzoraka;
- E. Kontrola i merenje u akcidentalnim uslovima.

KONTROLA I MERENJE RADIJACIONIH POLJA

Nezavisno od ličnih dozimetara i filmova za kontrolu zračenja u određenim zonama koriste se razni prenosni aparati. Osetljivi elemenat može da bude ionizaciona komora ili brojački elemenat kao GM brojač ili scintilacioni brojač. Instrumenti sa brojačima daju kvalitativnu procenu jačine ekspozicione doze za gama zračenja samo ako su baždareni za specifične gama emitere. Instrumenti koji koriste joničaci-

one komore su podesni za merenja jačine ekspozicionih doza za opsege od oko 1 mR/h do oko 5 R/h ili više a uz proste modifikacije opseg može biti proširen i na veće jačine ekspozicionih doza.

Upotreboom MOS-FET tranzistora može se danas realizovati instrument u poluprovodničkoj tehnici bez upotrebe elektrometarskih cevi. Prototip pištolj dozimetra PD-3F pokazuje mogućnost izrade instrumenta za ove svrhe sa većom osetljivošću i boljom stabilnosti.

Izrada tkivu-ekvivalentnih jonizacionih komora nezavisnih od energije i vrste zračenja rešila bi uspešno probleme vezane za merenje doza.

Instrumenti koji koriste GM brojače kao detektore su znatno osetljiviji i pokrivaju sa scintilacionim brojačima osetljiviji za red veličine ili više od ovih. Za merenja jačine ekspozicionih doza u opsegu od 1 R/h do nekoliko 1000 R/h koriste se uspešno strujni GM brojači.

Korišćenjem dva tipa GM brojača postiže se realizacija prenosnih instrumenata sa opsezima koji odgovaraju jačini ekspozicionih doza od mR/h do nekoliko stotina R/h. Kao problem ostaje tačnost vezana za energetske karakteristike detekcionog sistema. Upotreboviše detektora sa odgovarajućim apsorberima medju njima instrumenti se mogu koristiti za određivanje orijentacije u polju zračenja ili za brzo pronalaženje radioaktivnih izvora.

Za stacionarne sisteme kontrole pojedinih objekata ili većih područja koriste se kao detektori ionizacione komore sa jednosmernim pojačavačima ili brojački sistemi sa meračima brzine brojanja. Izlazne veličine se kompariraju i daju se alarmni signali ukoliko se predje određeni nivo zračenja. Centralizovano skupljanje podataka može se obezbediti za šira područja kao i za celu zemlju korišćenjem postojećih telefonskih linija.

Skupljanje, registracija i alarmiranje na centralnim mestima može da se vrši pomoću sistema za skupljanje i obradu podataka. Ovi sistemi se prave sa brojem ulaza od ne-

koliko desetina do nekoliko stotina.

KONTROLA I MERENJE KONTAMINACIJE LICA I POVRŠINA

Za kontrolu i merenje površinske kontaminacije koristi se danas veliki broj instrumenata koji su potpuno tranzistorizirani. Kao detektori služe GM brojači, proporcionalni brojači, scintilacioni brojači a poslednjih godina i poluprovodnički.

Prvi stadij detekcije može se obaviti pomoću prenosnih "lovaca zračenja" koji imaju samo zvučnu indikaciju a omogućavaju detekciju beta-gama zračenja i delimično alfa. Ovi indikatori su prosti, jeftini i mogu se šire koristiti. Na taj način se kontaminirana lica ili zone brzo pronalaze a nivo kontaminacije može se potom meriti preciznijim monitorom zračenja.

Monitori zračenja vrše merenja broja impulsa u jedinicima vremena a za odgovarajuće detektore daju se tablice iz kojih se nalazi kontaminacija u $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ili nivo gama zračenja u mR/h . Pored indikacije pomoću više linearnih opsega postoji i akustična indikacija.

Monitor zračenja KOMO-T može se koristiti sa više sondi tako da je moguće merenje kontaminacije na alfa i beta/gama zračenja.

KONTROLA I MERENJE KONTAMINACIJE ATMOSFERE I VODA

Tehnike za merenje kontaminacije vazduha su u opštem slučaju delikatne jer su u većini slučajeva maksimalno dozvoljeni nivoi veoma niski.

Direktno i brzo merenje kontaminacije vazduha na tim nivoima je gotovo nemogućno. U opštem slučaju pretežni deo kontaminacije vazduha čini prirodna radioaktivnost kojoj se dodaje veštačka radioaktivnost u atmosferi koja potiče od nuklearnih eksplozija i u našim predelima je danas veoma niska.

U okolini nuklearnih objekata mogu se još naći sledeći elementi:

- fisioni produkti u obliku aerosola
- radioaktivni gasovi: radon, toron, argon-41, jod-131, kripton-85.

Detekcija radioaktivnih gasova vrši se pomoću diferencijalnih jonizacionih komora ili scintilacionih kompleta. Osetljivosti su ograničene na oko 10^{-7} do $10^{-8} \text{ /}\mu\text{Ci/cm}^3$.

Detekcija aerosola vrši se sakupljanjem istih na filter-ske trake i kontrolom trenutne radioaktivnosti i radioaktivnosti posle nekoliko dana. Poslednja merenja daju podatak o koncentracijama veštačkih radioaktivnosti u vazduhu. Prva merna glava meri odnos alfa/beta ili beta aktivnost a kao detektori se koriste scintilacioni ili specijalni proporcionalni brojači. Osetljivosti su reda 10^{-9} do $10^{-11} \text{ /}\mu\text{Ci/cm}^3$.

Druga merna glava detektuje, obično, beta aktivnosti i za današnje koncentracije radioaktivnosti u vazduhu treba da je što osetljivija. U aparaturi za kontinualnu kontrolu aerosola ACA-2 upotreboom antikoincidentnog kola sa halogenim GM brojačima postignuta je mogućnost merenja koncentracije reda $10^{-13} \text{ /}\mu\text{Ci/cm}^3$ što je stavlja u red najosetljivijih uređaja ove vrste u svetu.

Direktno merenje kontaminacije vode zbog niskih dopuštenih nivoa predstavlja tehničke probleme slično kao i pri merenju vazduha. Nadzor nad vodom za piće je važan jer upotreba vode koja sadrži radioaktivne elemente predstavlja opasnost za ljudski organizam.

Za stanovništvo je dozvoljena maksimalna koncentracija $10^{-8} \text{ /}\mu\text{Ci/cm}^3$ za alfa i beta emitere. Postoje skupe i komplikovane aparature za kontinualnu kontrolu radioaktivnosti u vodi pomoću kojih se voda raspršava, pretvara u aerosole i potom meri slično kao kod kontinualne kontrole aerosola.

Obe kontrole mogu se vršiti merenjem uzorka i odgovarajućim elektronskim kompletima.

MERENJE UZORAKA

Za merenje uzoraka niskog beta aktiviteta za potrebe radiološke, medicinske, civilne zaštite i drugih izradjen je uređaj LOLA-4. Uredjaj je zasnovan na primeni antikoincidentnog kola sa halogenim GM brojačima čime se postiže znatno smanjenje spoljašnjeg fona i omogućava merenje veoma niskog beta ili alfa-beta aktiviteta. Broj upotrebljenih elektronskih komponenti je sведен na minimum čime je obezbedjena velika pouzdanost uređaja i mala potrošnja energije za napajanje.

Za merenje gama aktivnosti uzoraka služi scintilacioni komplet koji se sastoji od promenljivog visokog napona, impulsnog pojačavača, integralnog diskriminatora, merača brzine brojanja i skalera. Pretežni deo instrumenta izradjen je u najmodernejoj tehnici pomoću integrisanih i mikrologičkih kola što omogućava veliku pouzdanost i veoma malu potrošnju sistema. Odrđeni gama emiteri kao Cs-137, Co-60 mogu biti brzo identifikovani pomoću ove aparature.

KONTROLE I MERENJA U AKCIDENTALNIM USLOVIMA

Akcije koje slede akcidentalne uslove treba da su brze i da se odvijaju prema planu koji je zavisan od dobijenih mernih rezultata. Dogadjaji koji prethode početku skupljanja neophodnih podataka su:

- detekcija nenormalnih uslova,
- procena značaja nenormalne situacije.

Ovo nameće poznavanje situacije u normalnim uslovima koja pored mernih rezultata omogućuje obuku kadrova sa odgovarajućom mernom instrumentacijom i korišćenjem standardnih analitičkih tehnika.

Planiranje merenja u akcidentalnim uslovima uključuje:

- poznavanje tipova radionuklida,
- prisutnu količinu radionuklida,
- lokaciju izvora zračenja i vezu sa naseljenim mestima,

saobraćajnicama i vodama uzimajući u obzir meteoroške, hidrološke i druge uslove koji imaju uticaj na širenje radionuklida.

Da bi se plan merenja mogao brzo obavljati potrebno je imati dovoljno vozila i uredjaja na pojedinim mestima kao i lica sposobna za procenu situacije i slanje ekipa sa određenim zadacima. Putevi vozila i lokacija uzorka treba da su jasno definisani, a mesta uzimanja uzorka takva da se spreči nepotrebljena kontaminacija instrumenata i lica.

Polazeći od navedenih koncepcija realizovana je pokretna radiološka laboratorija sa uredjajima koji obezbeđuju merenja:

- primljenih doza za lica,
- radijacionih polja gama zračenja i određivanje orijentacije u odnosu na izvore zračenja,
- kontaminacije ljudi, odeće, površina,
- radioaktivnosti uzorka vode, hrane, vazduha.

Opšti pregled uredjaja dat je tabelarno.

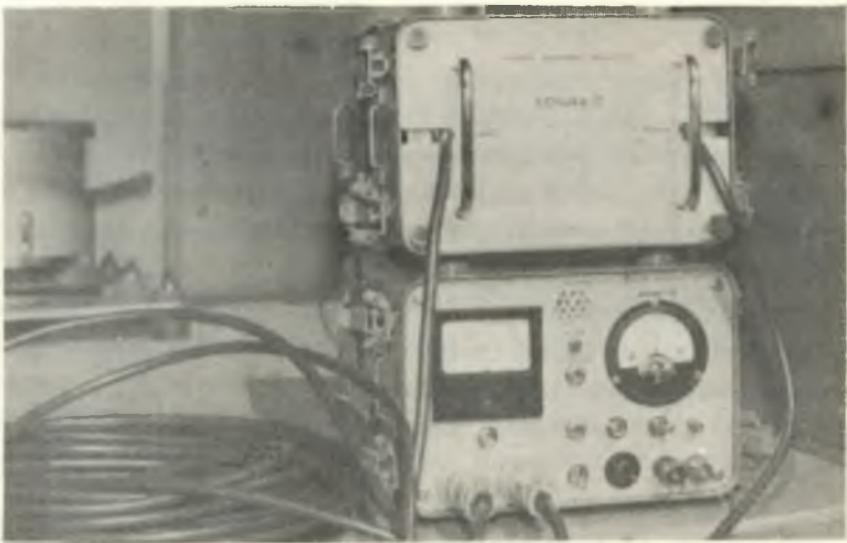
Kontrola radiacionih polja	Kontrola radioaktivne kontaminacije	Kontrola radioaktivnih uzoraka
Lični dozimetri 0 - 200 mR 0 - 50 R Lovac zračenja zvučno - optička indikacija Alarmni uredjaj 0,1-1 - 10 mR/h ili 1-10-100 mR/h uredjaj za merenje gama zračenja do 500 R/h	Uredjaj za merenje kon- taminacije beta / gama alfa Opsezi: 0 - 10 imp/sek 0 - 100 imp/sek 0-1000 imp/sek	Merenje uzorka niskih beta aktivnosti (voda, hrana, tlo) Osetljivost: 10^{-12} Ci Merenje uzorka gama-scintila- cioni komplet -tečni, čvrsti uzorci - medicinska sonda

ZAKLJUČAK

Brz razvoj elektronike poslednjih godina omogućio je korišćenje poluprovodničkih elemenata koji imaju veliku prednost nad klasičnim. Pouzdanost instrumentacije male dimenzije, mala potrošnja i širi temperaturni opseg upotrebe su neke od osobina savremenih rešenja.

Samo dobra i pouzdana instrumentacija omogućava kvalitativno i kvantitativno određivanje nivoa radijacionih polja i radioaktivne kontaminacije što jedino određuje preduzimanje odgovarajućih mera. Da bi se ovo vitalno pitanje rešilo na najadekvatniji način potrebno je imati plan razvoja i izrade savremene instrumentacije.

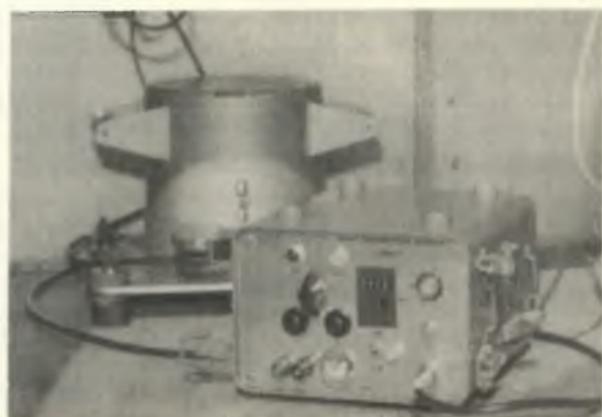
Jedinstven plan za celu zemlju obezbedio bi kvalitetan razvoj, standardizaciju elemenata, metoda merenja i baždarenja, ekonomičniju proizvodnju i održavanje kao i lakšu obuku kadrova.



Uredjaj za alarmiranje i određivanje orijentacije
u polju zračenja



Uredjaj za merenje površinske kontaminacije KOMO-T



Uredjaj za merenje uzoraka LOLA-4



Deo instrumentacije pokretne radiološke laboratorije

JEDINICE MERE, METODE I ETALONI
RADIOAKTIVNOSTI I JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Dj. Bek-Uzarov

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

Kada je čovek počeo da razmjenjuje dobra; bilo da je zamjenjivao odredjeni broj ovčijih kožica za sekiru ili da je, kasnije, davao novac za odeću, on je nešvesno uveo standardizaciju, merenja i grešku merenja. Taj prvi pokušaj standardizacije odražava se na tome da je čovek htio da uvede utvrđen, fiksan standardan broj kožica kojima je htio da kompenzira odredjenu izmerenu količinu rada. U prirodno promenljivim uslovima (bilo zbog usavršavanja proizvoda, povećanja količine rada) proizvodnje javila se potreba da se izvrše makar i manja odstupanja od utvrđjene cene što je dovelo do odstupanja standarda. Dopušteno moguće ili verovatno odstupanje od utvrđjene veličine navodi nas na definiciju greške.

Izvršiti standardizaciju nečega znači opisati mu i utvrditi neke bitne karakteristike tako da mogu biti provere-ne merenjem. Karakteristike su definisane tako da je dopušte-no odredjeno odstupanje od definisane veličine pa je time una-pred definisana i dopuštena greška.

Na prvi pogled čoveku se učini da je standardizacija tehnokratski pojam. Pojam koji egzistira iz tehničkih i ekonomskih odnosno trgovачkih razloga. Utvrđeni komadi raznog obradjenog materijala, delova mašina, ako su uradjeni precizno, prema predviđenim normama, mogu se neposredno koristiti za dalju ugradnju. Ili, utvrđene količine materijala sa definisanim kvalitetom realno reprezentuju uloženi rad pa je time onemogućeno špekulisanje u trgovini robom. Međutim, standardizacija nije pojam koji se sреće samo u poslovnom i tehnokratskom svetu već se javlja i van realnog sveta, u oblasti pojmova. Tako na primer pojam "sreća", "ljubav", "strah" imaju za svakog čoveka na svetu jasan standardni smisao dok se gleda u širem smislu. Ali svima nama je takodje poznato da za

svaki od tih pojmljiva postoje različita shvatanja u svakog naroda posebno pa i u svakog pojedinca. Ako se tako posmatra, dolazi se do zaključka da su gramatike i rečnici ustvari ozbiljni standardi jezika. (Mora se priznati da nije tih standarda ne bi se moglo sigurno ostvariti prevodjenje pomoću računskih mašina tzv. "elektronskih mozgova").

Veza između računanja i razgovora je, ma koliko da je ona malo očekivana, ipak potpuno prirodna. Šta su drugo matematički simboli do znakovi kojima se obeležavaju pojmovi i radnje koje se kombinuju i čine složeni sistem; ništa manje složen od nekog romana. Matematički simboli čine rečnik matematičara. On je standardizovan rečnik onda kada svako može da zna da dva broja povezana znakom "+" treba sabrati. Onda je takav pojam standardizovan.

Mnogima ovde je poznato da za vreme Njutna i Lajbnica nisu postojali standardizovani simboli za matematičke operacije. Tako dva matematičara nisu razumela uopšte jedan drugog. Zbog toga se vrlo često dogadjalo da su radovi i pronalašci matematičara bili ponavljeni. Nije teško shvatiti koliko je to kočilo razvoj matematike.

Uzmimo jedan drugi primer; mnogo jednostavniji i prozaičniji primer. Postoji standard u svetu da u javnom saobraćaju vozila voze desnom stranom druma. Taj standard su poštovale sve zemlje osim Švedske i Engleske. Švedska je ovih dana uvela ovaj standard u saobraćaju uz troškove od nekoliko milijardi kruna. Engleska se tek sprema na to i troškovi će iznositi na oko 600 miliona funti sterlinga /2/ (negde oko 20 milijardi novih dinara). Englesku, iako formalno članicu medjunarodne konvencije, očekuje još prelazak na medjunarodni sistem mera: metar, kilogram, sekunda*. Troškovi u vezi sa ovim se ne mogu uopšte još uvek ni proračunati. Neko može lakonski da zaključi: "Pa neka onda i ne prelaze na taj sistem". Medjutim, ako imamo u vidu da nema razgovora o ulasku u neku medjunarodnu podelu rada, kada se nemaju usaglašene medjunarodne mere, onda nam je jasno odmah da će morati pristati na bilo koju cenu, samo je pitanje vremena. Odavde izvlačimo jedan novi zaključak. Medjunarodne mere i standardi su u stvari medjunarodni ekonomski, tehnički, naučni rečnici. Neka mi bude dopušteno da napravim jednu običniju komparaciju. Kao što je nemoguće da dva sagovornika se sporazumeju i razmenjuju misli ako se ne drže jednog jezika (rečnika), slično je otežana razmena dobara ako

*

Vrlo je važno da iz ovoga zemlje u razvoju, kao što je i naša, uzmuh na vreme dobru pouku.

se nemaju isti standard i jedinice mere.

Odavde nam je očigledna važnost standarda. Uspostavimo još vezu izmedju standardizacije i merenja. Svaki realni standard je opisan merljivim veličinama koje dati objekat kvantitativno i kvalitativno definišu u jedinicama mere (metar, kilogram sekunda, amper ...). Pa kako se može drugaćije utvrditi da li je jedan standard takav kakav treba da bude ili nije takav, do merenjem definisanih veličina koje taj standard opisuje. Odavde izlazi da imati kompletno standardizovanu prirodu bez mogućnosti merenja je isto što i iskazati želju a nemati mogućnosti da se ona realizuje.

S druge strane takođe vredi činjenica da jedna veličina može da se standardizuje tek ako se može da meri. Standardizacije i merenja su komplementarni pojmovi.

2. MEDJUNARODNA I NACIONALNE SLUŽBE MERENJA

Sve zemlje potpisnice Medjunarodne konvencije o meraima ujedinjene su u Internationalnom birou za mere i tegove čije je sedište u Sevru kraj Pariza. Mnoge, naprednije i razvijenije zemlje imaju svoje nacionalne, kraljevske, vladine, ministarske institute koji se bave problemima merenja, razvijaju i usavršavaju metode merenja i čuvaju nacionalne etalone mera. Nacionalni etaloni su subetaloni jednog medjunarodnog etalona.

Nacionalna laboratorija za merenje u SAD je National Bureau of Standards iz Washington-a, zapošljava oko 6000 istraživača. Finansira je Ministarstvo trgovine i ima prihode od prevosudja. Inače je istraživačka ustanova u kojoj su postignuti vrhunski uspesi u oblastima telekomunikacija, metalurgije i analitike.

U SSSR (pri Vladi) postoji "Komitet mer i vesov" u Moskvi. Pod tim Komitetom nalazi se pet instituta koji se bave merenjima. Najpoznatiji institut je Institut metrologije D.I. Mendeljejeva. U ovoj oblasti radi (po proceni) do 7000 istraživača.

U SR Nemačkoj postoji državni institut : Physikalisch Technische Bundesanstalt u Braunschweigu. Ustanova koja je skoro slavila stoljeća od osnivanja. Zapošljava oko 1500 ljudi.

Skoro svi instituti imaju posebna odjeljenja od klasičnih mehaničkih laboratorijskih do nuklearnih reaktora namenjenih specijalno za merne svrhe.

Vrlo su interesantne ideoološke koncepcije egzistencije ovih ustanova. U kapitalističkom svetu njih drži trgovačka

konkurenčija, dok u socijalističkim zemljama konkurenčije nema. U socijalističkim zemljama merenja gaje i održava nauka.

U Jugoslaviji je vrhunska ustanova za mere Savezni zavod za mere koji je pred Saveznim izvršnim većem odgovoran za legalnu metrologiju. Prvobitna dužnost ove ustanove je bila, i ostala je i sada, da čuva nacionalne etalone mera i da vrši stručno uporedjivanje mera i etalona na teritoriji cele zemlje. Nažalost, ta ustanova, iako je do sada mnogo napredovala, nije imala dovoljno mogućnosti i nije joj pružena dovoljna pažnja da bi ona mogla da razvija i istraživačke laboratorije u onom obimu u kojem bi to bilo potrebno. Savezni zavod za mere ima razvijenije laboratorije za merenje masa i električnih veličina, ali ni one nisu potpuno opremljene ni sredstvima ni kadrovima. Iz oblasti merenja radioaktivnosti u Zavodu ne postoje nikakve opreme, pa svoje kompetencije Ured najčešće prenosi na Institut "Boris Kidrič" koji je u poslednjih sedam godina bio predstavnik zemlje u medjunarodnom savojovanju etalonih radioaktivnih izvora i rastvora.

Kako je stojalo sa razvojem problematike merenja radioaktivnosti kod nas?

Prve etalone radijuma posedovao je Beogradski univerzitet na Katedri za fiziku i Medicinskom fakultetu, gde je radio prof.D.K.Jovanović koji je došao iz Laboratorije Irene Kiri. Do 1941. godine prof.Jovanović je okolnim mestima i banjama merio "metodom emanacije" radioaktivnost voda u rekama i banjama Srbije. Tu je učinio pionirski rad kod nas i ostavio za sobom vrlo veliki broj radova, a i tradiciju koja se i danas drži u toj oblasti. Za vreme Drugog svetskog rata laboratorije su bile uništene.

Posle rata prof.P.Savić, takodje veliki učenik i saradnik Kirijevih laboratorija, u zajednici sa dr R.Valenom osniva Institut za fiziku koji se vrlo brzo razvija u Institut za nuklearne nauke - danas Institut "Boris Kidrič" u Vinči. Uvodjenjem reaktorske problematike kao i proizvodnje radioaktivnih izotopa kod nas, postavlja se problem osnivanja grupe koja bi se bavila razradom metoda za apsolutna merenja radioaktivnih izotopa. Tako 1956. godine Profesor je u saradnji sa dr A.Milojevićem, koji je sada takodje profesor i dekan Prirodno-matematičkog fakulteta, osnovao prvo grupu za apsolutna merenja i razvoj metoda detekcije - danas Metrologiju radioaktivnih izotopa.

3. ORGANIZACIJA SLUŽBE MERENJA U SVETU I KOD NAS

Kada se želi vršiti bilo kakvo merenje onda se najpre uspostavljaju jedinice mere. Jedinice mere su do sada bile izabrane veličine koje su konvencionalno (prema dogovoru vodećih specijalista iz celog sveta) važile i reproducovale. Do sada je predloženo šest osnovnih jedinica mere: kilogram, metar, sekunda i dr., (te jedinice zovemo pramere) i one su bile definisane na određeni način, za neke od njih bili su načinjeni uzorci (koji se zovu praetaloni) koje čuva Bureau International des Poids a Mesures. Taj biro takodje se angažuje da povoljnijim metodama izvrši što je moguće tačnije upoređivanje ovog etalona u odnosu na te etalone i napravi sub-etalone mera koji postaju glavni etaloni za određenu zemlju ili naciju. Stoga se oni zovu i Nacionalni etaloni.

Nacionalne laboratorije staraju se i čuvaju svoje etalone i putem sile vlasti (zakon i sud), omogućuju i sprovode da se na čitavoj njihovoj teritoriji jednom definisane mere u javnom životu i saobraćaju sprovode i pridržavaju definisanih tačnosti. Za celokupnu problematiku merenja je i u nas već usvojen naziv metrologija (od grčke reči metros-meriti) Problematika koja se zanima sprovodenjem i definisanjem, standardizacijom mera na nacionalnoj teritoriji zove se legalna metrologija.

Kod nas je takodje 1965. godine osnovan Savezni metrološki savet čija bi dužnost bila da postane savetodavno telo Zakonodavca i stručno rukovodi razvojem metrologije u nas.

Legalnom metrologijom se bave za to od vlasti određene institucije. Tu silu kod nas ima Zavod za mere i dragocene metale, koja na osnovu Zakona o mernim jedinicama i merilima /3/ sprovodi upotrebu mernih jedinica i merila. Mernim jedinicama su definisane veličine a merila grubo definišu moguće greške merenja na celoj teritoriji. Ured takodje treba da utvrđuje prekršioce ovog zakona i preduzima mere za sankcionisanja.

U oblasti merenja radioaktivnih izotopa kod nas postoji Zakon o dozvoljenim dozama i količinama radioizotopa sadržanim u životnoj sredini. Taj zakon je donet na osnovu predloga Savezne komisije za nuklearnu energiju, čime je učinjen prekršaj integriteta legalne metrologije. Sistem jedinica mora biti skleronoman, kompletan i zajednički, bez obzira na koje jedinice se odnosi. Može da se čini da je ovde greška samo formalne prirode. To se još ne zna! Zakonom su takodje definisane i institucije koje su ovlaštene da mogu određena merenja

vršiti na određenim teritorijama.

4. KRATKE DEFINICIJE JEDINICA MERE

Internacionalni sistem jedinica čiji je zvanični naziv International System of Units definisao je osnovne veličine koje su označene sa Internacionalnim simbolima (SI - simboli International Symbols) na svim jezicima isto. Na kraju simboli mere nema tačke bez obzira na pravopise /l/.

Tako je definisano šest osnovnih veličina:

mera	jedinica mere	oznaka
Dužina	metar	m
Masa	kilogram	kg
Vreme	sekunda	s
Jačina električne struje	amper	A
Termodinamička temperatura	stepeni Kelvina	°K
Intenzitet svetljenja	kandela	cd

Nazivi multiplja i submultiplja se formiraju korišćenjem prefiksa ispred naziva mere. Prefiksi su:

vrednost	naziv	oznaka	vrednost	naziv	oznaka
10^{12}	tera	T	10^{-1}	deci	d
10^9	giga	G	10^{-2}	centi	c
10^6	mega	M	10^{-3}	ili	m
10^3	kilo	K	10^{-6}	mikro	μ
10^2	hekto	h	10^{-9}	nano	n
10^1	deka	da	10^{-12}	piko	p
			10^{-15}	femto	f
			10^{-18}	atto	a

Suplementarne jedinice su:

ugao u ravni	radijan	rad
ugao u prostoru	stereoradijan	sr

Takodje je usvojena i Medjunarodna lista izvedenih veličina. Ta lista može biti i proširena.

Površina	kvadratni metar	m^2	
Zapremina	kubni metar	m^3	
Frekvencija	herc	Hz	
Gustina(gustina mase)	kilogram po kubnom metru	kg/m^3	
Brzina	metar u sekundi	m/s	
Ugaona brzina	radijan u sekundi	rad/s	
Ubrzanje	metar za kvadratnu sekundu	m/s^2	
Angularno ubrzanje	radijan za kvadratnu sekundu	rad/s^2	
Sila	njutn	$\text{N} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$	
Pritisak	njutn na kvadratni metar	N/m^2	
Kinematička visoznosc	kvadratni metar po sekundi	m^2/s	
Dinamička viskoznost	njutn-sekunda na kvadratni metar	Ns/m^2	
Rad,energija,toplota (količina toplote)	džaul	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
Snaga	vat	W	$\text{J} \cdot \text{s}$
Maelektrisanje	kulon	C	A.s
Električni potencijal, razlika potencijala elektromotorna sila	volt	V	W/A
Jačina električnog polja	volt na metar	W/m	
Otpor (na jednosmer- nu struju)	om	Ω	V/A
Kapacitet	farad	F	$\text{A} \cdot \text{s}/\text{V}$
Magnetski fluks	veber	Wb	V.s
Indukcija	henri	H	$\text{V} \cdot \text{s}/\text{A}$
Gustina magnetskog fluksa (magnetska indukcija)	tesla	T	Wb/m^2
Jačina magnetskog polja	amper po metru	A/m	

Fluks svetla	lumen	lm	cd.sr
Intenzitet svetla	kandela na kvadratni metar		cd/m ²
Osvetljaj	luks	lx	lm/m ²

Sve navedene jedinice usvojene su od strane našeg zakona 1961. godine /2/.

4.1. Jedinice mere radioaktivnosti i ionizujućeg zračenja

Postoji Medjunarodna komisija za radiološke jedinice sa sedištem u Nacionalnom birou za mere u Americi a ona je organak Komiteta za radiološka merenja pod Medjunarodnim biroom za mere i tegove koja daje s vremena na vreme, već prema razvoju nauke i naučne mistli, sve novije i novije preporuke za definisanje mera i jedinica.

Osnovni fenomen radioaktivnosti je raspad atomskog jezgra. Jedinica kojom je definisana brzina raspadanja ili transformacija definisana je kao

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

gde je N broj nuklearnih transformacija u vremenskom intervalu t . Time' je uopšteno definisana brzina raspadanja. Specijalna jedinica za radioaktivnost je kiri (obeležava se sa Ci) i ona iznosi:

$$1 \text{ Ci} = 3,700 \cdot 10^{10} \text{ raspada/s.}$$

Radioaktivni raspad je fenomen u kome se dogadja da se prilikom raspada jezgra javljaju emisije različitih vrsta čestica i elektromagnetskog zračenja koje ima svoje delovanje na okolnu materiju u prostoru; čime se uostalom otkriva i definiše postojanje radioaktivnosti u prostoru.

Jedinica kiri, međutim, ne može dati nikakvo merilo o promenama u prostoru u kome postoje emitovane čestice, dakle u radijacionom prostoru. Zbog toga su definisane ionizujuće čestice ili radijacione veličine.

Medjunarodna komisija za radijacione veličine je 1962. godine preporučila sledeću veličinu čiji naziv je: "izlaganje", a označava se sa X i definiše kao:

$$X = \frac{Q}{m}$$

gde je Q zbir nanelektrisanja svih jona jednog znaka proizvedenih u vazduhu kada su sve ionizujuće čestice (elektroni) oslobođeni fotonima u elementu zapremine vazduha, čija masa iznosi m , potpuno zaustavljeni u vazduhu.

Jedinica izlaganja je rentgen (R) ili ($R\delta$)

$$1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg.$$

Izvedena jedinica od ove je jačina izlaganja

$$\Sigma = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

gde je X izlaganje u intervalu vremena t .

Kako energija ionizujućeg zračenja koju ona ostavlja u materiji ne zavisi samo od zračenja već zavisi i od vrste materije, to je zbog toga morala da se uvede i definiše još jedna druga jedinica koja je po nazivu "Kinetic Energy released in material" dobila naziv "Kerm". Ta veličina je definisana kao

$$K = \frac{\Delta E_k}{\Delta m}$$

gde je ΔE_k zbir početnih kinetičkih energija svih nanelektrisanih čestica oslobođenih posredstvom ionizujućih čestica u elementu zapremine datog materijala. Veličina m je element posmatrane mase /4, 5/.

Postoje takođe i druge izvedene jedinice koje su dате u Tablici 1.

Veza između radijacionih veličina i veličine kiri i skazuje se tzv. karakterističnim gama konstantama koje obeležavaju sa Γ ili $K\gamma$ i koja ima za cilj da poveže veličine broja dezintegracija sa veličinom izlaganja. Ova je konstanta karakteristična za svaki izotop a prilikom merenja se mora voditi računa o tehničkim uslovima merenja: apsorpcija u izvoru i materijalu u kome je izvor upakovani, geometrija, rasejanje i o drugim uslovima.

TABLICA 1. - Radijacione veličine i jedinice preporučene od strane ICRU

N A Z I V	Simbol	Dimenzije	Sistem jedinica		
			MKS	CGS	Specijalne
Predata energija		E	J	erg	g rad
Apsorbovana doza	D	EM^{-1}	$J kg^{-1}$	$erg g^{-1}$	rad
Jač.apsorb. doze		$EM^{-1} T^{-1}$	$J kg^{-1} s^{-1}$	$erg g^{-1} s^{-1}$	$rad s^{-1}$
Protok čestica	ϕ	L^{-2}	m^{-2}	cm^{-2}	
Gustina protoka	φ	$L^{-2} T^{-1}$	$m^{-2} s^{-1}$	$cm^{-2} s^{-1}$	
Protok energije	F	$E L^{-2}$	$J m^{-2}$	$erg cm^{-2}$	
Gustina fluksa energije	T	$EL^{-2} T^{-1}$	$J m^{-2} s^{-1}$	$erg cm^{-2} s^{-1}$	
Kerm	K	EM^{-1}	$J kg^{-1}$	$erg g^{-1}$	
Jačina Kerma		$EM^{-1} T^{-1}$	$J kg^{-2} s^{-1}$	$erg g^{-1} s^{-1}$	
Izlaganje	X	QM^{-1}	$C kg^{-1}$	$esu g^1$	R
Jačina izlaganja		$QM^{-2} T^{-1}$	$C kg^{-2} s^{-1}$	$esu g^{-1} s^{-1}$	Rs^{-1}
Maseni koefic. slabljenja	μ	$L^2 M^{-1}$	$m^2 kg^{-1}$	$cm^2 g^{-1}$	
Mas.koefic.apsor.energije	μ_{en}	$L^2 M^{-1}$	$m^2 kg^{-1}$	$cm^2 g^{-1}$	
Masena zaustavna moć	ρ	$EL^2 M^{-1}$	$Jm^2 s^{-1}$	$erg cm^2 g^{-1}$	
Linearni prenos energije	L	EL^{-1}	Jm^{-1}	$erg cm^{-1}$	$KeV(\mu m)^{-1}$
Srednja energ. po jon. paru	w	E	J	erg	$e \mu$
Aktivnost	A	T^{-1}	s^{-1}	s^{-1}	$Ci(Curie)$
Specifična gama konstanta	r	$QL^{-2} M^{-1}$	$Cm^2 kg^{-1}$	$esm cm^2 g^1$	$Rm^2 h^{-1} c^{-1}$
Ekvivalent doze	DE				Rem

5. ELEMENTARNE DEFINICIJE GREŠKE

Pod greškom merenja podrazumeva se odstupanje merene (ili uporedjivane) vrednosti od prave vrednosti. Usvojeno je da se greška definiše na sledeći način:

$$|a - a_0| \leq s$$

gde je veličina a merena vrednost, a_0 prava vrednost (u nekim slučajevima to može da bude i najverovatnija vrednost), a s je oznaka za absolutnu grešku. Apsolutna greška ima one dimenzije u kojima se veličina meri ili upoređuje.

Kada se neka veličina meri dobija se približni broj koji se piše sa onoliko decimalnih mesta kolika je tačnost merene veličine. Ostale decimale, kao neverni brojevi, se odbacuju zaokruženjem približnog broja, i to tako što se prethodna cifra povećava za jedan ako je cifra koja se odbacuje veća od 5 ili ima vrednost 5.

Kada se vrši algebarsko sabiranje približnih brojeva onda se greška zbirira traži kao zbir absolutnih grešaka sabiraka, tj. ako je:

$$S = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$$

ona daje

$$\Delta S = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3 + \dots + \Delta a_n.$$

Iz absolutne greške izvodi se relativna greška na sledeći način:

$$\delta_r = \frac{\Delta a}{a_0}, \quad a_0 \neq 0$$

gde je sa δ_r označena relativna greška. Umesto deljenjem sa vrednošću a_0 često se (kada je vrednost absolutne greške mala, što je u praksi čest slučaj) deli sa "a". Relativna greška nemaju dimenzije. Ako se ovako definisana relativna greška pomnoži sa 100 onda se dobija greška u procentima.

Ako se dva ili više približna broja množe ili dele, ntokon čega se razumljivo dobija opet takodje približni broj, onda relativna greska rezultata množenje ili deljenje se dobija s ogranjenjem relativnih grešaka multipla i submultipla, tj. ako

je:

$$P = a \cdot b ,$$

onda je

$$\delta_P = \delta_a + \delta_b ;$$

takodje važi i za slučaj kada je

$$K = -\frac{a}{b} .$$

da je

$$\delta_K = \delta_a + \delta_b .$$

6. METODE MERENJA RADIOAKTIVNIH IZVORA

Metode merenja koje u toku merenja i obrade rezultata merenja ne koriste nikakve etalone zovu se metode za apsolutno merenje. Preko metoda apsolutnih merenja dolazi se do zaključaka o vrednosti merene veličine korišćenjem samo sledećih osnovnih etalona: dužine, mase, vremena, jačine električne struje, termodinamičke temperature i intenziteta svetljenja.

Metode, aparature ili merila koja merenu veličinu na bilo koji način upoređuju ili u toku merenja koriste etalone zovu se metode relativnih merenja. Metode relativnih merenja imaju po previku manju tačnost od metoda apsolutnih merenja, jer korišćenjem etalonih veličina na grešku kojom je definisan etalon nadodaju još i sopstvenu grešku merenja.

6.1. Metode merenja broja raspada radioaktivnih izotopa

Zbog prirode radioaktivnog raspada s jedne strane i različitim agregatnim stanja u kojima se radioaktivni izotopi javljaju, sa druge strane, nije moguće unificirati i postaviti jednu metodu za merenje radioaktivnosti. Razvoj metoda i merila je išao putem najpogodnijih uslova za merenja vodeći računa o vrstama zračenja i agregatnom stanju u kome se mereni izvor nalazi u toku merenja.

Metode pomoću kojih se vrše apsolutna merenja broja dezintegracija su: 2π i 4π brojači, $\beta-\gamma$ koincidentna metoda, tečni scintilacioni brojači, ionizacione komore, 4π

brojači sa unutrašnjim gasnim grejanjem, kalorimetri.

Metode pomoću kojih se vrše relativna merenja su gotovo sve metode kojima se može vršiti merenje odnosno detekcija zračenja. Specijalno poznate su: ionizacione komore, scintilacioni brojači i GM brojači, poluprovodnički brojači i dr.

Kod nas su razvijene sledeće metode za apsolutna merenja: β - γ , α - γ i koincidentna metoda, 4π metoda, metoda tečnog scintilatora, metoda impulsne ionizacione komore i metoda određjenog prostornog ugla.

Od metoda za relativna merenja razvijene su: metoda gama integralne komore, odrđenog prostornog ugla, 2π proporcionalnog brojača.

Za apsolutna i relativna merenja neophodno je potrebna kontrola čistoće radioaktivnog izotopa. Radi toga javlja se potreba za merenjem eventualnih kontaminacija u materijalima koji treba da posluže za pravljenje etalonih radioaktivnih izvora. Za te svrhe služi najčešće spektrometar za X i γ - zračenje sa scintilacionim detektorom.

6.2. Metode merenja ionizujućeg zračenja

Za apsolutna merenja doza izlaganja služe ionizacione integralne komore koje vrše merenja prema definiciji izlaganja datog zračenja. Komore se prave uglavnom od grafita ili vazdušno-ekvivalentnih materijala. Kod nas se privode kraju montaže obe metode i u toku ove godine očekuju se prvi rezultati.

7. ETALONI RADIOAKTIVNI IZVORI

Radioaktivni izvori kod kojih je poznat broj dezinTEGRACIJE ili poznata neka od navedenih radijacionih veličina sa definisanim greškom može da se zone etaloni izvor.

Etaloni izvori koji su mereni na nekoj od metoda za apsolutna merenja zovu se primarni etaloni. Primarni etaloni imaju po pravilu najveću moguću tačnost. Primarni etaloni mogu da budu medjunarodni, nacionalni, državni, a mogu da budu i uže teritorijalnih kompetencija.

Etaloni radioaktivni izvori dobijeni tako što su njihove radioaktivnosti uporedjivane sa primarnim etalonima zovu se sekundarni etaloni. Ako se pak etalon meri - upoređuje u odnosu na sekundarni etalon, onda se ovaj zove tercijarni etalon.

Zbog prirode radioaktivnosti da se spontano raspada u toku vremena nemoguće je napraviti etalone sa vremenski dužom fiksnom tačnošću.

Radioaktivni etaloni, kao i drugi etaloni, trpe stalno dejstvo fizičkih: mehaničke sile, ubrzanja, magnetske sile, toplove; i hemijske: dejstvo vlage (korozije i raspadanja) i druga hemijska razlaganja koja, u zavisnosti od toga kako su čuvana, mogu da promene vrednost pod uticajem tih sila. Zbog toga se svi etaloni odredjene klase sakupljaju i vrši verifikacija ili reetaloniranje. Vremenski važnost etalona propisuju zakoni.

Za svaki etalon se izdaje dokument - Svedočanstvo o merenju u etaloniranju datog preparata. Svedočanstva izdaju naučnoistraživačke ustanove sa visokim kompetencijama, a u legalnoj metrologiji samo ustanove koje zakonodavac za to ovlasti. Svedočanstvo mora da sadrži vrednost radioaktivnosti iskazanu u nekim od navedenih jedinica sa definisanim greškom; kraći opis metode etaloniranja; uputstva o rukovanju i vremenske parametre.

Organizacija razmene etalona je unekoliko specifična kod radioaktivnosti. Etaloni izvori se na medjunarodnom nivou dobijaju na sledeći način. Internacionani biro objavi vreme kada zakazuje medjunarodno srađenje etalonog izvora. U zakazano vreme sve laboratorije - učesnice (sada ih ima 25) u svetu primaju radioaktivni rastvor identičnih karakteristika. Sve laboratorije imaju već pripremljene uslove i aparatu-re pa počinju istovremeno merenja u celom svetu. Merenja se vrše po jedinstvenim propozicijama koje propisuje Medjunarodni biro. Nakon završetka merenja šalju se podaci o mernim rezultatima u jednu od laboratorijsa koju ovlašćuje Biro ili u sam Biro. Kada se rezultati obrade pošalju se dobijene vrednosti rezultata svih učesnica. Na taj način dobija se radioaktivni rastvor poznat sa najboljom tačnošću, jer je učinjeno toliko merenja koliko ni jedna sama laboratorija u svetu ne bi bila u stanju da izvrši. Ostaci rastvora se čuvaju i, budući da su to rastvori sa vrhunskim poznatim vrednostima, predstavljaju nacionalne rastvore ili nacionalne etalone.

Etaloni radioaktivni izvori koji se izradjuju kod nas razvrstani su na tri kategorije ili klase, i to:

- I. Etaloni izvori i rastvori mereni sa greškom manjom od 2%
- II. Etaloni izvori i rastvori mereni sa greškom manjom od 5%, i

III. Etaloni izvori i rastvori mereni sa greškom većom od 5%.

Telo etalonog izvora definisano je prema, do sada već u svetu uhodanim normativima. - Podloge su im od platine ili aluminijskog zavisno od izotopa i preparacije izvora. - Pokrivač od aluminijskog ili plastičnih masa definisanih površinskih gustina. - Aktivni sloj ima površinu u dijametru od 6; 10 ili 17 mm. - Dijapazon brzine raspada im se kreće od 0,1 do $10 \mu\text{Ci}$, osim u specijalnim slučajevima kada ove veličine mogu biti manje ili veće /6/.

Nacionalni etaloni radioaktivni izvori kao radijacione jedinice kod nas ne postoje, jer do sada, osim nekih sporadičnih pokušaja, nisu ni vršena uporedjivanja metoda i etalona ove vrste na medjunarodnom nivou.

U okviru medjunarodnih srađnjivanja izvora vršena su merenja na izotopima Co-60, Sr-90 - Y-90, S-35, Au-198 i Am-241. Sva merenja su vršena sa greškom manjom od 2%. Dugoživeći etaloni se čuvaju kao nacionalni etaloni u depozitu Instituta(zg. 46 Metrologija).

ZAKLJUČAK

U radu je vrlo kratko iznet spisak jedinica i date definicije koje se koriste u merenjima a koje je preporučila Internacionala komisija za radiološke veličine. Ovde su vrlo kratko opisani postojeći etaloni radioaktivnog zračenja i postojeće metode za merenja brzine raspada, tzv. brojačke metode i to samo one koje su učestvovali u medjunarodnom srađnjivanju izvora.

Nažalost mora se konstatovati da naš razvoj u oblasti merenja radijacionih veličina dosta zaostaje za razvojem u susednim zemljama. Verovatno da je to posledica uopšteno zanemarenih organizacionih problema u nas. Potreba za osnivanjima i centralizacijom laboratorijskih za merenja je očigledna. Treba takođe imati u vidu da veličine troškova za ovu problematiku nisu male. Podizati posebnu laboratoriju za merenje visokih polja radijacije nema smisla ako već igde ona postoji. No sva-kako da bi trebalo participacijom sredstava i kadrova da centralni upravni organi za legalnu metrologiju imaju uvida i postave stalni oblik saradnje sa vodećim ustanovama kod nas: fakultetima, institutima bar u prvoj fazi razvoja.

Postoje takođe već sada i određeni oblici saradnje sa inostranstvom u oblasti razvoja metrologije.

S druge strane dobija se utisak da je čak i šira javnost u redovima istraživača slabo informisana čak i o banalnim problemima iz oblasti metrologije. Verovatno je da je to posledica naglog razvoja, a nije isključeno da je to pitanje vaspitanja nacije. No svakako da će u narednom periodu tim pitanjima morati da se posveti posebna pažnja, jer nepoštovanje poznavanja standarda i mera sigurno zatvaraju vrata pred ulazak u razmenu: međunarodnog rada, nauke, informacija i bogatstava opšte-čovečanske kulture.

LITERATURA

- /1/ J.Terrien. Metrologia. Vol.1. Nr.1. January 1965 (15-27).
- /2/ "Moto-revija" 23.09.1967. str.3.
- /3/ Službeni list FNRJ br.45 od 15.11.1961, str.941.
- /4/ P.Marković. Radioaktivni izotopi i zračenja. Godina IV. februar 1965. br.2.237.
- /5/ National Bureau of Standards. Radiation Quantities and Units. International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU). Report 10a. NBS. Handbook 84. Washington D.C. 1962.
- /6/ Radioaktivni izotopi. Katalog Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič". Vinča 1966. 35-39.

SREDSTVA LIČNE DOZIMETRIJE

M. Sterle

Zavod SR Slovenije za zdravstveno
in tehnično varnost, Ljubljana

1. U V O D

a. Merenje lične doze kao mera sigurnosti

Merenje lične doze su kontrolirana merenja. Ona registriraju događaj, koji se već desio. Iz ovih merenja možemo naučiti na koji način ćemo u budućnosti da smanjimo opterećenje zračenjem. Naravno ovim merenjima ne možemo dejstvo zračenja uništiti. Kao mera zaštite od zračenja može lična dozimetrija da nam služi samo u slučaju kada možemo prekoračene doze pravovremeno registrirati.

Potreba za ličnim dozimetrima pokazuje nam se danas na dva različita područja:

- lični dozimetar, kao sredstvo zaštite lica, profesionalno izloženih dejstvu ionizujućih zraka, i
- lični dozimetar za slučaj nuklearnog rata.

Kod prvog je ličnog dozimetra merno područje od 2 do 10 000 mr, a kod drugog je ličnog dozimetra merno područje od 100 do 1000 r.

b. Zahtevi koje stavljamo ličnim dozimetrima

Kod izračunavanja doza koje pokazuju lični dozimetri moramo razlikovati dve grupe grešaka: greška samog aparata (te ćemo diskutirati kod samog opisa dozimetara) i merna greška, koja sastoji od dejstva da doza, koju prima čitavo telo nije u saglasnosti sa dozom koju prima mjesto na kojem se dozimetar nosi. Kod toga ne smemo da uzmemo u obzir samo prostorsko merenje polja zračenja, nego i gibanje čovječeg tela u tom polju, a isto tako i materijalnu zaštitu od zračenja, rasipanje zračenja i povratno rasipanje zračenja na toj zaštiti. Ta greška može da se determinira na fantomu ali u praksi možemo takve korekture upotrebiti samo u slučaju kada nam

je poznata poza tela u svakom času.

Najbolje ćemo videti prednosti i manjkavosti sviju metoda koje upotrebljavamo u ličnoj dozimetriji, ako pogledamo zahteve kojima bi morao odgovarati idealni lični dozimetar. Ti zahtevi su sledeći:

- merni rezultat u remima, to znači merenje biološkog dejstva zračenja nezavisno od vrste zračenja i energije zračenja,
- merno područje od nekoliko milirema do otrilike hiljadu rema; to su vrednosti doze koje su u zaštiti od zračenja od značenja,
- merni rezultat nezavisan od smjera upadnog zračenja,
- merni rezultat nezavisan od vremena, koje je proteklo između ozračivanja i izračunavanja doze,
- merni rezultat nezavisan od trajanja ekspozicije. To znači da "munje zračenja" moraju da budu jednakо tačno registrirane kao i slabo i dugotrajno ozračivanje,
- brzo, u svako vreme moguće izračunavanje doze,
- merni rezultat, koji je nezavisan od ostalih ekoloških elemenata kao što su toplota, svetlost, pritisak ili vлага,
- dozimetar koji je malen, mehanički robustan, jeftin i lagan za nošnju,
- dozimetar, čiji se merni rezultati mogu dokumentovano arhivirati.

c. Komparacija svojstava različitih dozimeta

Pogledajmo si mogućnosti pojedinih dozimetara:

Područje merenih doza. dia.broj 1.

Film-dozimetar za rtg i gama	0,002 -	10 r
" za spore neutrone	0,020 -	50 rem
" za brze neutrone	0,020 -	20 rem
Stilo-dozimetar za gama	0,010 -	5 r
" za spore neutrone	0,020 -	0,2 rema
" za brze neutrone	0,020 -	0,2 rad
Stakleni dozimetar za gama	0,050	1000 r
" za spore neutrone	0,010	200 rem
Termoluminiscentni dozimetar	0,001 -	100000 r

Kemijski dozimetar	1,000 - 100 000 r
<u>Energetska zavisnost, dia.br.2.</u>	
Film-dozimetar za rtg i gama	0,030 - 1,2 MeV jaka
" za spore neutrone	manji od 0,5 eV nezavisan
" za brze neutrone	0,5 - 14 MeV, \pm 30%
Stilo-dozimetar za gama	zračno ekvivalentan, nezavisan
" za spore neutrone	nezavisan
" za brze neutrone	0,1 - 8 MeV, \pm 25%
Stakleni dozimetar za gama	0,035 - 1,2 MeV, \pm 20%
" za spore neutrone	manji od 0,5 eV, nezavisan
Termoluminiscentni dozimetar	0,040 - 1,2 MeV, \pm 20%
Kemijski dozimetar	jako velika
<u>Zavisnost od smjera zračenja</u>	
Film-dozimetar za rtg i gama	velika
" za spore neutrone	nezavisan
" za brze neutrone	- 30% do + 40%
Stilo-dozimetar za gama	mala
" za spore neutrone	mala
" za brze neutrone	mala
Stakleni dozimetar za gama	\pm 15%
" za spore neutrone	\pm 15%
Termoluminiscentni dozimetar	mala
Kemijski dozimetar	mala
<u>Izginuće latentne slike</u>	
Film-dozimetar	- 50% posle 14 dana
Stilo-dozimetar	- 3% sedmično
Stakleni-dozimetar	zanemarljivo
Termoluminiscentni dozimetar	- 10% posle 16 sati - 34% posle 83 sati

Nacin i vreme izracunavanja doze

Film-dozimetar	zacrnjenje filma	2 sata
Neutronski film-dozimetar	mikroskopsko brojanje	2 sata
Stilo-dozimetar	merenje napona	odmah
Stakleni-dozimetar	merenje fluorescence	odmah
Termoluminiscentni dozimetar	merenje termoluminiscence	odmah
Kemijski dozimetar	komparacija boja	odmah

Po svemu sto smo izložili možemo redom da nabrojimo manjkavosti pojedinih dozimetara.

Film-dozimetar: kombinirano beta zračenje zacrnuje film, malo područje doza, zbog šireg područja doza upotrebljavaju se dva filma, vлага, toplota i pritisak smetaju, komplikirano kalibriranje koje je potrebno za svako razvijanje za čitavo područje doza, nemoguće očitavanje za vreme rada, nemoguće ponavljanje razvijanja.

Stilo-dozimetar: malo područje odčitavanja doza, potreba za upotreboti više komora, "munja zračenja" smeta, velika mehanička osjetljivost, nije dokumenat.

Stakleni-dozimetar: temperaturna osjetljivost, nemoguće očitavanje minimalnih doza, nije dokumenat.

Temoluminiscentni dozimetar: temperaturna osjetljivost, nemoguće očitavanje minimalnih doza, nije dokumenat, nemoguće ponavljanje očitavanja doze.

Kemijski dozimetar: mala osjetljivost, subjektivno očitavanje.

2. FIIM-DOZIMETAR

a. Svojstva foto-osjetljivog sloja

Foto-osjetljiv sloj se zbog dejstva ionizujućeg zračenja zacrnjuje. Već od početka tehnike rentgenskog zračenja se tehnika upotrebljavala kao kvantitativan dokaz za postojanje tog zračenja.

Zavisnost zacrnjenja filma od primljene doze pokazuje nam dia.3. Iz dijagrama zacrnjenja vidimo, da možemo jednim

filmom da obuhvatimo područje doza od $1 : 10^2$ do $1 : 10^3$. Gornja granica mernog područja jednog filma dana je sa njegovim maksimalnim zacrnjenjem. To se maksimalno zacrnjenje kod pojedinih filmova kreće između 3 i 4, što je u velikoj meri ovisno i od načina razvijanje filma.

Diagram zacrnjenja na našoj slici predstavlja zacrnjenje osjetljivog filma, koji se nalazi u duplom Adox-ovom dozis-filmu. Takav se dupli film upotrebljava u našoj zemlji kod rutinskog rada na film-dozimetriji. Donja je granica osjetljivosti tog filma 2 mr, kod koje doze takav film pokazuje zacrnjenje 0,2. Manjih doza nije moguće očitavati, pošto svaki film ima i svoje vlastito zacrnjenje, koje kod toga filma iznosi oko 0,15, koji je za tačno očitavanje doza najugodniji. Između tačaka C i D kriva prestaje biti linear, a između tačaka D i E kriva zacrnjenja dostiže svoj maksimum i počinje sa solarizacijom. U tom je području naravno svako očitavanje doza nemoguće. Za očitavanje većih doza služi nam drugi neosjetljiv film, koji se nalazi u duplom film-dozimetru. Početak osjetljivosti tog drugog filma nalazi se kod doza 200 do 400 mr. Zacrnjenje, koje film-dozimetar pokazuje kod iste primljene doze u velikoj je meri zavisno od energije zračenja. Osnova te razlike u zacrnjenju nalazi se u različitim absorpcionim koeficijentima zraka i fotografskog sloja. Absorpcioni maksimum fotografskog sloja leži između energija 65 keV, do 70 keV, dok se minimum osjetljivosti nalazi kod energije 1 MeV. U film-dozimetriji upotrebljavani filmovi imaju taj faktor - nazivamo ga faktor tvrdoće filma - između 15 i 40. Na dia.4. vidimo diagram faktora tvrdoće filma u zavisnosti od energije zračenja za Adox-dupli film.

Postavlja se naravno odmah pitanje, na koji način možemo da eliminišemo taj faktor tvrdoće kod izračunavanja doze merene sa film-dozimetrom. Postoje sledeće tri mogućnosti:

- sa absorpcijom zračenja na metalnim filterima,
- sa kombinacijom različito osjetljivih filmova,
- sa fluorescentnom kompenzacijom.

Danas se gotovo svugde upotrebljava sistem absorpcije na metalnim filterima. Različito tvrda zračenja na različitim se debljinama tih filtera različito absorbuju, dok naročito tvrda zračenja na debelom filtru daju i mnoštvo sekundarnih zraka, koji su mekani, a za njih je filmska emulzija mnogo osjetljivija. Na taj način, nazivamo ga filterska analiza, postižemo tačnije očitavanje doza.

Za rentgensko i gama zračenje film-dozimetar se u

zaštiti od zračenja korisno upotrebljava. Međutim, za registraciju beta zračenja mogućnosti registracije sa film - dozimetrom se mnogo precenjuju. Doseg beta zračenja u zraku je oko 30 cm, a to znači da je svako ocenjivanje primljene beta doze praktično nemoguće. Značenje film-dozimetra u registraciji beta zračenja je samo u tome, što možemo, ako na filmu vidimo jače zacrnjenje na mestu prozora plakete, da pretpostavljamo postojanje kombiniranog gama i beta zračenja, dia. broj 5.

b. Foto-osjetljiv sloj kao registrator neutrona

Neutronne registrujemo u foto-osjetljivom sloju pomoću reakcija atomskih jezgara, koje nastupaju između neutrona i njihovih absorbera koji su dodati foto-osjetljivom sloju. Te su reakcije sledeće:

H	/n,p/	u emulziji i omotu	brzi neutroni
N_{14}	/n,p/	u emulziji	spori neutroni
Li_6	/n,alfa/	dodatak u emulziji	brzi i spori neutroni
B_{10}	/n,alfa/	dodatak u emulziji	brzi i spori neutroni
U_{235}	/n,f/	dodatak u emulziji	spori neutroni

Posle razvijanja filma mikroskopski možemo da vidimo putanje protona i alfa čestica. Brojanjem ovih putanja na definiranoj površini možemo to komparirati sa kalibrisnom površinom i definisati dozu neutrona. Zbog zavisnosti koj vlaže između energije neutrona i aktiviranja pojedinih atomskih jezgara, može nam takav način dozimetrije poslužiti jedino ako su nam energije neutrona tačno poznate.

3. STILO-DOZIMETAR

Kao i svi lični dozimetri, i stilo-dozimetar pokazuje integriranu dozu, to znači ukupnu dozu, koju je dozimetar primio od vremena nabijanja dozimetra do vremena očitavanja dozimetra. Upotrebljava se za brzo očitavanje primljene doze, a očitavanje je optičko. To je u principu ionizaciona komora sa ugradjenim elektrometrom. Kao elektrometer služi obično kvarcna nit. Instrumenat je malen i robustan, ima malu kapacitivnost i zato veliku naponsku osjetljivost. Konstrukciju talrog elektrometra sa komorom vidimo na dia.6.

1. To je plastična plastična mase.

1. Zidovi vel. stite ionizacione komore, po mogućnosti izradjeni od zr. čeno ekvivalentnog materijala.
2. Izolator, koji nosi elektrometarski sistem. Izradjen od polistirola ili teflona.
3. Elektrometarski sistem, izradjen od kvarcne niti.
4. Membrana sa kontaktom. Kontakt daje napon niti elektrometra, a membrana štiti izolator od vlage i prašine.
5. Okular mikroskopskog sistema.
6. Skala, koja se nalazi u optičkoj ravni mikroskopskog sistema i koja služi za očitavanje pomaka elektrometerske niti.
7. Blenda mikroskopa.
8. Objektiv mikroskopa.
10. i 11. Zaštitni obruči stilo-dozimetra.

Pošto su ti stilo-dozimetri snabdeveni sa skalom služe za direktno očitavanje doza. Kod energija zračenja većih od 300 keV oni su praktično energetsko nezavisni. Kod povećane relativne vlage - ne smemo da zaboravimo da se stilo-dozimetri nose na odelu - moramo da računamo dnevno 10% smanjenje naboja stilo-dozimetra i bez ozračivanja. Kod dobro izoliranih stilo-dozimeta to smanjenje sme da bude 3% sedmično ili još manje.

4. STAKLOVI DOZIMETRI

a. Staklo kao registerator zračenja

Sa srebrom aktivirano metafosfatno staklo jest staklo izradjeno od alkalijskim i zemljjoalkalijskih fosfata, kojemu se za vreme taljenja dodaje optimalno 8% srebrnog metafosfata. Ta stakla pokazuju posle ozračivanja ionizujućim zračenjem radiofotoluminiscenciju. Kod absorbcije zračenja nastaju slobodni elektroni, koji difundiraju na mesta grešaka u kristalnoj strukturi, a tamo ih hvataju ionovi srebra. Ovi metastabilni srebrovi atomi su centri fluorescencije, i kod ozračivanja sa ultravioletnim svetлом (3650 \AA) daju fluorescentno svetlo (otprilike 6400 \AA). Intenzitet tog svetla proporcionalan je broju centara fluorescencije a time i dozi, kojom smo staklo ozračili. Pošto se ti centri fluorescencije kod ozračivanja UV svetlostu ne uništavaju, to znači da možemo merenja na tim staklima ponavljati proizvoljno put.

Na dia.broj 7. vidimo diagram intenziteta fluores-

centne svetlosti takvog stakla. Kriva b. prikazuje nam porazdeljenje intenziteta svetlosti u zavisnosti od valne dužine fluorescentnog zračenja, a kriva a. prikazuje nam spektar fluorescencije neozračenih stakala. Pošto optičkim filterima nije moguće sasvim anulirati fluorescenciju neozračenih stakala, u praksi se primenjuje način, da se sva stakla prethodno ozrače, pa tek onda kalibrišu.

b. Energetski zavisnost staklenih dozimetara

Kod ozračivanja sa gama zračenjem imaju stakleni dozimetri najveću osetljivost kod energija zračenja od 50 keV. Ova maksimalna osetljivost nastupa slično kao i kod film-dozimetara zbog maksimalne absorpcije koju prouzrokuju teški elementi.

Ako si pogledamo recepturu prvih i sada upotrebljavnih staklenih dozimetara, vidimo da suvremeni recepti izlaze sive teže elemente a umesto njih uvode lake elemente kao što su Li i B.

Schulman-ovo staklo

50% $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$
25% $\text{Ba}(\text{PO}_3)_2$
25% KPO_3
+3% AgPO_3

Yokota-staklo

50% $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$
50% LiPO_3
+3% AgPO_3
+3% B_2O_3

Dok su prva stakla bila u svojom maksimumu osetljivosti 18 puta osetljivija nego kod ozračivanja sa Co-60, možemo taj faktor osetljivosti sa većim % Li i dodatkom B smanjiti na faktor 6. Na dia. broj 8. vidimo relativnu osetljivost staklenog dozimetra od energije zračenja.

Isto tako kao i kod film-dozimetra možemo sa filtriranjem da napravimo stakleni dozimetar nezavisani od energije zračenja za sve energije veće od 100 keV. Na dia.broj 2. videli smo promjenu relativne osetljivosti staklenog dozimetra u zavisnosti od energije za različite debeline filtara.

Za ličnu dozimetriju upotrebljavaju se stakleni dozimetri uvek u kombinaciji sa metalnim filtrom. Za registraciju nisko energetskih zračenja ostavlja se po jedno polje staklenog dozimetra nepokriveno ili se upotrebljavaju konusno izradjeni metalni filteri.

c. Temperaturna i vremenska zavisnost staklenih dozimetara

U suprotnosti sa film-dozimetrijom opažamo kod staklenih dozimetara da je intenzitet fluorescencije vremenski veća. Zavisno od temperature postižemo maksimalnu fluorescenciju prije ili kasnije.

Na dia.broj 9. vidimo relativnu promenu fluorescencije kod različitih temperatura i različitog vremena djelovanja tih temperatura.

d. Osjetljivost staklenih dozimetara za neutronska zračenja

Spori i srednje brzi neutroni absorbiraju se u staklenom dozimetru zbog sadržine Li, B i Ag. Zbog te sadržine su Yokota stakla za faktor 3,34 osjetljivija za neutronske zračenje od zračenja Co-60.

Naravno i ovde se u velikoj meri ispoljuje energetska zavisnost absorpcije neutrona. Na dia.broj 10. vidimo krivu zavisnosti absorpcije od energije neutrona.

5. TERMOLUMINISCENTNI DOZIMETRI

a. Termoluminiscentni sloj kao registrator zračenja

Radiotermoluminiscencija naziva se svojstvo kristala, da kod zagrijavanja zrače kvante svetlosti, naravno u slučaju da je bio prethodno ozračen ionizujućim zračenjem. Ionizujuće zračenje stvara slobodne elektrone, koje prihvataju tudji atomi ili greške u kristalnoj strukturi. Kod ugrijavanja vraćaju se elektroni u svoje normalne pozicije u kristalnoj mreži, a kod tog preskakivanja nastaju kvanti svetlosti. Zavisnost relativnog intenziteta zračenja svetlosti od temperature ugrijavanja vidimo na dia.broj 11. Ta se kriva zvonasta oblika i u praksi naziva "Glow" - kriva. Površina koju stvara jedna takva kriva proporcionalna je dozi zračenja. Veće ugrijavanje znači jači intenzitet svetlosti, ali on traje manje vremena.

b. Svojstva termoluminiscentnog dozimetra

Termoluminiscentni dozimetar izradjen je od različitih kemikalija, neke od njih vidimo na dia.broj 11. Naravno, različite kemikalije daju i različita svojstva tim dozimetrima.

Najosetljiviji od svih termoluminiscentnih dozimetrova je kalcijumfluoridni. Sa njim je moguće očitavanje doza od 1 mr do 100 000 r. Njegova kalibraciona kriva obuhvata više od osam dekada. Čak i sa minijaturnim dozimetrima izradjenim na bazi kalcijumfluorida moguća su očitavanja doza od 10 mr.

Kao i kod film-dozimeta opaža se kod termoluminiscentnog dozimeta takozvani "fading"-efekt, to znači vremensko izgubljanje doze. Ono iznosi prvih 16 sati 10% doze, a posle 1% na dan.

6. HEMIJSKI DOZIMETAR

Hemijski dozimetri zasnovani su na hemijskim reakcijama koje se dešavaju kada se odredjeni hemijski spojevi izlože ionizacionom zračenju. Posledica je tvorba jona ili slobodnih radikala. Ovi mogu reagirati medju sobom ili sa drugim jonima odnosno molekulama tako, da se promeni hemijski sastav i li struktura tvari. Hemijske dozimetre delimo na:

1. Tekućinski dozimetar

Organske supstance reagiraju na zračenje tako da nastaje kod reakcije solna kiselina koja oboji indikator. Boju očitavamo na fotometru ili titracijom. Tipovi tih dozimetara su:

- a) Dozimetar sa hloroformom (bez alkohola), merno područje mu je od 0 - 10 r, spektralno je osjetljiv ali teško reproducibilan, očitujemo fotometrijski.
- b) Dozimetar sa hloroformom (sa tragovima alkohola), merno područje $100 - 5 \cdot 10^4$ r, očitujemo fotometrijski ili titracijom, spektralno je osjetljiv.
- c) Dozimetar sa trihloretilenom, merno područje $100 - 10^4$ r, očitujemo fotometrijski.
- d) Dozimetar sa željezovim i bakrenim sulfatom. Željezo se oksidira, a bakar reducira, merno područje $10^4 - 10^6$ r, očitavamo spektrofotometrijski.
- e) Dozimetar sa željezo-sulfatnim indikatorom. Željezo se oksidira, merno područje $10^3 - 4 \cdot 10^8$ r, očitavanje spektrofotometrijsko.
- f) Dozimetar sa cerom. Četirivalentni cer se reducira do trovalentnog, merno područje $5 \cdot 10^3 - 10^6$ r, očitavamo titracijom.

2. Kristalni dozimetar

Pod uslovom ionizujućeg zračenja senzibilirani alkalijski halogenidi menjaju svoju boju. Merno područje mu je od $50 - 10^5$ r, očitavanje fotometrijsko, spektralno je osetljiv.

3. Dozimetar sa razvijanjem plina

Dinitrogen-oksid stvara zbog ionizujućeg zračenja plinove nitrogenoksid, oksigen i nitrogen. Merno područje $10^7 - 10^{10}$, očitavanje fotometrijsko.

7. ZAKLJUČAK

Kao što vidimo, mi smo još daleko od idealnog ličnog dozimeta. Po sadašnjem stanju tehnologije dozimetara najzgodnije bi bilo upotrebljavati kombinirane dozimetre, samo je tu u pitanju veliko povećanje troškova. Ako uzmemo u obzir da u našoj zemlji mesečno rutinski obradujemo oko osam hiljada dozimetara, verovatno ta mogućnost ne dolazi u obzir.

Na kraju si možemo slobodno postaviti pitanje zašto se u svim zemljama a i kod nas u rutinskom radu održao film - dozimetar uprkos svim svojim lošim osobinama?

Osim samih tehničkih svojstava ličnog dozimeta rutinski rad postavlja još i sledeće zahteve:

1. Mogućnost razabiranja historijata dozimetra.
Diapositivi brojeva 12, 13, 14 i 15 prikazuju nam film-doziometre iz kojih se tačno razabire historijat pojedinog dozimeta. Nijedno drugo lično dozimetrijsko sredstvo takve nam mogućnosti ne nudi.
2. Lični dozimetar treba da bude izradjivan veleserijski sa svim proizvodnim međukontrolama i sa strogom konačnom kontrolom proizvoda.
Jedino film-dozimetre izradjuju velike u svetu poznate tvornice (Kodak, Ilford, Adox, ORWO), dok se sva ostala lična dozimetrijska sredstva izradjuju u malim pogonima ili institutima gde takve kontrole nema.
3. Potreban je etalon kojim se kalibriše nula, jedinica i desetica na instrumentu za očitavanje.
Jedino kod očitavanja zacrnjenja film-dozimetra postoje kalibracioni klinovi za kalibraciju denzitometra. Kod instrumenata kojima se očitavaju ostala lična dozimetrijska sredstva mogu doduše postojati takvi etalonii, ali ne kao fizički

i metrološki definisani standardi.

4. Instrumenti za očitavanje ličnih dozimetrijskih sredstava moraju biti izradjeni po svim principima industrijske proizvodnje i to u tvornici, koja ima postojeću kontrolu proizvodnje, svoj servis i mogućnost nabavljanja rezervnih delova. Jedini je takav instrument na svetskom tržištu denzitometar.

искоришћавајући
квалитетом.

Dozimeter:

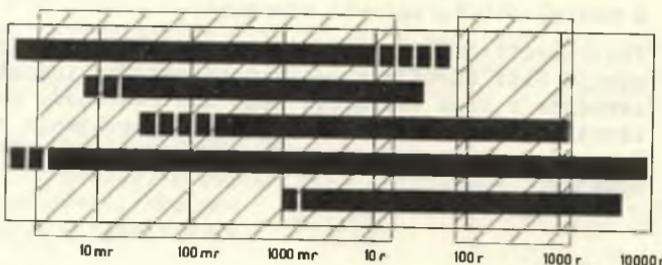
film

stilo

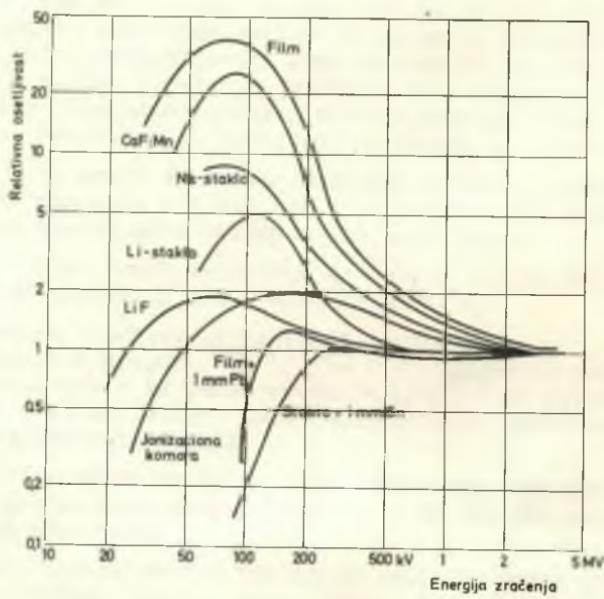
stakleni

termoluminiscentni

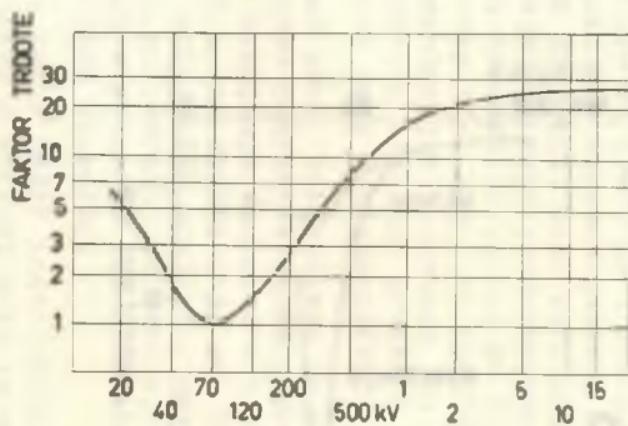
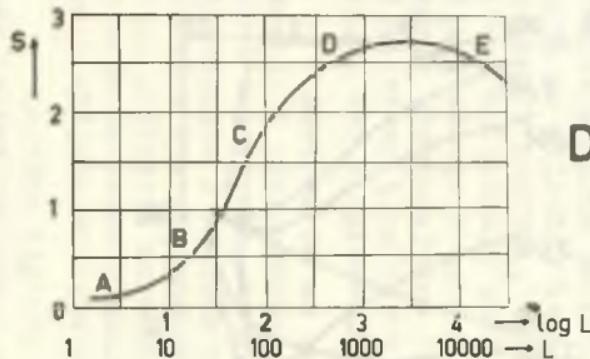
kemijski



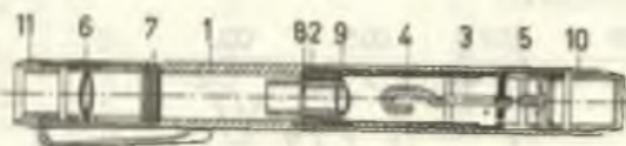
D 1



D 2



D 4

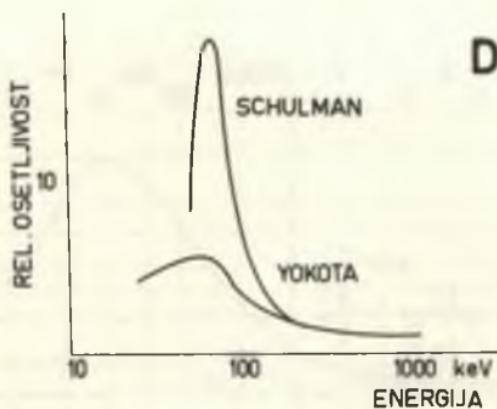


D 6

D 7

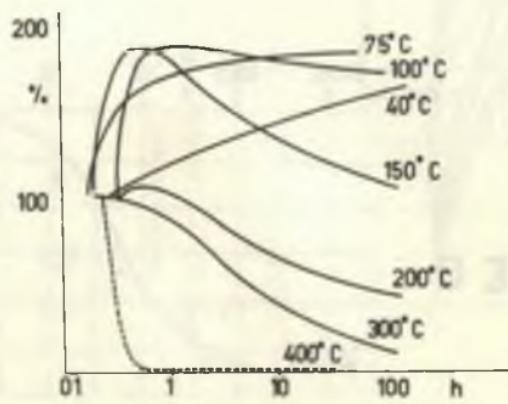


D 8

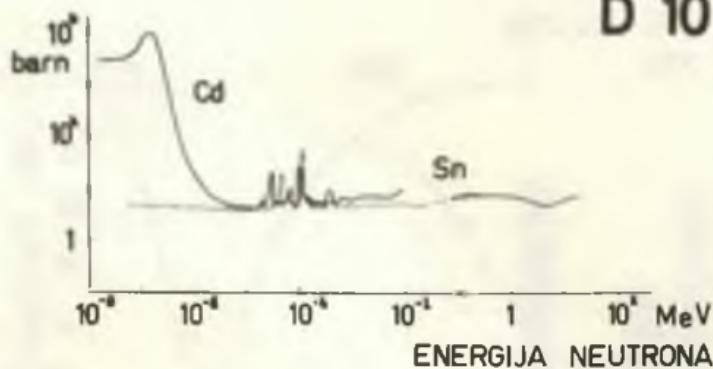


87

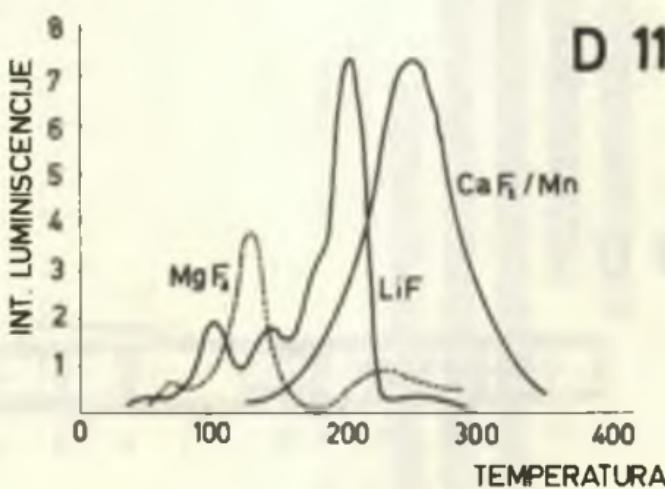
D 9



D 10



D 11



ZNAČAJ SISTEMATSKE OBUKE KADRA I PRIMENE
SAVREMENE INSTRUMENTACIJE ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
U MIRNODOPSKIM I VANREDnim USLOVIMA

Inž. Milan Pavićević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

III simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, kako zbog sastava učesnika na njemu, tako i zbog osnovne tematike koju obraduje, pogodna je tribina za izlaganje nekih pogleda na mesto i ulogu stručnjaka za zaštitu od zračenja u koncipiranju i sprovodjenju sistematske obuke i primenu savremene instrumentacije za zaštitu od zračenja u mirnodopskim i akcidentalnim uslovima.

U konkretnim predlozima iznetim u ovom radu pledira se za najaktivnijim uključenjem stručnih institucija i stručnih kadrova iz domena zaštite od zračenja u donošenje i sprovodjenje jedne smisljene politike ospozobljavanja i upoznavanja sa prirodom i dejstvom zračenja, kako stručnih kadrova raznih profila, tako i najširih masa stanovništva. Isto tako, ovo uključenje stručnjaka za zaštitu odnosи se i na do nošenje predloga programa i concepcija, kao i na realizaciju opremanja odgovarajućom instrumentacijom i opremom ne samo specijalizovanih ustanova i punktova stručnih službi i organizacija, već i opremanja osnovne baze - stanovništva.

Smatram da se ovaj naš skup, orijentisan na probleme merenja i instrumentacije, mora osećati stručno i profesionalno odgovornim za najšire uvodjenje savremenih tehničkih dostignuća i naučnih metoda u one službe koje se bave zaštitom od štetnih posledica ionizujućih zračenja, nastalih bilo kao posledica mirnodopskih nuklearnih akcidenata, bilo kao posledica probnih nuklearnih eksplozija ili upotrebe nuklearnih ubojnih sredstava u ratnim uslovima.

Logično izgleda da je kadar naših institucija koje se bave istraživanjima i operativom u oblasti zaštite od ionizujućih zračenja pozvan i društveno odgovoran da dâ svoj

doprinos i unese svoja savremena shvatanja i koncepcije u domen obuke i opremanja službi za zaštitu od zračenja u našoj zemlji, kako u mirnodopskim uslovima, tako i u izvanrednim situacijama. Šta više trebalo bi da on, više nego do sada, bude direktno uključen u programska razmatranja, izbor orientacije i odgovarajućih koncepcija ovih aktivnosti u okviru civilne odbrane. Najzad, prenošenje svojih iskustava i znanja iz odgovarajućih oblasti na ustanove i pojedince koji su po službenoj dužnosti odgovorni za sprovodjenje donetih mera zaštite, jeste konkretni vid vraćanja društvu jednog dela sredstava uloženih u nauku u našoj zemlji.

Činjenica da u savremenim ratovima praktično ne postoji razlika između fronta i pozadine, odnosno da se u eventualnom nuklearnom ratu ona apsolutno briše, navodi i naš kao stručnjake i naučne radnike u oblasti zaštite, da procenimo mesto, značaj i ulogu zaštite od zračenja u mirno vreme, a posebno u ratnim uslovima, kao i važnost sistematske obuke i opremljenosti najširih slojeva nacije za dejstvo u slučaju upotrebe nuklearnih ubojnih sredstava nad teritorijom naše jedinice, ili nad teritorijama u neposrednoj blizini naših granica.

Smatram sasvim realnom ocenu da je u proseku naše stanovništvo vrlo malo prosvеćeno u pogledu poznavanja dejstva i zaštite od jonizujućih zračenja. Ova neprosvеćenost je uslovljena najvećim delom našom niskom prosečnom opštrom i tehničkom kulturom, te zahvata ozbiljno i stanovništvo sa srednjom pa čak i visokom školskom spremom. Ova činjenica je redovno potvrđivana u svim dosadašnjim izvanrednim situacijama, koje su nastajale pri datim uzbunama kod manjih lokalnih nuklearnih akcidenta.

Ovo tvrdjenje dobija svoj značaj kada se zna da je čovek i njegovo znanje jedan od osnovnih faktora u opštoj nacionalnoj odbrani, kao i da obučenost stanovništva bez sumnje olakšava rad stručnim službama civilne odbrane i povećava njihovu efikasnost. Takodje je jasno da se u velikoj meri mogu smanjiti gubici stanovništva kada ono poznaće vrstu opasnosti i načine zaštite od njih, što dolazi do izražaja kako u zaštiti od klasičnih, tako posebno od RBH ubojnih sredstava. Za ovu svrhu potrebno je poznavanje prirode zračenja, odnosno hemijskih ili bioloških otrova, u takvom obimu koji bi omogućio da se u potrebnom slučaju stanovništvo odnosi prema njima kao prema koliko-toliko poznatoj pojavi.

Pored toga, masovnost relativno jeftine i za rukovanje proste instrumentacije za merenje zračenja omogućila

bi, uz odredjenu višu tehničku i opštu kulturu stanovništva, otkrivanje pojave povećanog fona zračenja u lokalnim uslovima, pa prema tome učinila efikasnijim snalaženje i samopomoć grupa ili pojedinaca u slučajevima nepostojanja naloga za dejstvo iz određenog stručnog centra.

Najzad obuka, postavljena tako da u osnovi upozna stanovništvo sa postupcima samozaštite na kontaminiranom terenu, odnosno u uslovima radioaktivnog zagadjenja životne sredine, ima izvanredan značaj za smanjenje broja gubitaka stanovništva. Od nesumnjive je koristi poznavanje zaštitne moći improvizovanih skloništa (u zgradama, rovovska skloništa, prirodne pećine na terenu, šume i slično), ili efekata zaštite raznih drugih prirodnih prepreka i zaklona, kako od direktnе kontaminacije, tako i u pogledu smanjenja uticaja direktnog zračenja.

Zaštita materijalnih dobara u uslovima široke kontaminacije sigurno će imati znatno veću efikasnost ako je najšire stanovništvo upoznato sa prostim, provizornim i dostupnim načinima štićenja (zatvoreni prozori, provizorna hermetizacija vlažnim prostirkama, prekrivanje PVC folijama bunara, stogova sena, mašina, opreme i sl.).

Poznavati dejstvo zračenja, znati meriti i proceniti opasnost na osnovu rjenog kvantifikovanja raznim čak i pomoćnim merilima (konfiguracija terena, rastojanje, pravac vetra, raspored voda itd.) od osnovnog je značaja za snalaženje stanovništva u uslovima najširih kontaminacija. Ne manji značaj ima poznavanje postupka pružanja prve pomoći povredjenima odnosno kontaminiranim, kako u klasičnim uslovima tako i u uslovima primene RBH ubojnih sredstava (sprečavanje širenja kontaminacije, vidovi i sredstva za dekontaminaciju ljudstva, opreme i hrane, uz upotrebu sredstava koja se svakodnevno koriste).

Izgradjujući i prosvećujući u napred pomenutom smislu najšire slojeve stanovništva i obučavajući grupe raznih stručnjaka, stvaraju se uslovi da se postavljena šema dejstva civilne odbrane i njene radioološke službe uspešnije sprovodi, jer svaka organizacija bolje funkcioniše u sredini sa većim kulturnim i tehničkim nivoom. Ovo dobija poseban značaj kada se zna da odbrana zemlje nije samo stvar Armije, a organizacija mera za zaštitu ljudskih života i materijalnih dobara u pozadini samo stvar onog dela civilne odbrane koji je organizovan u odgovarajuće jedinice i odrede, već svakog građanina naše zajednice. Organizacija dejstvovanja u ovakvim situacijama, kao i svaka složena tehnologija,

teško da se može uspešno sprovesti u zaostaloj i neprosvećenoj sredini. Ove tvrdnje dokazivane su do sada i u intervencijama na suzbijanju posledica nesreća većih razmera klasičnog tipa (požar, poplava, zemljotres, brodolom i sl.), kada je tehnička uzdignutost i spremnost ugroženog gradjanstva ili njegove bliže okoline imala jedan od odlučujućih uticaja na efikasnost mera zaštite i sanacije. Poznavanje uzroka i posledica ovakvih katastrofa većih razmera, tj. poznavanje opasnosti koje su one sa sobom nosile, nesumnjivo je doprinele, bar kod dela aktivnog stanovništva, da se umanji uticaj panike, smanji broj slučajeva defetizma i izbegne psihozu "prepuštanju sudbini", koji po pravilu prate ljudsko neznanje i nemoc, pa na taj način smanje i gubici.

Svi napred izneti momenti ukazuju na potrebu aktivnog i upornog zalaganja nas stručnjaka iz oblasti zaštite od zračenja da se ovoj aktivnosti dâ ozbiljnije i odgovornije mesto u mehanizmu našeg društva uopšte, a posebno u okviru civilne odbrane. Van diskusije je činjenica da je zaštita od ionizujućih zračenja, a posebno RBH zaštita, u koncepciji nacionalne bezbednosti i odbrane jedan od dominantnih faktora, odnosno da je njena opremljenost i sposobljenost za dejstvo u akcidentalnim uslovima u miru, naslanjajući se na stanovništvo obučeno za dejstvo u vanrednim uslovima, bitno jača spremnost nacije za odbranu u eventualnom nuklearnom ratu, koji i pored nastojanja sveg miroljubivog čovečanstva nije apsolutno isključen u sve složenijoj svetskoj situaciji.

Opšta situacija u svetu, potencijalna opasnost od ekscesa u primeni sile i mogućnost zloupotreba najstrašnijeg oružja kojim je do sada raspolagalo čovečanstvo, nameće stručnjacima iz područja zaštite od zračenja sistematizovan i permanentan rad na unapredjenju koncepcija ove specijalnosti u okviru civilne odbrane, odnosno stalno učešće u razradi programa i konkretnim akcijama obuke i opremanja pripadnika i jedinica civilne odbrane, kao i poznavanje tekućih i perspektivnih akcija na sprovodjenju mera zaštite ljudstva i materijalnih dobara u duhu Zakona o civilnoj odbrani. Nedavno aktueliziranje problema civilne odbrane u skupštinskim organima ukazuju na nastojanje da se što organizovanije pristupi sagledavanju opštih potreba naše zajednice u ovom domenu, i ne samo šire zajednice već i mesnih zajednica, komuna, radnih organizacija, specijalnih službi i organa uprave i vlasti. Sve ovo ukazuje na potrebu odbacivanja svake sporadične i kampanjske akcije isključivo "zaduženih za probleme odbrane" i uključenje znatno šireg broja ustanova, službi i stručnih pojedinaca u realizaciji programa i konkretnih

akcije civilne odbrane.

NEKI PREDLOZI ZA PLAN I PROGRAM OBUKE

Polazeći od naglašene činjenice da je poznavanje mera zaštite od radioaktivnog zračenja, kako u mirnodopskim uslovima kod primene nuklearne energije ili eventualnih akcidenata, tako naročito u uslovima ratne opasnosti vrlo slabo, kao osnovni problem nameće se pitanje najšireg prosvеćivanja naših gradjana u ovom smislu, a pre svega određenih stručnih lica koja imaju odgovarajuće funkcije i zadatke preko svojih osnovnih delatnosti u okviru organizacije civilne zaštite.

U cilju prevazilaženja ove situacije potrebno je preduzeti akciju na planu obuke kadrova koja će po ma kojoj osnovi dolaziti u dodir sa ovom problematikom, kao i mere za prosvеćivanje najširih narodnih masa.

Prema nivou slušalaca koji bi prolazili kroz pomenutu obuku predlaže se donošenje sledećih programa obuke:

- 1.1. Elementarni program za najšire gradjanstvo;
- 1.2. Program za učenike u školama II stepena i predvojničku obuku u njima;
- 1.3. Program za studente i predvojničku obuku na fakultetima i višim školama;
- 1.4. Program za prosvetne radnike (učitelji, nastavnici, profesori);
- 1.5. Program za službenike državne uprave, opština i raznih ustanova, kao i program za radne organizacije u privredi;
- 1.6. Program za specijaliste raznih struka visoke spreme;

lekari	inženjeri svih struka
veterinari	meteorolozi
agronomi	fizičari
farmaceuti	hemičari
biolozi	

- 1.6a Programi za stručnjake srednje spreme (tehničari, laboranti i sl.);

- 1.7. Specijalizovani programi za:

- 1.7.1. rukovodioce CZ u oština

- 1.7.2. rukovodioce i stručne radnike u ekipama za detekciju i dekontaminaciju
 - 1.7.3. korisnike proizvoda nuklearne energije (radioizotopa) u medicini i privredi
 - 1.7.4. predavače u univerzitetским centrima.
- 1.8. Posebne programe treba doneti, tj. pregledati i uskladiti postojeće:
- za vatrogasnu miliciju
 - miliciju
 - rezervne oficire.

Može se uočiti da potreba za ovako obimnim brojem programa proistiće kao posledica vrlo raznolikog i u proseku niskog današnjeg stanja u opštem i tehničkom obrazovanju. Iz toga razloga opšti programi po pravilu treba što manje da ulaze u prirodu zračenja, a više da isto posmatraju kao jednu odredjenu pojavu i stanje prema kome se u smislu zaštite treba postaviti na odgovarajući način.

Naprotiv, specijalizovani programi bi bili namenjeni pre svega onom kadru viših i srednjih stručnjaka raznih struka koji po prirodi svoga posla i osnovne delatnosti dobijaju svoje mesto u organizaciji civilne zaštite bilo u mirnodopskim uslovima u smislu kontrole i stalne spremnosti i mobilnosti, ili u ratnim uslovima na konkretnim akcijama detekcije i dekontaminacije i sprovodenju odgovarajućih zaštitnih obrambenih mera.

Programi 1.1. do 1.5. predstavljaju opšte programe koji će najvećim delom biti narativnog karaktera, propraćeni obaveznim prigodnim skriptama ili knjižicama, dobro ilustrovanim i sa očiglednim primerima izvodjenja zaštite od radioaktivnog zračenja. Gde je moguće i kod ovih programa treba slušaocima pokazati osnovnu instrumentaciju za detekciju, izvesti po neku praktičnu laku vežbu, a što je najvažnije dati što više materijala o izgradnji jeftinih individualnih ili porodičnih skloništa i praktičnih uputstava kako postupiti prilikom sklanjanja od direktnе nuklearne opasnosti. Ovaj deo programa povezati sa zaštitom od rušenja klasičnim napadnim sredstvima iz vazduha, pošto su mnogi gradjani verovatno ranije polazili kurseve PAZ-a.

Sprovodenje ovih opštih programa trebalo bi poveriti: prosvetnom predavačkom kadru, raznim stručnjacima sa tehničkim obrazovanjem, predavačima predvojničke obuke, sekocijama Socijalističkog saveza i zaduženim licima u radnim organizacijama i ustanovama.

Programi za specijaliste raznih struka visoke višine i srednje spreme (1.6. i 1.6a) trebalo bi da obuhvate sve one gradjane koji bi se po svojoj osnovnoj struci mogli lako uključiti u slučaju potrebe, u stručne zadatke Narodne odbrane i civilne zaštite.

Ovi programi morali bi pružiti znatno šire znanje iz oblasti radioološke zaštite slušaocima pomenutih stručnih profila, s obzirom na njihovu osnovnu struku i školsku spremu. Priroda zračenja, njegovo dejstvo na živi organizam i materiju, izbor i sprovođenje zaštite od direktnog zračenja i kontaminacije, instrumentacija za detektovanje zračenja, najosnovniji postupci improvizovane dekontaminacije tela, hrane, vode i sl., kao i čitav niz specifičnih znanja u oblasti struke vezanih za radioaktivnost kao novi kvalitet - treba da budu osnovna poglavlja 5-6 nedeljnih kurseva organizovanih pri specijalizovanim stručnim ustanovama kao što su naši nuklearni instituti i ostale ustanove koje se bave primenom nuklearne energije i izvora zračenja.

Specijalizovani programi pod 1.7. obuhvatili bi detaljnu obuku onog stručnog kadra koji po svojoj osnovnoj struci i radnom mestu i u mirno vreme dobija odgovarajuću ulogu u šemi civilne zaštite u smislu organizacije, kontrole i slanja terenskih podataka, obaveštenja i primarnog organizovanog dejstva u slučaju mirnodopskih akcidenata sa izvorima jonizujućeg zračenja, te kao takav predstavlja "vruću rezervu" i najstručniji personal u organizaciji radioološke zaštite u vanrednim situacijama.

Obuka ovog kadra trebalo bi zakonskim putem da буде poverena isključivo za to ovlašćenim ustanovama koje imaju kako kadrovsku tako i materijalnu bazu za sprovođenje ovih specijalnih programa, i koje svojim dosadašnjim stručnim i operativnim radom imaju reference za bavljenje ovom delikatnom delatnošću.

Na ovim kursevima trebalo bi prvenstveno osposobljavati kadrove za zaštitu, detekciju i osnovnu dekontaminaciju. Prema ovom osnovnom zadatku treba izraditi specijalizovane programe obuke. Pored toga važno je uočiti da jedan broj punktova raznih stručnih javnih službi ima uslova - pre svega na bazi postojećih kadrova, da se osposobi i najnužnije opremi u smislu detekcije zračenja (higijenski zavodi, hidrometeorološke stanice, TV i UKV relejne stanice i dr.), a drugi broj da se obuči i opremi za poslove dekontaminacije (veterinarske i poljoprivredne stanice i dr.).

Pojava novih i proširenje obima poslovanja postojećih korisnika radioizotopa bilo u tehniči, poljoprivredi ili medicini, zahtevali bi i za svršene polaznike naše Škole za primenu izotopa, organizovanje jednonedeljnih seminara za obuku i dopunu znanja iz zaštite, kao i njihovo korišćenje u predavačkoj delatnosti, tj. u realizaciji kurseva sa opštim programom.

NEKI PREDLOZI ZA PLAN I PROGRAM OPREMANJA

Stvaranje solidne i široko postavljene materijalno tehničke baze predstavlja pored obuke kadrova osnovu za mogućnost efikasnog dejstva zaštite od zračenja. Međutim, mora se istaći činjenica da je danas vrlo oskudna, raznolika i nestandardna materijalno-tehnička baza koja bi mogla da se iskoristi na širokom planu za potrebe Radiološke zaštite u akcidentalnim i vanrednim situacijama.

Pored toga plan i program opremanja metodama i sredstvima za zaštitu, detekciju i dekontaminaciju predstavlja vrlo složen problem, jer ne zavisi samo od finansijskih mogućnosti već i od koncepcija (principa) na kojima se politika zaštite zasniva, kao i od mogućnosti domaćih proizvodjачa da obezbede izradu potrebne opreme. Situacija se još više komplikuje i zbog nekih neusaglašenosti stavova stručnjaka za zaštitu po tako važnim pitanjima kao što su metode, oprema i organizacija, koji se koriste u mirnodopskim uslovima za kontrolu radiološke sigurnosti i njihovog brzog uklapanja za slučaj nuklearnih udesa većih razmara.

Uzimajući sve navedeno u obzir i znajući da privremena ili nepotpuna rešenja najčešće dovode do nemamenskog ili nepotrebnog rasipanja materijalnih sredstava, trebalo bi svakako pre definitivnog usvajanja dugoročnog plana i programa definisati:

- šemu organizacije sa obimom i obukom dejstva;
- potrebe i obim mirnodopske spremnosti prema šemi organizacije;
- potrebe i obim spremnosti za izvanredne uslove;
- izbor tržišta za nabavku opreme (domaće, strane ili kombinovano).

Jasno je da donošenje odluke o navedenim pitanjima zahteva studiozno razmatranje kako sa organizaciono-koncepcione, tako i sa stručne strane da bi se došlo do najcelishodnijeg rešenja. Nesumnjivo da i ekonomski efekat ovih odluka

ima veliku težinu i da u razradi celog programa od njega u mnogome zavisi plan realizacije opremanja. Ova strana problema je posebno značajna zbog angažovanja domaće industrije, jer treba istaći da se danas skoro sva oprema uvozi, osim manjeg dela koji izrađuju nuklearni instituti i pojedine fabrike, što znači da naša industrija nije još spremna niti ekonomski zainteresovana za proizvodnju ovog tipa opreme. Sa druge strane стоји činjenica da u našim institutima postoji mogućnost da se rad na ovoj problematici i dalje razvija, što predstavlja bitan momenat u slučaju orijentacije službi zaštite od zračenja na domaću opremu.

Veći deo merne instrumentacije, domaće ili strane proizvodnje, koja se sada kod nas koristi u službama zaštite, sadrži konstrukciju sa elektronskim cevima. Razvoj ove instrumentacije vršen je pre 5 do 8 godina.

Brzi razvoj elektronike poslednjih godina omogućio je korišćenje elemenata koji imaju veliku prednost nad klasičnim rešenjima sa elektronskim cevima. Glavne osobine novih elemenata kao što su: dug život, male dimenzije, neosetljivost na potrese, mala potrošnja, širok temperaturni opseg i slično omogućuju izradu pouzdane instrumentacije na savremenim principima.

U Institutu "Boris Kidrič" u Vinči razvijen je u toku poslednje tri godine izvestan broj instrumenata u poluprovodničkoj tehnici, koji mogu da posluže kao osnova za potrebe zaštite od zračenja u našoj zemlji, kako pri normalnim tako i pri akcidentalnim i terenskim uslovima. U daljem tekstu daju se u najkraćim crtama podaci o ovim instrumentima. Kao indikator zračenja može da se koristi lovac zračenja PLZ-5G. Sličan tip indikatora koristi se u nizu zemalja i veliki deo stanovništva snabdeven je njime.

Za kontrolu radijacionih polja u završnoj je fazi razvoj instrumenata za opsege od nekoliko mr/h do 1000 r/h.

Za kontrolu i merenje spoljne kontaminacije lica, odeće, obuće i pojedinih mesta može se koristiti i već se koristi tranzistorizirani monitor zračenja KOMO-T. Sonde za merenje alfa ili beta-gama zračenje odvojene su kablom od instrumenta sa četiri linearna opsega, akustičnom kontrolom i napajanjem sopstvenim akumulatorom ili preko priključka na mrežu.

Za merenje uzoraka niskog beta aktiviteta za potrebe radiološke, medicinske, civilne zaštite i drugih može se upotrebiti uredaj LOLA-3 koji se već koristi u Institutu

i u centrima u Beogradu, Zagrebu, Skoplju, Sarajevu i drugim.

Za kontinualnu kontrolu radioaktivnih aerosola razvijena je aparatura ACA-2. Upotrebom antikoincidentnog kola sa halogenim GM brojačima i primenom isključivo tranzistorskog kola, ova aparatura postiže osobine koje je stavljuju u red najosetljivijih uređaja ove vrste u svetu. Može se koristiti za mrežu stanica za kontrolu vazduha.

Iz oblasti korišćenja minijaturnih poluprovodničkih savremenih elemenata završen je razvoj prototipa pokretnе radiološke laboratorije za terenske uslove.

Sva pomenuta instrumentacija i oprema izložena je na ovom Simpozijumu.

Prednji pregled savremene instrumentacije može poslužiti pri izboru opreme za punktove radioološke zaštite – pre svega u oblasti detekcije, pri čemu obim opremanja, tempo uvodjenja i izbor instrumentacije zavise od materijalnih uslova i koncepcija. Bez obzira na ovo poslednje trebalo bi što pre prići obuci kadra i upoznavanju sa postojećom tehničkom opremom i njenim načinom rada.

Usvajanjem jedinstvenog plana instrumentacije za celu zemlju obezbedio bi se kvalitetan razvoj, standardizacija elemenata i metoda kontrole, kao i ekonomičnija proizvodnja i lakša obuka kadrova.

oooOooo

Realizacija nekih ideja izloženih u ovom radu, odnosno realizacija dosadašnjih predloga na ovu ili slične teme koje su kolege iz struke do sada davali, zavisće dobrom delom od našeg daljeg zajedničkog i ličnog angažovanja u sprovođenju obuke kadrova i opremanja stručnih službi savremenom instrumentacijom za zaštitu od zračenja. Od ne manje važnosti je sistematski i znatno razvijeniji rad na razvoju i istraživanjima u ostalim oblastima nauke koje vode ka ovom, za nas neobično važnom cilju. Isto tako jasno je da se sve ovo ne može uspešno izvršiti bez aktivnog i blagovremennog angažovanja čitave zajednice i njenih stručnih tela i organa, zaduženih za organizaciju i sprovođenje mera zaštite od zračenja.

Prihvatajući na sebe odbir najracionalnijih i najsvršenijih metoda i rešenja u sferi obuke i opremanja za zaštitu od zračenja, naučne i stručne organizacije i njihovi

pojedini saradnici primaju vrlo ozbiljno zadatke i ulogu koju od njih očekuje društvena zajednica. Da su oni to u stanju da učine govore činjenice da je već jedan broj njihovih ideja, koncepcija, rešenja, programa i slično, postao saставni deo akcionih programa organa, službi i institucija odgovornih za zaštitu stanovništva od zračenja i zaštitu radnika koji profesionalno rade sa izvorima zračenja u istraživanjima ili primeni.

Na kraju želeo bih da u najkraćim crtama pomenem neke mogućnosti Instituta "Boris Kidrič" u Vinči u ovoj oblasti, ne nabrajajući do sada izvršene konkretne radove u problematici tretiranoj u ovom radu.

Institut u Vinči, kao jedan od pionira u organizaciji i realizaciji radova u oblasti tehničke i medicinske radiološke zaštite, i kao naša najveća i najkompleksnija naučno-istraživačka organizacija, stekao je dragocena iskustva u svojim stalnim službama merenja i kontrole ljudstva i životnih uslova. Tako je stekao posebna iskustva u razvoju opreme i sprovodjenju mera zaštite oko nuklearnih mašina u svojim laboratorijama i pogonima. Njegov dugogodišnji aktivni rad i iskustva na obuci kadrova koji se bave istraživanjima i primenom zračenja uz napred naglašene i brojne saradnike i materijalnu bazu, predstavlja ozbiljan potencijal i garanciju za izbor i primenu najsvremenijih naučnih koncepcija obuke i opremanja u domenu zaštite od zračenja, odnosno ove službe u okvirima civilne odbrane.

Ozbiljne mogućnosti i stručna kvalifikovanost u izradi nacrta programa za obuku kadrova i koncipiranju i razvoju sredstava za obuku (skripta, knjige, učila), uz mogućno učešće na izvodjenju nastave za specijalizante, ističu Institut u Vinči kao organizaciju koja može ozbiljno pomoći na organizaciji i materijalizovanju zamišljenih programa obuke.

Dalje mogućnosti Instituta u Vinči leže u području izrade koncepcija merenja i kontrole, definisanju karakteristika instrumentacije i njene standardizacije, razvoju specifične instrumentacije, u području baždarenja instrumentacije za detekciju i merenje, a posebno u oblasti istraživanja i razvoja metoda merenja i procene opasnosti u oblasti zaštite od zračenja u uslovima vanrednih akcidentalnih situacija.

Mnogo od ovoga je i do sada radjeno u našem Institutu, ali sporadično i po povremenim zahtevima. Međutim, želja je bila da se ovim radom koliko je to moguće podstakne organizovaniji rad na najširem frontu ovih stručnih problema,

i to ne samo očekujući inicijativu "organu zaduženih za civilnu odbranu", već angažovanjem nas stručnjaka u oblasti zaštite od zračenja, organizacija u kojima radimo, pa i našeg Društva za radiološku zaštitu.

NEKI STRUČNI, PRAVNI I ORGANIZACIONI PROBLEMI
NUKLEARNE ENERGIJE I ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA
U NAŠOJ ZEMLJI

T.Veljković, dipl.pravnik, dr B.Jović, dipl.pravnik,
S.Mitrović, dipl.inž., S.Petrović, dipl.pravnik

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Da bi se ustanovilo kako je kod nas pravno regulisana gradnja nuklearnih objekata (pre svega nuklearnih elektrana) i ostali vidovi primene nuklearne energije sa aspekta zaštite od jonizujućih zračenja, grupa pravnika i nuklearnih stručnjaka Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, u saradnji sa stručnjacima Instituta "Jožef Stefan" iz Ljubljane, pregledala je oko 30 domaćih zakona i propisa, oko 30 medjunarodnih konvencija i preporuka, kao i veliki broj dokumenata iz prakse drugih zemalja.

Analizirani su kriterijumi i postupci za određivanje lokacije nuklearne elektrane, nadležnosti za izdavanje dozvola za gradnju i pogon, dokumentacija koja se smatra neophodnom, postupci i kriterijumi koji se pripremaju za procenu sigurnosti, principi i sistem zaštite od jonizujućih zračenja, način obezbeđenja javnih interesa, i sl.

Analizom je konstatovano:

1) U većini zemalja koje primenjuju nuklearnu energiju, ili to tek nameravaju, pa iako su na nižem stepenu razvoja, primena, razvoj i zaštita su pravno regulisani (zakon o nuklearnoj energiji, o državnom organu nadležnom za poslove nuklearne energije, o zaštiti, i sl.).

2) Bez obzira na to kako je korišćenje nuklearne energije regulisano, centralizovano ili ne, država, sem kod nas, preko svog organa skoro bez izuzetka zadržava sledeće:

- a) stimulaciju razvoja i primene;
- b) zaštitu javnih interesa i zdravlja stanovništva kao i zdravlja radnika koji rade sa izvorima zračenja;

c) garancije za atomske štete (u državama sa razvijenom primenom).

3) Stimulacija razvoja i primene se vrši preko specijalizovanih instituta sa određenim programima i/ili državnih, poludržavnih i privatnih preduzeća. Učešće države u razvoju je vrlo različito.

4) Zaštita javnih interesa i zdravlja stanovništva obezbeđuje se time što je za licence, dozvole, kontrolu, inspekciju (i garancije) nadležna država, i to obavezno federalacija (SAD, SR Nemačka, Švajcarska, itd). Država, odnosno njen organ nadležan za poslove nuklearne energije propisuje minimalne norme zaštite, obaveznu dokumentaciju, administrativne postupke, i sl. Država zahteva određene mere zaštite i druge garancije od proizvodjača ili korisnika izvora zračenja i nuklearne energije, a uz to ih i obavezno kontroliše. Negde se ide vrlo daleko u centralizaciji (SAD, gde Atomska komisija izdaje licence svakom operatoru pojedinačno), a ne gde na osnovu mišljenja specijalizovanih institucija krajnje odluke donosi država. Kod nas je po nekim pitanjima poslednja instanca opština. Procesne opasnosti i zaštita od zračenja su uvek i isključivo u nadležnosti organa nadležnog za poslove nuklearne energije sem u SSSR-u.

5) Zakonodavni rad i donošenje neophodnih propisa kod nas su još u embrionalnoj fazi. Situaciju su prouzrokovali:

a) stalne promene u organizaciji državne uprave, promene nadležnosti i nadležnih upravnih organa iz ove oblasti, a posebno zaštite (npr. Uprava za zaštitu od ionizujućih zračenja je za 5 godina promenila 3 resora i ugasila se);

b) suprotnosti između nivoa primene i nivoa istraživanja i projektovanja: vrlo mali broj institucija oseća potrebu da se ova materija reguliše, a praksa to još ne zahteva;

c) lociranje tržišta zaštite od ionizujućih zračenja i inspekcije u zdravstvenu službu prema današnjem stanju ne odgovara ni osnovnoj problematici zdravstvene službe ni profilu ni spremnosti kadrova. Sanitarne inspekcije još nisu sposobne ni kadrovski ni materijalno ni po opremi da efikasno preuzmu brigu o zaštiti od zračenja;

d) nedovoljna aktivnost stručnih organizacija (instituta), Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, aparata SKNE i njene pravne komisije, pa ni ostalih nadležnih na ovom polju.

6) Nedefinisanost nadležnosti u poslovima nuklearne energije dovodi do neusklađenosti u pravnom regulisanju ove materije. Npr. uslovi za pristajanje u luci nuklearnog broda reguliše i Osnovni zakon o zaštiti od ionizujućih zračenja i Zakon o obalnom moru. Za propise o transportu izvora zračenja nadležna su četiri savezna organa.

7) Stručno suštinski ista materija se u zakonodavstvu tretira potpuno različito. Npr. za dozvolu gradnje nuklearnih objekata i investicija mogu biti nadležni i opština i republika i federacija. Za kontrolu životne sredine: za vazduh je nadležna opština, a za vodu republika, za dozvolu lociranja nuklearnih objekata je nadležna i opština i republika, a za "groblja" nuklearnih otpadaka - federacija, itd. Ovakva situacija čak dopušta preplitanja nadležnosti, različita tumačenja propisa, čak i pogreške postupke.

8) Nedostaje vrlo veliki broj pratećih propisa, normi, kriterijuma i uputstava u najminimalnijem obliku; njihov nedostatak će se sve više osećati; međutim, za sada niko nije zainteresovan a ni nadležan da ih donese ili inicira. Neophodno je potrebno izvršiti kodifikaciju donetih propisa, kao i onih koje treba doneti, tako da se stvori jedna celina propisa koji regulišu ovu materiju.

Nedostaci koji su tada uočeni i citirani u zaključima ostali su i do danas.

PRIMERI IZ SVAKODNEVNE PRAKSE

Nekoliko primera iz naše svakodnevne prakse najbolje ilustruje napred iznete zaključke.

Radioaktivnost životne sredine - Prema čl.28. Osnovnog zakona o zaštiti od ionizujućeg zračenja: "federacija ... utvrđuje program ispitivanja kontaminacije vazduha, zemljišta, reka, jezera i mora, kao i čvrstih i tečnih padavina i obezbeđuje finansijska sredstva za izvršenje ovog programa...".

Iako se godinama radi na ovom poslu, dobijeni rezultati praktično su neupotrebljivi jer se radi na bazi različitih metoda i standarda, te se rezultati ne mogu medusobno uporedjivati.

Transport radioaktivnih materija - Propisi o uvozu i izvoru radioaktivnih materija, o njihovom transportu tek su delimično kod nas doneti (Uputstvo Saveznog sanitarnog

inspektorata od 2.II 1967. o uvozu i izvoru radioaktivnih materija; Medjunarodna konvencija o prevozu robe na železnicama; prevoz opasnih materija suvozemnim putevima i Osnovnim zakonom o bezbednosti saobraćaja i sl.). Nema opštih jugoslovenskih propisa o kategorijama aktivnosti za transport, o ambalaži, o transportu vodenim i vazdušnim putem, itd.

Stokiranje radioaktivnih otpadaka - Nema propisa o njihovom stokiraju; po Osnovnom zakonu o zaštiti od ionizujućih zračenja treba da ih donese SKNE.

Lociranje nuklearnih objekata - Iako je sa aspekta zaštite javnog zdravlja npr. lokacija nuklearne elektrane važnija od lokacije groblja radioaktivnih otpadaka, ova materija nije nigde izričito regulisana, već se analognom primenom propisa Osnovnog zakona o izgradnji investicionih objekata nalazi u nadležnosti republike odn. opštine. Za manje važan objekt ("groblje") nadležan je savezni organ, a za nuklearni reaktor koji je mnogo opasniji potencijalni izvor kontaminacije nadležan je republički sanitarni inspektor (u sporazumu sa SKNE).

Nuklearni brod - Pristajanjem nuklearnog broda "Savannah" u Riječkoj luci pokrenuto je pitanje nadležnosti za davanje dozvole i različitog tumačenja propisa (nadležnost saveznog sanitarnog inspektorata, republičkog sanitarnog inspektorata, SKNE) Saveznog sekretarijata za saobraćaj i veze.

Neuskladjenost i nepreciznost termina i definicije i neobuhvaćenost problematike - U pravilnicima nisu uvek dovoljno uskladjeni stručni termini i definicije niti je materija do kraja obradjena. Kao primer može poslužiti Pravilnik o stavljanju u promet i korišćenju radioaktivnih materijala iznad odredjene granice aktivnosti i o meraima zaštite od zračenja ovih izvora (Sl.list SFRJ br.31/65), gde se stručno netično pominju "doze zraka", njihovo merenje u mr/sat. Pravilnik definiše šta je aktivnost iznad odredjene granice, ali u isto vreme postavlja obavezu prijavljivanja svih proizvedenih ili uvezenih izvora, što dovodi do nejasnoće da li i neznatne izvore aktivnosti (kao npr. radioaktivne svetleće boje za satove) treba prijavljivati. Primer ove boje je specifičan, naročito stoga što se uglavnom uvozi kao neaktivni materijal pakovan u limenke sa olovnom zaštitom, a kontrola ne postoji, pa je teško reći o kakvoj se aktivnosti u ovom primeru radi.

Pravilnik definiše maksimalno dozvoljene koncentracije radioaktivnih supstanci u vodi i vazduhu za radna mesta,

ali ne pominje dozvoljene doze za stanovništvo u bližoj i dalačkoj okolini.

ZAŠTO JE KOD NAS TAKO

Radioaktivnost je u našu zemlju prodrla pre dvadesetak godina (kao materijal), i to prvenstveno u specijalizovane institucije i fakultete. Širenje i primena su bili vrlo spori, naročito u privredi, iako tu leži ekonomska perspektiva.

Medjutim, u vreme prvih koraka radioaktivnosti kod nas, primena rentgena je bila u punom zamahu a gradila se i fabrika za proizvodnju rentgen-aparata. Sada svaka ambulanta ima rentgen i masovno ozračujemo stanovništvo u interesu njegovog zdravlja. Za tu vrstu primene zračenja imamo velike specijaliste. Odatle je primena zračenja vrlo lako i u svim drugim vidovima počela da osvaja medicinu, - to je i najveća primena.

Sasvim je normalno da su se lekari osetili odgovornim da se ova oblast primene zračenja i reguliše. I ona je kod nas najbolje regulisana, kada je reč o zaštiti od zračenja, definisanju uslova rada, pa čak i beneficijama.

Zbog zaostajanja primene u drugim oblastima, lokalnih interesa, nedovoljne širine sagledavanja problema, ostale oblasti zaštite od zračenja nisu regulisane prosto usput što je moralo da bude. Jer, svakom je jasno da isti propisi važe za jedan reaktor kao i za pedeset, da se transport radioaktiviteta mora jednakо regulisati ako se transportuje jedan nedeljno ili 100 dnevno. Medjutim, sa strane prakse nije bilo dovoljno inicijative, a još manje pritiska od nadležnih da se ta pitanja reše.

Uostalom, najviše praktičnih propisa je doneto dok je postojala Uprava za zaštitu od zračenja pri SKNE. Posle toga je Uprava prešla u DSNO pa u DSUP, pa je praktično prestala da postoji. Pre dve godine je donet Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, a propisi su, kako smo видeli, dosta nekritički obnovljeni. Prema Osnovnom zakonu raspodeljene su nadležnosti iz zaštite, naveden je niz propisa koje treba doneti, ali ni tu nisu navedeni svi propisi. Nije određen organ koji bi stručno pratio razvoj primene i intervenisao odgovarajućim propisima.

Naši zakonski propisi o zaštiti od zračenja isključivo govore o radnicima koji rade sa izvorima zračenja a ne

i o stanovništvu, tj. o bližoj i daljoj okolini mesta gde se nalaze izvori zračenja i nuklearni objekti. Razlozi za ovo su verovatno neiskustvo i nedovoljno poznavanje širih problema zaštite.

Pri izradi zakonskih propisa moralo se poći od analiza dejstva jonizujućih zračenja ne samo kod relativno bezopasnih rutinskih primena, nego i od:

- akcidenata na nuklearnim mašinama
- akcidenata u transportu izvora zračenja
- preteranog ozračivanja rentgenom (u genetskom smislu).

Tada bi se došlo do zaključka o višestrukom dejstvu ovakvih dogadjaja i do potrebe za posebnim analizama:

- direktnog ugrožavanja radnika
- direktnog (potencijalnog) ugrožavanja stanovnika
- genetske ugroženosti.

Tek iz ovih analiza bi mogle da se definišu odgovarajuće mere, kao npr.

- obaveza vršenja analiza sigurnosti
- obaveze vlasnika, društva i radnika
- evidencija ozračivanja bolesnika (ne vodi se ni u zdravstvenim knjižicama)
- evidencija izvanrednog i akcidentalnog ozračivanja radnika i stanovnika
- koliko čuvati evidenciju, koje podatke beležiti
- kontrola i inspekcija
- norme i standardi
- zaštitne mere
- uputstva, preporuke, vodiči
- organizacija rada sa izvorima i oprema
- šeme nadležnosti i odgovornosti
- stručni kadar
- narodno i stručno prosvećivanje
- garancije i osiguranje.

Na osnovu ovako sagledane situacije i potreba bilo bi moguće tražiti rešenja, koja bi se posle daljih studija i usaglašavanja dala kroz zakone i propise.

U principu su moguća dva tipa rešenja u našem slučaju:

1) Centralizovati zaštitu od zračenja u jedan jedinstveni sistem i to:

- a) samo stručno
- b) stručno i upravno

2) Zadržati ovakav dispergovani i decentralizovani sistem, ali zato pojačati rad na donošenju obaveznih normi, standarda, uputstava, postupaka, metoda, vodiča i sl. preko koordinacionih tela ili stručnih društava uz potpunu kodifikaciju.

Ne treba odmah reći da je u našem društvu ovaj problem principijelno rešen, da je rešenja definisao sam sistem. Pogledajmo sledeći primer.

U poslednje vreme radi se na pripremama za podizanje naše prve nuklearne elektrane. Izučen je niz lokacija. Neke od njih su interesantne, jer se nalaze na granicama dve, pa i tri republike.

Ovo malo propisa koji se mogu primeniti na izbor i odobrenje lokacije govore da su za kontrolu zagadjenja vazduha od radioaktivne kontaminacije nadležne republike na čijoj se teritoriji nalazi objekt. Poznato je međutim da se radioaktivna kontaminacija prenosi vazduhom i da se dogadja da strujanja vazduha idu sa teritorije republike vlasnika elektrane u susednu.

Ko treba da reguliše ovu materiju? Da li podizanje jednog značajnog objekta zavisi od toga da li će jedna republika tražiti saglasnost od druge, potencijalno ugrožene, a da to nije ničim obavezana da uradi; ili od toga da li će ova druga dati saglasnost, koju uostalom prva nije dužna da poštue. Pretpostavimo i da se republice dogovore da problem reše zajednički na najbolji mogući način, - na osnovu kakvih kriterijuma i normi će proceniti pogodnost jedne lokacije, stepen opasnosti koji preti stanovništvu od nuklearnog objekta i dogоворити se o mernama zaštite u celoj potencijalno ugroženoj zoni.

Takav dogovor, čak i kada bi bio sklopljen, ne bi se morao poštovati jer zakon na to nigde ne obavezuje, a federacija u to nema pravo da se meša.

Uostalom, većina naših republika a kamo li opština nema ni kadrove ni opremu spremne za ovakve vrste procena, te im prema tome neophodnost adekvatnih rešenja ni dogovora ne bi pala na pamet.

ZAKLJUČCI I PREDLOZI

Na osnovu svega iznetog predlaže se:

1. Da se problematika nuklearne energije i zaštite od zračenja stručno centralizuje (ne obavezno i upravno), tj. da se prevaziđe resorna horizontalna disperzija.

2. Da treba da postoji savezni organ nadležan za poslove nuklearne energije i zaštite od jonizujućih zračenja čiji bi osnovni zadaci bili:

- a) stimulacija razvoja i primene
- b) zaštita javnih interesa i stanovništva (uključujući inspekciju)
- c) garancija od atomskih šteta

3. Alternativa A. Savezni organ za poslove nuklearne energije i zaštite bi morao da:

- vodi evidenciju fisibilnog materijala
- vodi evidenciju stokova radioaktivnih otpadaka
- vodi evidenciju izvora zračenja
- prati (i eventualno kontroliše) rad nuklearnih objekata, postrojenja i sl.
- donosi osnovne norme i kriterijume zaštite i sigurnosti
- donosi stručna uputstva
- predlaže zakone i propise
- predlaže postupke i minimume dokumentacije neophodne za dobijanje potrebnih dozvola
- brine se o razvoju kadrova i vodi evidenciju
- održava i razvija medjunarodne veze
- pruža garancije za rizike i štete, itd.

Bez ovakvog rada, naročito na donošenju propisa, normi i sl. nije moguć normalan razvoj problematike. Organi

koji vrše upravne funkcije neće imati stručne osnove ni kriterijume za svoje delovanje u upravnom postupku.

Sanitarni inspektorati, republički i savezni bi vršili nadzor i inspekciju nad primenom izvora zračenja i rada nuklearnih mašina sa aspekata zaštite zdravlja stanovništva i radnika.

3. Alternativa B. Savezni organ za nuklearnu energiju i zaštitu ima još i upravne funkcije u svemu pomenutom, a na primer:

- izdavanje svih dozvola sa gledišta zaštite i sigurnosti
- donošenje propisa
- inspekciju i kontrolu.

4. Predlaže se određivanje prioritetnih zadataka na regulisanju razvoja i primene nuklearne energije i zaštite, prvenstveno sa tačke gledišta zaštite javnih interesa i sigurnosti stanovništva, na primer:

- regulisanje nadležnosti i postupaka
- regulisanje transporta radioaktivnih izvora i fisiabilnih materijala, svim putevima
- kriterijumi za lociranje i sigurnost nuklearnih objekata, stokova otpadaka, radioaktivnih izvora i fisionog materijala
- regulisanje nadležnosti kod davanja dozvola za sve objekte i postupke vezane za nuklearnu energiju, izvore zračenja i sl.
- otvaranje i eksploataciju rudnika urana i sl.
- određivanje maksimalno dozvoljenih koncentracija i doza različitih izvora u različitim sredinama za različite grupe stanovništva i za različite organe.

5. Predlaže se da se po ovim i sličnim pitanjima održi savetovanje kako bi se mogao definisati dalji rad.

SPEKTROMETRIJSKA METODA
ZA MERENJE MALIH DOZA GAMA ZRAČENJA

R.G.Radovanović, D.M.Hajduković

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

Široka populacija kontinualno se nalazi u gama radijacionom polju niskog intenziteta, čiji izvor predstavljaju prirodni radionuklidi i fisioni produkti u zemlji, vazduhu i vodi. Procena intenziteta gama radijacionog polja u životnoj sredini, sa stanovišta zaštite, može se vršiti merenjem brzine doze toga zračenja. Eksterno gama radijaciono polje uslovljavaju, u prosečnim prostorima ljudskog prebivanja, brzinu doze od nekoliko mikro rentgena/h do nekoliko desetina mikro rentgena na čas, što zavisi od raspodele prirodnih radionuklida i fisionih produkata u elementima toga prostora.

Merenje brzine doza zračenja gama radijacionog polja u životnoj sredini, u tzv. normalnim uslovima, povezano je sa značajnim problemom kalibracije mernih instrumenata. Vi jedan monoenergetski gama emiter, upotrebljen za kalibraciju ne predstavlja adekvatno radijaciono polje koje se meri u životnoj sredini. Zbog toga, i ako delimično aproksimativna, kalibracija po izmerenom spektru impulsa scintilacionom spektrometrijskom aparaturom predstavlja najpribližniju stvarnost.

APARATURA

Gama spektrometrijska aparatura za merenje malih doza gama zračenja sastavljena je od cilindričnog kristala ^{203}PoJ (Tl) prečnika 4 inča i visine 3 inča sa fotomultiplikatorom tipa 54AVP. Za analizu impulsa upotrebljen je četiri-stokanalni analizator SA-40 proizvodnje "Intertechnique". Čvrsta kalibracija aparature izvršena je standardima Pb-210,

K-40 i Cs-137. Registracija broja impulsa po kanalu u izmerenom spektru vršena je mašinom IBM-RG-221.

Uporedna merenja niskih doza gama zračenja vršena su vazduho-ekvivalentnom ionizacionom komorom proizvodnje Zavoda za zdravstvenu i tehničku zaštitu iz Ljubljane. Vazduho-ekvivalentna komora kalibrirana je tako (1) da se pri merenju od 10 minuta mogu očitati doze od 3 do 20 $\mu\text{r/h}$. Za preminu komore iznosi 2800 cm^3 . Merenje količine elektriciteta vrši se elektrometrom sa elastičnom niti.

PRINCIP MERENJA SPEKTROMETRIJSKOM METODOM

Gama radijaciono polje neposredno iznad površine zemlje ima, u suštini, kontinuiran energetski spektar u opsegu od 50-60 KeV do 1,8-2,8 MeV. Ovakva kontinuiranost spektra uslovljena je višestrukim rasejanjima. Spektar impulsa koji se dobija gama scintilacionim spektrometrom povezan je sa spektrom gama zračenja sledećom relacijom:

$$F(E) = \int_0^{E_{\max}} f(E, E_0) N(E_0) dE_0 \quad (1)$$

Da bi se odredio spektar gama zračenja $N(E_0)$ osnovni problem predstavlja iznalaženje karakteristične funkcije spektrometra $f(E, E_0)$, koja predstavlja gustinu verovatnoće registracije impulsa u izmerenom spektru sa amplitudom u intervalu $(E, E+dE)$ pri energiji gama kvanta E_0 . U našem slučaju izmereni spektar dobijen je sa četiristokanalnim analizatorom, pa relaciju (1) možemo predstaviti (2) u obliku matrične jednačine:

$$F(E_i) = \sum_{j=1}^{j=400} f(E_i, E_j) N(e_j) \Delta E_j \quad (2)$$

Matrični elementi $f(E_i, E_j)$ ($j=1, 2, 3, \dots, 400$) mogu se odrediti putem interpolacije eksperimentalnih podataka pomoću metode Monte Karlo (3). Energetski intervali konstantno su odredjeni energijom po jednom kanalu, tako da je

$$\sum_{j=1}^{j=400} \Delta E_j = E_{\max} \quad (3)$$

Ako se karakteristična funkcija gama-scintilacionog spektrometra razmatra u najopštijem obliku (4), korelaciju između broja impulsa u određenom intervalu energije ($E, E+dE$) i broja gama kvanta u spektru gama zračenja sa energijom E , može se napisati kao

$$F = \mathcal{E}(E_\gamma) \cdot N(E_\gamma) \quad (4)$$

Funkcija $\mathcal{E}(E_\gamma)$ za gama spektrometar sa kristalom od $4 \text{ } \varnothing \times 3 \text{ inča}$ (NaJ) određena je po podacima koje daju Miller i Snow (5) i predstavlja verovatnoću registracije fotona energije E_γ .

Dozu gama zračenja čije je radijaciono polje okarakterisano izmerenim spektrom impulsa možemo napisati kao:

$$D = \int_0^{E_{\max}} F(E) G(E) dE \quad (5)$$

gde je $G(E)$ konverzionalni faktor izražen u jedinicama doze zračenja po impulsu u registrovanom spektru.

Za gama spektrometrijsku aparaturu koja se sastoji od četiristokanalognog analizatora i kristala NaJ(Tl) $4 \text{ } \varnothing \times 3 \text{ inča}$ funkcija $G(E)$ određena je po metodi koju su dali Moriuchi i Miyaganaga (6).

Na grafiku (1) data je zavisnost funkcije $G(E)$ za energije od 100 do 3000 KeV, za navedenu gama spektrometrijsku aparaturu. Konverzionalni faktor $G(E)$ izražen je u $\mu\text{r}/\text{h}/\text{imp pika/min. cm}^2$. Brzina doze zračenja koja odgovara registrovanom spektru impulsa, odnosno spektru gama radijacionog polja dobija se kao

$$D = \sum_{i=1}^n N_{pi} \cdot D(E_i) \dots \left(\frac{\mu\text{r}}{\text{h}} \right) \dots \quad (6)$$

gde je: N_{pi} - broj neto impulsa u piku sa energijom E_i , a $D(E_i)$ konverzionalni faktor uzet iz grafika 1 za energiju E_i . U relaciji (6) n predstavlja broj pikova u opsegu energije od 100 KeV do E_{\max} .

PRINCIP MERENJA VAZDUHO-EKVIVALENTNOM KOMOROM

Zidovi komore napravljeni su od materijala za koji je $Z_k = Z_v$ i $A_k = A_v$ (Z_k , Z_v , A_k i A_v - auromatski broj i atomska težina materijala zidova komore i vazduha). Količina nanelektrisanja stvorenog ionizacijom u komori odredjena je otklonom niti elektrometra za određeno vreme. Za vreme t na centralnoj sabirnoj elektrodi sakupi se količina electriciteta Q koja nanelektriše nit do potencijala i izaziva njen otklon u električnom polju za n podeoka. Lako je doći do podatka da količina elektriciteta od $1,552 \cdot 10^{-13} C$ odgovara brzini doze zračenja od $1 \mu r/h$, i da se između broja podeoka za koje je skrenula nit elektrometra i brzine doze može uspostaviti relacija

$$n = k \cdot Q \quad (7)$$

Konstanta K je recipročna vrednost proizvoda kapaciteta mernog sistema i napona V_0 koji je potreban da nit skrene za jedan podeok. Za komoru sa kojom je radjeno ovaj podatak određen je eksperimentalno ($k = \frac{1}{3} \cdot 10^{13}$).

Na osnovu navedenog dobija se da će skretanje niti elektrometra pri vremenu merenja od 10 minuta, u zavisnosti od brzine doze biti određeno sledećom relacijom

$$n = \frac{1}{3} \cdot 1,552 \cdot D \quad (8)$$

U Tabeli 1. dati su otkloni niti komore za vreme merenja od 10 minuta dobijeni na navedeni način, kao i otkloni koje daje (1).

Tabela 1. Kalibracija vazduho-ekvivalentne ionizacione komore

Doza zračenja $\mu r/h$	Broj podeoka po (1)	Broj podeoka po navedenoj metodi
3	1,5	1,55
5	2,5	2,58
10	5	5,17
20	10	10,34

Očitavanje brzine doze vrši se direktnim određivanjem sa kalibracione linije (prema Tabeli 1), za ustanovljeni broj podeoka skretanja niti elektrometra.

REZULTATI MERENJA

Doze gama zračenja merene su na 144 mesta u okolini Beograda. Na deset mesta, u prirodnim uslovima, vršeno je komparativno merenje sa vazduho-ekvivalentnom komorom i scintilacionom aparatuiru. U laboratoriji i njenoj neposrednoj blizini izvršeno je više komparativnih merenja. Rezultati tih merenja dati su na Tabeli 2.

Tabela 2. Doze γ zračenja u okolini Beograda

Lokacija	Komora / μ r/h	Spektrometrijski / μ r/h
A-8	13,9	9,8
G-7	19,3	15,1
I-8	10,2	6,1
K-7	14,1	10,0
L-7	15,0	10,9
M-8	16,0	12,0
M-9	14,2	10,0
K-8	18,4	14,0
J-10	18,2	14,1
G-7*	10,5	6,4
G-7**	9,6	5,5
G-7***	9,8	5,7

Udeo kosmičkog zračenja koje registruje scintilaciona aparatira kreće se po podacima (7,8) oko 0,1 μ r/h. Doprinos K-40 kojim je kontaminiran scintilacioni sistem izmerili smo koristeći zaštitu od čeličnih cigala debljine 25 cm, i ustanovili da brzina doze po tom osnovu ne prelazi 0,09 μ r/h.

Iz Tabele 2. dolazi se do korelacije izmedju rezultata dobijenih gama-spektrometrijskom metodom i ionizacionom

komorom.

$$D_{\text{scint}} = D_{\text{kom}} - (3,8 + \frac{1}{400} h) \quad (9)$$

gde je h nadmorska visina merenog mesta izražena u m. Verovatno je da korekcioni faktor $(3,8 + \frac{1}{400} h)$ predstavlja kosmičko zračenje.

Imajući u vidu podatke o brzini doze koja potiče od kosmičkog zračenja koje daju (9,10 i 11), moglo bi se zaključiti da je efikasnost, primenjene komore za registraciju doze koja potiče od ovog zračenja približno 100%.

ZAKLJUČAK

Merenje malih doza gama zračenja gama-spektrometrijskom metodom može se vanredno primeniti kod kalibracije ionizacionih komora koje su za ovu svrhu namenjene, naročito ako se želi određivanje brzina doza koje uslovjavaju spektalno složena gama radijaciona polja, kakvo je u životnoj sredini.

Moriuči i Miyanaga (12) postavili su osnove za izradu portabl gama scintilacionog spektrometrijskog dozimetra izradom elektronskog kola za modulaciju funkcije $G(E)$ u spektr izmerenih impulsa sa maksimalnim diskriminacionim nivoom od 1,3 MeV.

Imajući u vidu da se na svetskom tržištu nalaze pristupačni prenosni višekanalni analizatori, mogućnost primene ovog dozimetra dobija realne osnove u relativno širim okvirima.

Proučavanjima funkcije $G(E)$ za kristale NaJ različitih dimenzija stvara se realna osnova za izradu univerzalnog kola za modulaciju izmerenog spektra impulsa da bi se dobila stvarna distribucija brzina doza zračenja koje izazivaju pojedinačne komponente stvarnog spektra gama zračenja. Problem integracije takve distribucije brzine doza suštinski je rešen odgovarajućim elektronskim kolima.

Dakle, put do gama-spektrometrijskog dozimetra zasnovanog na scintilacionom principu, kojim bi se direktno čitavale brzine doza, nije tako dug. S obzirom na komponente koje sadrži, verovatno će ova aparatura duže ostati primat većih i opremljenijih laboratorija.

0.024

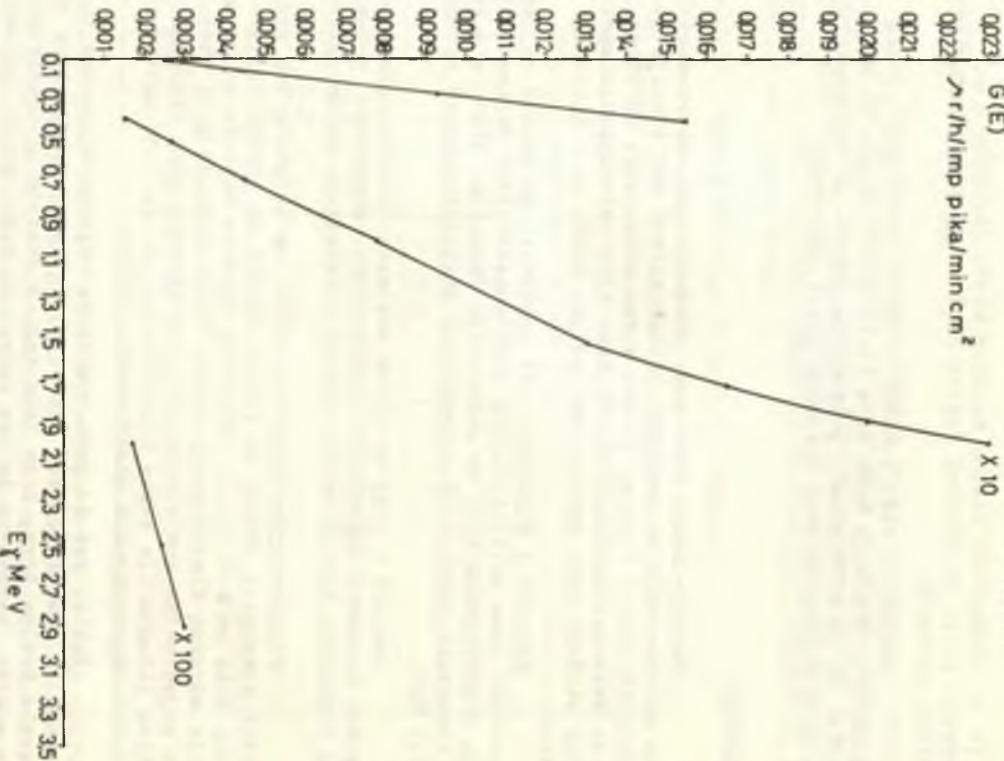
G(E)

0.023

$\text{r}^2 \text{r}/\text{imp pika/min cm}^2$

x 10

GRAFIK 1



RADIOHEMIJSKA METODA ZA ODREĐIVANJE

^{239}Pu U HUMANOM URINU

D.Janković, Lj.Dobrilović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Pošto ^{239}Pu pripada grupi vrlo visoko toksičnih radioelementa zbog svojih radiohemijskih i fizioloških svojstava, rana dijagnostika interne kontaminacije plutonijumom predstavlja značajan vid zdravstvene kontrole profesionalno izloženih osoba.

Prisustvo ovog radioelementa u čovečijem organizmu, odnosno telesni sadržaj, može da se odredi sa dovoljnom osetljivošću samo analizom produkata ekskrecije (urin, feses). Zbog toga se u praksi, u dijagnostičke svrhe, najčešće koriste metode indirektnog određivanja sadržaja ^{239}Pu u humanim ekskretima. Ovakav tip precene je moguć zahvaljujući određenoj zakonitosti (1, 2, 3) koja vlada u procesu izlučivanja radioaktivnog materijala putem ekskreta i totalnog telesnog sadržaja.

Veoma je teško izraziti zakonitost izlučivanja raznih toksičnih supstancija preko bubrega (3), jer na to utiče niz različitih fizičko-hemijskih i fizioloških faktora. Za pojedine elemente izradjeni su odgovarajući, često vrlo komplikovani, modeli izlučivanja, u zavisnosti od njihove prirode i svojstava i uslova pod kojima je došlo do ekspozicije.

Proučavanje eliminacije ^{239}Pu iz čovečijeg организma su pokazala da se ovaj radioizotop izlučuje putem urina u veoma malom procentu od ukupnog telesnog sadržaja. Frakcija eliminisanog ^{239}Pu zavisiće kako od fizičko-hemijskih i fizioloških faktora, tako i od vrste i vremena ekspozicije. Tako, prema literaturnim podacima (1,2,4), dnevna stopa eliminacije ^{239}Pu sa urinom 100-og dana posle samo jedno unošenja, dakle u slučaju akidentalne kontaminacije, iznosi približno 1/10000-ti deo od količine sadržane u celom telu. Dakle, ako se u 24 h uzorku urina uzetom 100-tog dana posle samo jedne kontaminacije nadje 0,1 pCi ^{239}Pu , može se

pretpostaviti, uzimajući u obzir stopu eliminacije od 0,01%/dan, da količina ^{239}Pu u celom telu iznosu oko 1 mCi (2). Polazeći od ovoga, kada se telesni sadržaj ^{239}Pu nalazi na maksimalno dozvoljenom nivou od 0,04 μCi (5), sa stopom eliminacije od 0,01% na dan, u 24-časovnom uzorku urina može se očekivati 4 pCi ^{239}Pu . Međutim, kada je telesni depo mnogo manji, što je uglavnom slučaj kod hroničnih ekspozicija, verovatno je da će u 24 h urinu biti prisutni samo deseti i stoti delovi pCi ^{239}Pu .

Ovo ukazuje da se za određivanje telesnog sadržaja ^{239}Pu preko analiza humanog urina u praksi mogu koristiti samo one radichemiske metode koje daju visoke i reproduktivne hemijske prinose, kao i posebne merne tehnike koje su dovoljno osetljive za detekciju ovako niskih alfa nivoa.

U literaturi je opisan znatan broj metoda (2, 4, 6-23) za određivanje ^{239}Pu u humanom urinu. Za sve je karakteristično da obuhvataju tri osnovne faze:

- početnu fazu koncentrisanja alfa aktiviteta iz velikog volumena uzorka urina;
- separacionu ili fazu prečišćavanja ^{239}Pu od nečistoća i pratećih elemenata, i
- završnu fazu dobijanja alfa izvora.

U ovom radu korišćena je metoda Bainsa (2) modifikovana u našoj laboratoriji (24) u fazama ekstrakcije i elektrodepozicije, što je omogućilo dobijanje visokih i reproduktivnih hemijskih prinosa neophodnih za primenu metode u rutinskoj praksi. Princip metode je sledeći:

^{239}Pu se koprecipitira sa kalcijum i magnezijum amonijum fosfatom iz 24-časovnog uzorka humanog urina. Talog se dovodi do belog ostatka razaranjem sa 70% HNO_3 . Ostatak se rastvorí u 4 N HCl , doda Fe^{+++} -nosač i hidroksilamin hidrohlorid pa ostavi da stoji oko 1 h da bi se obezbedila kompletna redukcija Pu (VI) koji nastaje u toku oksidacije. Zatim se pH dovodi na 1-2 sa 2 N NH_4OH , doda kupferon i izvrši ekstrakcija plutonijum feri kupferida sa hloroformom. Ekstrakt se upari do suva a zatim izvrši razaranje organskih materija sa smešom 70% HNO_3 - H_2SO_4 conc. Sledi jonoizmenjivačka separacija gvožđja od plutonijuma na koloni sa smolom "Deacidite" FF-SRA67 od 100-200 mesha. Plutonijum se eluira sa kolone sa smešom 1 M HNO_3 + 0,01 M HF, eluat se upari do suva i na kraju izvrši elektrodepozicija ^{239}Pu na disku od nerđajućeg čelika, sa aktivnom površinom od 0,385 cm^2 , iz slabo

kiselog rastvora amonijum oksalata sa gustinom struje od 416 mA/cm^2 u toku 2,5 h. Na kraju se određuje alfa radioaktivnost na protočnom, proporcionalnom brojaču.

U tabeli 1. su prikazani rezultati naših eksperimenta sa primjenom metodom. Svi eksperimenti su izvodjeni na obogaćenim uzorcima humanih urina, koji su dobijeni od neekspromiranih "kontrolnih" osoba. Obogaćivanje uzorka su vršena sa standardizovanim rastvorom ^{239}Pu čija je specifična aktivnost iznosila $(31,2 \pm 0,5) \text{ dez/min/ml}$. Kontaminiranje uzorka je vršeno u rasponu $1,40 - 14,05 \text{ pCi/uzorku}$, tj. sa količinama plutonijuma koje su u intervalu od $0,35 - 3,5$ puta od MDK urina - 4 pCi .

Za serije od po 10 uzorka, u intervalu navedenih dodatih aktivnosti, postignuti su kvantitativni i reproduktivni hemijski prinosi čija srednja vrednost iznosi $(94,4 \pm 2,2)\%$, za težine elektrolitičkih depozita koje su se krećale do $200 \mu\text{g/cm}^2$. Postignut ukupan hemijski prinos metode od $(94,4 \pm 2,2)\%$ prevazilazi najveće prinose citirane u literaturi od drugih autora $(2,15,19,20,21,23)$, a koji se kreću od $74 - 92\%$.

Kod statističke obrade rezultata u tabeli 1. na serije merenja od po 10 uzorka, primljena je standardna devijacija srednje vrednosti, a za odabiranje pojedinačnih rezultata pri obračunu serije primljen je "Šoveneov" kriterijum.

Donja granica osetljivosti metode je bila uslovljena karakteristikama korišćenog mernog kompleta.

Kao detektor je korišćen 2 proporcionalni brojač bez prozora "Frieske - Hoepfner", type FH51, sa protokom tehničkog metana na atmosferskom pritisku i sledećim karakteristikama: radni napon za alfa čestice 2550 V , dužina platoa 300 V sa nagibom $1\%/\text{100 V}$, energetska efikasnost za alfa čestice $^{239}\text{Pu} 100\%$, geometrijska efikasnost 50% . Osnovna radioaktivnost merena svakodnevno u toku 8 meseci kretala se od $(0,8 - 1) \text{ imp/min}$.

Na osnovu napred izloženog, može se zaključiti da ovako razvijena radiohemiska metoda za kvantitativno određivanje ^{239}Pu u humanom urinu, sa hemijskim prinosom od $(94,4 \pm 2,2)\%$ i donjom granicom osetljivosti od $3/10$ dela MDK urina (granica osetljivosti je definisana kao sumarna radioaktivnost dvostruko veća od fona), omogućava primenu u rutinskoj praksi za indirektnu dijagnostiku interne kontamnacije sa ^{239}Pu .

Primena metode u kontroli interne kontaminacije
sa ^{239}Pu kod osoba Instituta "Boris Kidrič"

Od osoba koje su na svojim radnim mestima u direktnom kontaktu sa ^{239}Pu , sakupljeni su 24-časovni uzorci urina i analizirani opisanim postupkom. Sve ove osobe, u toku izvodjenja jednog eksperimenta (uglavnom hemijskih operacija), dolaze u dodir sa nivoima od nekoliko stotina μCi do 1 mCi ^{239}Pu pretežno u nitratnoj formi. Sakupljanje uzoraka je vršeno u raznim vremenskim intervalima i to, kako u toku samog rada, tako i posle završenih eksperimentata. Radi kompariranja dobijenih rezultata, analizirane su istim postupkom i neeksponirane "kontrolne" osobe IBK. Rezultati ovih analiza su prikazani u tabeli 2.

Analizirajući tabelu zapaža se da je nadjena radioaktivnost kod svih eksponiranih osoba izuzev jedne, koja ima nalaz od 1,1 pCi/24 h urin, ispod definisane osetljivosti merne tehnike. Kako bi se ovi rezultati, i pored toga što se nalaze ispod granice osetljivosti merne tehnike mogli ipak da uzmu u obzir, velika pažnja u toku izvodjenja merenja uzorka je bila posvećena stabilnosti rada brojača, pa je naizmenično merena osnovna aktivnost i uzorak po pola časa u ukupnom vremenskom trajanju od 15 h. Za sve ovo vreme stabilnost aparature je bila u granicama statističke greške. Standardna statistička greška merenja pojedinačnih uzorka se kretala u granicama (8,7 - 100)%.

Radioaktivnost ovih uzorka je izračunata po sledećoj formuli:

$$\frac{N \times V}{A \times E \times P \times 2,22} = \text{pCi } ^{239}\text{Pu}/24 \text{ h urin}$$

gde je:

N = broj imp/min - osnovna aktivnost

V = zapremina 24 h urina u ml

A = alikvot urinskog uzorka u ml

E = efikasnost detektora "Frieske - Hoefner", type FH51 za ^{239}Pu od 50%

P = hemijski prinos metode od $(94,4 \pm 2,2)\%$

2,22 = dez/min za 1 pCi

Kako je interpretacija rezultata urinarnog plutonijuma veoma složen problem (4), a vremenski period praćenja eksponiranih osoba relativno kratak, za sada nismo u mogućnosti da damo neku sigurniju prognozu o telesnom sadržaju plutonijuma kod posmatranih osoba. Ipak, pokušaćemo da damo neka tumačenja dobijenih rezultata.

Pre svega, pojam pozitivnog rezultata varira u funkciji osetljivosti korišćene metode. U našem slučaju, ako bi se prihvatiло stanovište da se kao negativan rezultat smatra svaki onaj koji je jednak granici osetljivosti mernе tehnike, onda bi se sve eksponirane kontrolisane osobe mogle tretirati kao nekontaminirane. S druge strane, pod uslovima merenja na osetljivijem detektoru, odnosno snižavanjem donje granice osetljivosti mernе tehnike, isti rezultati bi verovatno mogli da se tretiraju kao pozitivni. Čak i u korišćenim mernim uslovima karakteristično je primetiti da su svi tzv. "negativni" rezultati ipak "pozitivni" u odnosu na rezultate dobijene kod "kontrolnih" neeksponiranih osoba a koji su uvek bili na nivou osnovne aktivnosti. Takodje vidljivo je da su rezultati uvek viši kada se radilo o uzorcima uzetim u toku direktnog rada sa plutonijumom, dok su vrednosti redovno opadale kada su urini uzimani po završetku rada, odnosno kada osobe više nisu bile u direktnom kontaktu sa plutonijumom.

Obzirom na sve navedene mogućnosti i napred izнетa razmatranja, čini nam se izvesnim da se u svim slučajevima eksponiranih osoba ipak radi o izvesnoj internoj kontaminaciji koja bi se najgrublje mogla da proceni (2) na 1/4 - 1/40-ti deo od MDK ^{239}Pu za celo telo.

Najzad, ovo je za sada samo naša hipoteza, a odgovor na ovo pitanje moći će da pruži jedino poboljšanje uslova merenja uzorka radom sa osetljivijim detektorom, jer nam izgleda neophodno dostizanje donje granice osetljivosti od 0,1 pCi/24 h urin, kao i dalje praćenje eksponiranih osoba i sakupljanje većeg broja podataka neophodnih za davanje jedne pouzdane dijagnoze o telesnom sadržaju ^{239}Pu kod profesionalno eksponiranih osoba IBK.

Tabela 1. Hemijski prinos metode u funkciji dodatih aktivnosti ^{239}Pu

Broj izvora	Dodata: pCi ^{239}Pu po uzorku	Jedinica MDK urin za ^{239}Pu	Prinos metode %
10	14,05	3,50	90,2 \pm 3,1
10	7,03	1,75	93,2 \pm 1,6
10	3,50	0,88	100,1 \pm 4,5
10	1,40	0,35	94,1 \pm 5,2
Srednje:			94,4 \pm 2,2

Tabela 2. Sadržaj ^{239}Pu u 24 h urinu kod profesionalno eksponiranih i "kontrolnih" osoba Instituta "B.Kidrič"

Kontrolisane osobe	Broj uzoraka manja uzorka	Vreme uzi-uzoraka	Aktivnost uzorka pCi/24 h urin
Neeksponirane "kontrolne" osobe	10	-	0,0
Profesionalno eksponirane osobe:			
R.D.	1	u toku rada	0,2
R.D.	1	u toku rada	0,2
R.D.	1	van rada	0,1
P.I.	1	u toku rada	0,2
P.I.	1	u toku rada	0,5
P.I.	1	van rada	0,1

ODREĐIVANJE TRITIJUMA U HUMANOM URINU
TEČNOM SCINTILACIONOM METODOM

Živanka Ubović, Dragica Paligorić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Tritijum se u znatnim količinama stvara u teškovodnim sistemima nuklearnih reaktora pod uticajem neutronskog zračenja, a u minimalnim količinama nastaje kao produkt fizijske.

Nastali tritijum predstavlja potencijalnu opasnost za kontaminaciju operativnog personala, pa je stoga veoma važno da se osobe koje rade na ovakvim postrojenjima podvrgnu stalnoj sistematskoj kontroli, koja bi preko jedne pouzdane metode uvek bila u mogućnosti da registruje prisustvo tritijuma u organizmu. Spoljašnja radijaciona opasnost od tritijuma je neznatna usled niskе energije beta čestica (srednja energija beta spektra je 5,73 Kev (1), a maksimalna 17,8 Kev (2,3)), dok međutim na internu kontaminaciju treba obratiti pažnju usled brzine i lakoće asimiliranja tritijuma. Apsorbovan tritijum se podjednako rasporedjuje u telesnoj tečnosti u obliku tritinirane vode i kao takav izlučuje putem urina ili znoja. Za detekciju i procenu interne kontaminacije tritijumom kao najpreciznije koriste se analize urina, dok se krv, feces i tkivo ne koriste.

Maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) tritijuma u urinu prema Internacionalnoj komisiji za radioološku zaštitu iznosi $23 \mu\text{Ci/l}$ (4).

Bioološki poluživot za tritijum varira od 8-12 dana, zavisno od unete količine tečnosti u organizam, temperature okoline i godina starosti kontaminiranih osoba (5).

Eliminacija tritijuma iz organizma počinje vrlo brzo posle kontaminacije, zbog čega se uzroci za analizu uzimaju neposredno posle ekspozicije (najkasnije posle 45 min) i prati eliminacija u toku nekoliko dana.

Stoga je neophodno u cilju što efikasnije interven-

cije pri akcidentalnim slučajevima imati brzu i pouzdanu metodu za određivanje stepena interne kontaminacije eksponiranog osoblja.

Prema literaturnim podacima (5,6,7,8) za rutinsku kontrolu uglavnom se primenjuje tečna scintilaciona metoda.

Za preciznija merenja tritijuma koristi se interna gasna metoda koja nije pogodna za rutinsku kontrolu zbog delikatnosti izvodjenja operacija pri pripremanju gasnih uzoraka, rada u vakuumu i punjenju brojača, kao i zbog dužine trajanja jednog kompletног merenja.

Tečna scintilaciona metoda ima malu efikasnost detekcije za nisko energetske beta emitere koja za tritijum u vodenim uzorcima ne iznosi više od 30%. Pri merenju uzorka male specifične aktivnosti koje se mogu očekivati kod bioloških materijala efikasnost detekcije je mnogo niža (3-7%). Ovako niska efikasnost detekcije je posledica efekta gašenja koji spada u osnovne procese koji se dešavaju u tečnom scintilatoru i zavisi od vrste i količine unetog uzorka u tečni scintilator (9,10,11,12).

Maksimalna osetljivost metode za detekciju tritijuma u biološkom materijalu iznosi $5 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ (5).

EKSPERIMENTALNI RAD

U ovom radu korišćena je tečna scintilaciona metoda za određivanje tritijuma u humanom urinu.

Uzorci su mereni na 4π tečnom scintilacionom brojaču - tipa Carbotrimetre.

Kiveta sa tečnim scintilatorom i uzorkom postavlja se između dva fotomultiplikatora (tipa 6079A, firme EMI) u zaštitnu komoru. Fotomultiplikatori su vezani u koincidentnu šemu radi smanjenja fona koji pri maksimalnom pojačanju iznosi 1,5-2 imp/sec za kivetu zapremine 20 cm^3 , dok je struja mraka oko 1 imp/sec na radnoj temperaturi od $+15^\circ\text{C}$. Stabilnost aparature iznosi $\pm 0,5\%$.

Ceo brojač je smešten u frižider koji omogućava regulaciju temperature od -15°C do $+25^\circ\text{C}$. Aparatura radi kao beta spektrometar i linearna je u oblasti energije od 18 - 1700 KeV (13).

Kao scintilator korišćen je dioksanski rastvor sledećeg sastava: 7 gr PPO (2,5 difenilosazol), 5 mg POPP

{p-bis[2-(5-feniloksazolil)]benzol} na 1 litar dioksana (reagensi klase SG, firme Nuclear Enterprises).

Ovaj scintilator je izabran zbog relativno visoke brojačke efikasnosti za tritijum u odnosu na druge sмеše, postojanosti u toku dužeg vremenskog perioda pri brižljivom čuvanju u mraku i na nižim temperaturama (13). Naročito je pogodan za merenje vodenih rastvora, jer se meša sa vodom u velikom odnosu.

Na nižim temperaturama od + 5°C smeša scintilacionog i vodenog rastvora se smrzava dajući primetan pad u brojačkoj efikasnosti.

Pripremanje uzoraka urina

S obzirom da urin sadrži obojene komponente, razne organske i neorganske soli, čije prisustvo utiče na smanjenje brojačke efikasnosti tečnog scintilatora, u literaturi se za prečišćavanje urina upotrebljava destilacija (5,6,8) i obezbojavanje (7). U ovom radu za prečišćavanje urina je primenjena destilacija kao efikasnija i pouzdanija metoda.

Pri postavljanju metode uzimani su urini od osoba koje nisu dolazile u dodir sa radioaktivnim materijalom i kontaminirani sa poznatom količinom standardnog rastvora tritinirane vode. Uzorci urina destilovani su u prisustvu toluola koji ima ulogu da spreči penušanje (5).

Za analize se koristi 10 ml urina i 25 ml toluola. Vreme trajanja destilacije iznosi oko 2 h. Destilat koji se hvata u levak za odvajanje sadrži predestilovanu tritiniranu vodu iz urina i toluol. Posle odvajanja faza od svake probe uzimaju se alikvoti za merenje.

Ispitivanje optimalnih uslova

Usled niske brojačke efikasnosti tečnog scintilacionog brojača za tritijum i niskih specifičnih aktivnosti uzorka urina, ispitivani su različiti odnosi uzorak - scintilator da bi se našli optimalni uslovi za maksimalnu brzinu brojanja.

Ova ispitivanja su trebala da pokažu da li se sa povećanjem zapremine uzorka može povećati brzina brojanja i na taj način smanjiti vreme merenja uzorka niske specifične aktivnosti.

Primećeno je da pri konstantnoj količini uzorka sa povećanjem zapremljenja scintilatora brzina brojanja raste do odnosa 1:13, posle čega ostaje konstantna. Kod ovog odnosa postiže se i maksimalna brzina brojanja i maksimalna efikasnost detekcije koja iznosi za destilovani urin 4,6%.

U drugom slučaju pri konstantnoj zapremini scintilatora brzina brojanja raste sa porastom količine uzorka, ali efikasnost detekcije opada. Pri odnosu uzorak - scintilator 2:13 efikasnost opada za 40% u odnosu na efikasnost koja se dobija pri odnosu 1:13 za destilovan urin.

Stoga je u toku rada korišćeno 13 ml scintilatora i 1 ml uzorka.

Određivanje efikasnosti detekcije tritijuma u urinu

U toku razrade metode korišćeni su urini od osoba koje nisu dolazile u dodir sa radioaktivnim materijalom i posle destilacije izmerene njihove osnovne aktivnosti koje su bile na nivou osnovnih aktivnosti čistog scintilatora.

Ovi uzorci urina kontaminirani su sa standardnim rastvorom tritinirane vode. Korišćena su dva standardna rastvora od $3,3 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ i $0,33 \mu\text{Ci}/\text{ml}$, čije su specifične aktivnosti određene metodom merenja tritijuma u gasnoj fazi sa greškom od $\pm 3\%$ (14).

Uzorci urina od 100 ml kontaminirani su sa različitim koncentracijama tritijuma u granicama od 0,02 do 10 MDK. Za destilaciju su uvek uzimani alikvoti od 10 ml tritiniranog urina i destilovani u prisustvu toluola. Za svaku koncentraciju kontaminiranog urina destilovano je 10 proba. Probe za merenje pripremane su od 13 ml scintilatora i 1 ml destilovanog urina i čuvane u mraku na temperaturi $+15^\circ\text{C}$ 2-3 h pre merenja.

Da bi se ispitalo ima li gubitaka tritijuma prilikom destilacije urina i kolika je efikasnost same metode, napravljeni su standardni rastvori tritinirane vode u istim granicama od 0,02 do 10 MDK i mereni direktno bez destilacije pod istim uslovima kao i urin. Dobijeni rezultati su pokazali da ne dolazi do gubitaka tritijuma pri destilaciji, jer su efikasnosti detekcije destilovanog tritiniranog urina i standardnih rastvora tritinirane vode iste (4,6%).

Najniže merljiva koncentracija tritijuma iznosi $6,7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ urina, što odgovara brzini brojanja uzorka

od 1,16 imp/sec. Ova brzina brojanja je oko polovine brzine brojanja osnovne aktivnosti čistog scintilatora. S obzirom na vrlo reproduktivna merenja osnovne aktivnosti jedne kive-te, ovako male odbroje je bilo moguće meriti.

Za ovako definisane radne uslove, konstruisana je kalibraciona kriva za urin koja predstavlja zavisnost koncentracije tritijuma izražene u jedinicama MDK od brzine brojanja destilovanog uzorka urina u imp/sec (Sl.1).

Iz ove krive, na osnovu izmerene brzine brojanja destilovanih uzoraka urina, direktno se može odrediti koncentracija tritijuma u jedinicama MDK.

Primena metode

Metoda se primenjuje u rutinskoj kontroli za procenu interne kontaminacije tritijumom kod osoba koje rade na teškovodnom sistemu reaktora RA u Vinči, kao i kod osoba koje rade sa otvorenim izvorima tritijuma. Uzorci urina za sistematsku kontrolu sakupljaju se u toku 24 h, a u akcidentalnim slučajevima sakupljanje počinje neposredno posle akcidenta i prati eliminaciju tritijuma u periodu od nekoliko dana.

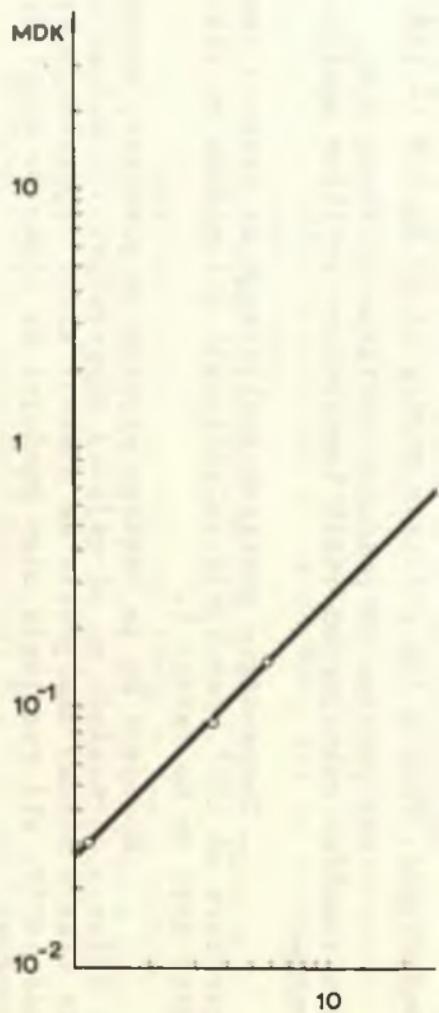
U toku normalnog režima rada reaktora, pri sistematskoj kontroli personala (oko 80 analiza), nije konstatovano prisustvo tritijuma u urinu u količinama koje se nalaze u granicama osetljivosti ove metode. Kod pojedinih uzoraka primećeno je neznatno povećanje iznad osnovne aktivnosti, ali se ono nalazi ispod granice osetljivosti metode koja iznosi 0,03 MDK ($6,7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{ml}$).

Pri remontnim operacijama detektovan je tritijum na nivou od 0,5 do 1,1 MDK.

Opisani postupak za detekciju tritijuma u humanom urinu tečnom scintilacionom metodom daje zadovoljavajuće rezultate u pogledu osetljivosti i jednostavnosti dobijanja podataka. Postignuta osetljivost, prema literaturnim podacima, je u skladu sa osetljivošću koja se normalno postiže ovom metodom.

LITERATURA

1. Pillinger W.L., Hetges J.J. and Blair J.A.; Phys. Rev. 121, 232 (1961).
2. Hamilton D.R., Alford W.P. and Gross L.; Phys. Rev. 92, 1521 (1953).
3. Langer L.M. and Maffot R.D.; Phys. Rev. 88, 689 (1952).
4. Recommendations of the International Commission on Radio-logical Protection, Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation; Pergamon Press, London (1959).
5. Butler F.E., Assessment of Radioactivity in Man, Proceedings of a Symposium, Heidelberg, 11-16 May 1964, IAEA, Vienna, 2, 431 (1964).
6. Sandalls J.; AERE-R 3716 (1961).
7. Barnes V. and Elliott F.; PG Report 162 (W) (1960).
8. Hutchinson W.P.; AERE-R-3425 (1960).
9. Kallmann H., Furst M.; Liquid Scintillation Counting, Pergamon, New York, p.3 (1958).
10. Baillie L.A.; Int.J.Appl.Rad.Isotopes, 8, p.1-7 (1960).
11. Peng C.T.; Analyt.Chem. 32, 1292 (1960).
12. Kerr V.N., Hayes F.N., Ott D.G.; Int.J.Appl.Rad.Isotopes 1, 284 (1957).
13. Zmbov K., Bek-Uzarov Đ.; Izveštaj sa SKNE 03-801/55; Razvoj radiometrijskih, fiziko-hemijskih i hemijskih metoda analize, A-A, Ispitivanje efikasnosti tečnog scintilacionog brojača za detekciju čistih beta emitera (1964).
14. Zmbov K., Bek-Uzarov Đ.; Izveštaj sa SKNE 03-801/55; Razvoj radiometrijskih, fiziko-hemijskih i hemijskih metoda analize, I-C; Merenje aktivnosti tritijuma u gasnoj fazi (1964).



MDK U FUNKCIJI ODBROJA
1 MDK = $23 \mu\text{Ci/l}$ URINA

imp/sec.

10^2

10^3

10^4

ISPITIVANJE OPTIMALNIH USLOVA ODREĐIVANJA Po-210
U BIOLOŠKOM MATERIJALU METODOM DEPOZICIJE

D.Petrović, D.Djurić, D.Panov

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

Od 1961. godine u našoj laboratoriji se vrši određivanje Polonijuma 210 u urinu i ostalim biološkim materijalima kod osoba i životinja eksponiranih radonu ili radijumu. Uvedena je metoda depozicije preporučena od strane Atomske komisije SAD (1).

Na depoziciju polonijuma prilikom rada može da utiče svaka od operacija, koje smo varirali tokom vremena.

- Proces spaljivanja varira zbog promene biološkog materijala. Prinos tom prilikom varira od 57 do 87% (- 15%).

Pad prinosa je primećen prilikom upotrebe H_2O_2 , što tumačimo razvijanjem viših temperatura prilikom spaljivanja.

- Temperatura prilikom spaljivanja ne prelazi temperaturu od 100° . Rezultati volatilnosti polonijuma sa planšete dati su na Tabeli 1.

Standard Po je nanošen pipetom na planšetu, osušen i držan u termostatu na određenoj temperaturi tokom 2 sata. Iz tabele možemo zaključiti da postoji slabo isparavanje iznad $140^\circ C$, ali rezultati nisu značajni da bismo to mogli da tvrdimo.

Smith i saradnici (2) daju dolatilnost polonijuma sa staklene i srebrne površine (nanošenog depozicijom) u funkciji temperature.

Možemo odmah zaključiti da za temperature, koje postižemo prilikom spaljivanja, nemamo gubitaka usled volatilnosti, računajući i temperaturu prilikom depozicije ($90-95^\circ C$).

- Prisustvo NO_3^- jona (2) smanjuje procenat(prinos)

depozicije i do 5%. Smith i saradnici (2) nam daju tabelu sa promenama na površini pločice (zatamnjenje) u vezi sa padom prinosa. Isterivanjem NO_3^- jona hlorovodoničnom kiselinom potpuno sprečava ovaj uticaj.

- Prisustvo Fe^{3+} jona je ispitivano dodavanjem hidroksil amina od strane Smith-a i saradnika (2) i u našoj laboratoriji.

Prisustvo Fe^{3+} jona u urinu (3) iznosi u normalnim slučajevima reda veličine 10^{-3}M , dok u patološkim može biti i povećano.

Dodavanjem hidroksil amina potpuno sprečava uticaj Fe^{3+} jona u ispitivanim granicama.

- Razaranje masti je potrebno zbog stvaranja jednog filma preko srebrne folije, koji potpuno apsorbuje alfa zračenje. Ovo izbegavamo:

- a. razaranjem masti prethodnim postupkom
- b. pranjem srebrne folije u acetonu.

U svom obimnom radu Smith i saradnici (2) kao zaključak jednog niza eksperimenata daju sledeće:

- depozicija ne zavisi od brzine mešanja
- za ispitivanje uslova (temp. od 90° i vreme od 90 min.) promene u zapremini rastvora za depoziciju i normaliteta nemaju vidnog efekta,
- mešanje rastvora je neophodno, ali ne konstantnost brzine,
- promene aciditeta od 0,1 N do 0,75 N nema uticaja na prinos depozicije.

Kvalitet folija je bio ispitivan u našoj laboratoriji i daje veoma mali uticaj na prinos, ali utiče s druge strane na tačnost merenja zbog visoke spontane kod tehničkih folija.

Srebrne folije, p.a. ($u=10$ merenja) $2 - 0,5 \text{ imp}/60 \text{ min.}$

Srebrne folije, tehn. ($u=10$ merenja) $13,1^{+1},3 \text{ imp}/60 \text{ m.}$

Black (4) daje prinos u funkciji vrste folija.

- Prinos u funkciji koncentracije, dat na Tabeli 2, nam ukazuje da u oblasti od 3×10^{-13} do $1 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ koncentracija polonijuma nema uticaja na prinos.
- Merenje srebrnih folija sa deponovanim polonijumom je vršeno skalerom SK-T3 proizvodnje Instituta za nuklearne

nauke "Boris Kidrič", sa podešenim diskriminatorom za najmanji broj otkucaja spontane aktivnosti.

Detekcija je vršena sa fotomultiplikatorom PM-153 AVP ili 53 AVP i scintilatorske plošice cink sulfida.

Standardizovanje je vršeno sa standardnim izvorom plutonijuma 239. Efikasnost iznosi 24%. Minimalna aktivnost (A_{min}) koja se može meriti data je (5) sledećim izrazom:

$$A_{min} = A_0 + 3 \sqrt{A_0}$$

gde je A - spontana aktivnost. Ovo se odnosi na radioaktivno merenje, dok ostali parametri metode dozvoljavaju veću osetljivost.

Greška koja je veoma velika na ovom nivou, data je prema Draganiću i saradnicima (6).

- Normalne vrednosti u biološkim materijalima su date na Tabeli 3. sa standardnom devijacijom.

Greške u ovoj tabeli su smanjene:

- analizom uzorka daleko većih od jedinice na koju su obračunate,
- radeći veći broj uzoraka od jedne analize,
- smanjujući spontanu aktivnost upotrebom starih (odležanih) p.a. folija.

Možemo odmah reći da su normalne vrednosti ili veoma bliske ili na nivou osetljivosti metode. Prema tome svako povećanje možemo registrisati, vodeći računa o izvoru grešaka, statističkoj značajnosti razlike koju ispitujemo i redu veličine efekta koji ispitujemo. Ovo važi pod pretpostavkom da kod eksponiranih osoba i životinja možemo očekivati povećanje koncentracije radionuklida u sled ekspozicije.

- Literaturni podaci o kretanjima koncentracije polonijuma u pojedinim organima životinje ili urinu ljudi i životinja daju odnose telesnog depoa od 1:3 i 1:5, kao minimalne odnose između pojedinih gradacija ošteteњa (Stannard i saradnici (7)). Thomas i saradnici (8) nalaze opadanje u toku 60 dana u odnosu 1:25 od prvobitne aktivnosti u plućima, 1:4 u bubregu.

Na kraju ćemo napomenuti kao mogućnost praćenje jednovremeno polonijuma-210, bizmuta-210 i olova -210 deponcijom na nikl folijama (9).

ZAKLJUČAK

Naša iskustva, zajedno sa iznesenim literaturnim podacima, ukazuju da je metodom depozicije moguće pratiti eliminaciju polonijuma u urinu i sadržaj u organima životinja i osoba eksponiranih radijumu i radonu. Tom prilikom treba strogo voditi računa o mogućnostima i visini greške metode u oblasti (red veličine) u kojoj se očekuje kretanje polonijuma.

LITERATURA

1. Chemical Methods for Routine Bioassay, USAEC, AECU-4024, November 1958.
2. Smith, A.F., Della Rosa, J.R., Casarett, J.L.: Analytical and autoradiographic methods for Po-210, The University of Rochester, Atomic Energy Project, Rochester, New York, UR-305.
3. Štark dr Oton: Kliničko laboratorijska analiza, str.107.
4. Black, C.S.: Low Level Po Determination of Tissue and Urine; The University of Rochester, Atomic Energy Project, Rochester, New York, UR-463.
5. Tubiana, M., Dutreix, J., Dutreix, A., Jockey, P.: Bases physiques de la radiotherapie et de la radiobiologie, Ed. Masson et Cie, Paris 1963, p.288.
6. Draganić, I.: Radioaktivni izotopi i zračenja, knj.II, str.23-25, izd.Naučna knjiga, Beograd 1963.
7. Stannard, J.N., Bahter, R.C.: The Effects of a Maintained Body Burden of Po in the Rat. II. Plan of Long Term Experiments; Distribution Excretion and Retantion Data. The University of Rochester, Atomic Energy Project, Rochester, New York, UR-376.
8. Thomas G.R., Stannard J.N.: The Metabolism of Po-210 Administered by Intratracheal Injection to the Rat. The University of Rochester, Atomic Energy Project, Rochester, New York, UR-430.
9. Blanchard, R.L.: Rapid Determination of Lead 210 and Polonium 210 in Environmental Samples by Deposition on Nuckel, Analyt.Chemistry, Vol.38, Page 189, Feb.1966.

Tabela 1. Volatilnost Po sa planšete

Temperatura u °C	Aktivnost u imp/5 min. n = 5
40	1061
60	1064
80	1054
100	1061
120	1043
140	1037
160	1017
180	1016
200	1005

Tabela 2. Prinos u funkciji koncentracije

Aps.aktivnost u pCi	Sredina	Prinos u %
0,28	0,5 n HCl	71
0,56		70
0,96		70
4,32		70
11,52		70

Tabela 3. Prirodna aktivnost u raznim biološkim materijalima (normalne vrednosti)

Vrsta sredine	n	Prirodna aktivnost normalna aktivnost
Urin pušača	20	$0,60 \pm 0,22$ pCi/l
Urin nepušača	9	$0,37 \pm 0,20$ pCi/l
Cigaretе (jugosl.)	35	$0,38 \pm 0,13$ pCi/cigareti
Urin pacova	-	ispod osetlj.metode
Feces pacova	8	$1,5 \pm 0,18$ pCi/24 h. feces 15 gr.
Hrana pacova	3	$0,90 \pm 0,10$ pCi/kolaču
Pluća pacova	5	$0,060 \pm 0,01$ pCi/gr pluć.tkiva

DEPOZICIJA RADIOAKTIVNOG STRONCIJUMA
U LJUDSKIM ZUBIMA U SARAJEVU

F.Čustović, B. Topić

Institut za higijenu i socijalnu medicinu
Medicinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu

Poznato je da Sr-90 metabolički slijedi put kalcijuma i deponira se u kostima i zubima. Koristeći autoradiografski metod Jarcev (4) je na psima pokazao da Sr-90 ulazi kroz sudove pulpe i periodoncije u tvrdo tkivo zuba. Sr-90 se akumulira u zubima u količinama koje su proporcionalne odnosu njegove depozicije u skeletu. Raspodjela Sr-90 u zubnom tkivu je neravnomjerna, s tim da se najveće količine nalaze u dentinu oko pulpalne komore.

Koštano tkivo u rastu akumulira Sr-90 po odredjenoj zakonitosti i prema tome će koncentracija Sr-90 u njemu biti u odredjenoj korelaciji sa kontaminacijom bisofere sa Sr-90 (6). Zbog toga se Kalcar (5) još 1958. godine zalagao za sakupljanje i određivanje radioaktivnosti u mliječnim zubima. Brynt sa saradnicima (1) je ispitivao kontaminaciju zuba djece i adolescenata sa Sr-90 u Ujedinjenom Kraljevstvu, dok su to isto uradili za Dansku Lindemann (7), a za SAD Rosenthal (9) i (10) i Reiss (8).

Pošto u ovoj oblasti postoji mali broj radova, a važnost ovakvog ispitivanja je vrlo velika za procjenu kontaminacije dječjeg skeleta, autori ovog rada su pristupili određivanju veličine deponovanog Sr-90 u stalnim i mliječnim zubima djece rođene u Sarajevu u period 1950-1961. godine.

METODIKA RADA

Sakupljanje mliječnih i stalnih zuba sa područja Sarajeva vršili smo preko zubnih ambulanti, školskih poliklinika i domova zdravlja. Sakupljenje mliječne zube smo odvajali po godištima.

Od stalnih zuba djece rođene u periodu 1950-1958. godine sakupljali smo i analizirali samo PRVE molare. Za dječcu od koje su uzeti zubi registrirana je godina rođenja, vrsta zuba i vrijeme ekstrakcije. Ukupno je analizirano 355 stalnih i mliječnih zuba. Kompletni zubi su bili odvojeni po godinama rođenja, vrsti, a zatim su podvrgavani sušenju i spaljivanju na temperaturi do 700°C.

Za određivanje Sr-90 koristili smo Brynt-ovu metodu, koja se zasniva na separaciji aktivnog stroncijuma uz dodatak nosača u jakoj azotnoj kiselini (2).

REZULTATI I DISKUSIJA

Analizirano je 157 raznih zuba osoba starijih od 30 godina. Rezultati ovih ispitivanja dati su u Tabeli 1.

Tabela 1.

Količina Sr-90/Ca u zubima osoba starijih od 30 godina (vrijeme ekstrakcije prva polovica 1966)

Vrsta zuba	Broj zuba	Količina pepela u g	Količina Ca u mg/g pepela	pCi Sr-90/gCa
incizivi	57	29,0	386,2	0,55 ± 0,06
kanini	60	34,0	389,8	0,42 ± 0,09
molari	40	49,0	401,8	0,38 ± 0,08

Srednja vrijednost $0,456 \pm 0,076$ pCi Sr-90/gCa.

Zubi osoba koje su rođene prije prve nuklearne eksplozije pokazuju da je količina Sr-90/Ca niska i za sve zube skoro konstantna.

Dječije zube ekstrahirane u prvoj polovici 1966. godine podijelili smo u dvije grupe: mliječne i stalne. Količina Sr-90/Ca u mliječnim zubima prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2.

Količina Sr-90/Ca u mlijecnim zubima djece rođene u Sarajevu u periodu 1955-1961 (period ekstrakcije I polovica 1966)

Godina rodjenja	Broj zuba	Težina pepela u g	Broj analiza	Količina Ca u mg/g nepela	pCi Sr-90/gCa
1955-1956	14	4,1	1	356,3	3,50 ± 0,28
1957-1958	60	19,1	4	368,2	5,80 ± 0,32
1959-1960	26	8,8	2	337,0	6,76 ± 0,33

Kako se vidi iz ove tabele, količina Sr-90 u mlijecnim zubima djece rođene u periodu 1955-1961. se povećava i dostiže maksimum za zube djece rođene 1958-1961. Srednja vrijednost za količinu Sr-90 u mlijecnim zubima djece stare od 6-11 godina iznosi 5,73 pCi Sr-90/gCa, dok je maksimalna vrijednost 7,02. Količine Sr-90 u stalnim zubima djece rođene u periodu 1950-1958. godine u Sarajevu nalaze se u Tabeli 3.

Tabela 3.

Količina Sr-90/Ca u stalnim prvim molarima djece rođene u periodu 1950-1958. godine u Sarajevu (vrijeme ekstrakcije I polugodište 1966).

Godina	Broj zuba	Broj analiza	Težina pepela u g	Količina Ca u mg/g pepela	pCi Sr-90/gCa
1950.	18	2	15,6	361,06	2,09 ± 0,09
1951.	19	2	18,1	378,21	2,34 ± 0,24
1952.	9	1	10,2	399,0	2,08 ± 0,14
1953.	15	1	12,6	385,6	2,68 ± 0,07
1954.	10	1	10,3	342,7	3,15 ± 0,14
1955.	11	1	10,1	362,5	2,58 ± 0,06
1956.	8	1	8,04	378,4	4,31 ± 0,31
1957-58.	8	1	6,7	371,0	4,53 ± 0,16

Iz Tabele 3. se vidi da količina Sr-90/Ca u stalnim zubima djece rođene 1950-1958., a ekstrahirane 1966. godine, se također povećava. Srednja vrijednost za količinu Sr-90 u zubima djece stare od 6-16 godina iznosi 2,77 pCi Sr-90/gCa, dok maksimalna vrijednost iznosi 4,53.

Analizom signifikantnosti razlika (t-test) pokazuje da je za stalne prve molare $t = 35,06$ a P manje od 0,001, a za mlijecne zube $t = 60,1$ a P manje od 0,001, što pokazuje značajnu razliku u količini Sr-90 u zubima po godinama starosti.

Izračunavanjem linearne korelacije između godina starosti i količine Sr-90 u zubima bazirano na 20 analiza, koeficijent $r = -0,92$ pokazuje jako visoku korelacionu vezu u negativnom smjeru.

Naše vrijednosti o količini Sr-90 u dentalnom tkivu ne možemo usporediti sa ničijim rezultatima u Jugoslaviji, pošto ovakve studije još nisu sprovedene. Komparacija naših rezultata sa rezultatima Rozenthala (9) za St.Louis i Lindemann (7) za Dansku data je na Tabeli 4.

Tabela 4.

Uporedni rezultati o količini Sr-90/Ca u mlijecnim zubima djece rođene 1957. godine u St.Louisu, Danskoj i Sarajevu

	St.Louis	Danska	Sarajevo
Godina ekstrakcije	1963.	1963.	1966.
vrsta zuba	kruna inciziva	kruna kanina, prvih i drugih molara	svi
pCi Sr-90/gCa	2,56	0,9 - 1,0	5,73

Iz Tabele 4. se može vidjeti da je koncentracija Sr-90 u zubima djece u Sarajevu bila mnogo viša, što se može objasniti vrstom uzorka i kasnijim vremenom ekstrakcije. Mi smo za naš rad uzimali kompletan Zub, dok su američki stručnjaci analizirali samo krune mlijecnih inciziva djece stare 6 godina, čiji je korijen već resorbiran. Ova konstatacija u skladu je sa nalazima do kojih je došao Jarcev, da je najveća depozicija Sr-90/Ca u dentinu oko pulpalne komore.

ZAKLJUČAK

Iz naših ispitivanja se mogu dati slijedeći zaključci:

1. Količina Sr-90/Ca izvadjenih trajnih zuba kod

osoba starijih od 30 godina je 1966. godine bila niska i nje-
na srednja vrijednost je iznosila $0,46 \pm 0,08$ pCi Sr-90/gCa.

2. Zubi djece rođene u periodu 1955-1960. godine,
a ekstrahirane 1966. godine, akumulirali su najveće količine
Sr-90/Ca. Srednja vrijednost iznosila je 5,73 pCi Sr-90/gCa.

BIBLIOGRAFIJA

1. Brynt J.F., Henderson, H.E., and Holgate W. (1960): British Dental Journal, 1:8: 291-294, No 8.
2. Parker A., Henderson N.E., Spicer S.G. (1965): AERE-AM 101.
3. Butler, E.F. (1961): Nature 189: 848-849, No 4767.
4. Jarcev I.E. (1963): Med.radiologiji, No 5, : 47-50.
5. Kalckar M., Herman (1958) Nature 182: 283-284, No 4631.
6. Langham W. and Anderson C.E. (1958) HASL-42: 282-309.
7. Lindemann J. (1965) Tandlaegebladet, 69: 297-304.
8. Reiss L.Z. (1961) Science, 134: 1669-1673, No 3491.
9. Rosenthal L.H., Gilster E.J. and Bird T.J. (1963): Science, 140: 176-177.
10. Rosenthal L.H. (1964) Nature, 203: 615-616.

**PREPORUKE ZA PRENOSNE MERAČE
JAČINE EKSPozICIONE DOZE**

S.Muždeka, P.Mirić, P.Frantlović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Ove preporuke radjene su na bazi predloga potkomiteeta 45B IEC (Medjunarodne elektrotehničke komisije) koje se bavi instrumentacijom za zaštitu od zračenja.

Preporuke se odnose na prenosne instrumente namenjene za merenje ili detekciju jačine ekspozicione doze X ili gama zračenja.

TAČNOST

Pod normalnim uslovima, sa uredjajem podešenim prema uputstvima proizvodjača, uredjaj treba da meri jačinu ekspozicione doze, u nekoj tački na mernoj skali u granicama $\pm 20\%$ za specificirano zračenje, ili u granicama $\pm 18\%$ jačine ekspozicione doze koja odgovara punoj skali opsega kod instrumenata sa linearnom skalom.

Kod instrumenata sa logaritamskom skalom indikacija treba da bude u granici $\pm 25\%$ od jačine ekspozicione doze za svaku tačku na skali.

Testiranje tačnosti izvodi se pod standardnim uslovima definisanim u Tabeli I.

Jačina ekspozicione doze u tački ispitivanja može biti određena ili upotrebom baždarene gustine gama fluksa ili korišćenjem gama izvora poznate specifične konstante gama zračenja, čija aktivnost treba da je poznata sa preciznošću boljom od 5%.

Rastojanje izmedju izvora zračenja i detektora treba da je dovoljno da greške usled neuniformnosti ozračivanja detektora ne budu znatne. Uredjaj treba da se izloži zračenjima koja odgovaraju pokazivanju manje od jedne trećine,

izmedju jedne i dve trećine i više od dve trećine pune skale na svakom opsegu linearne skale instrumenta, a za najmanje tri tačke u svakoj dekadi jačine ekspozicione doze za instrumente sa logaritamskom skalom.

Pri većim jačinama ekspozicione doze direktni način testiranja može zahtevati korišćenje izvora nepodesno visokog aktiviteta. U tim slučajevima mogu se koristiti indirektne metode.

Dovoljene promene u slučajevima kada se odstupa od normalnih uslova datih u Tabeli I date su u Tabeli II.

U odsustvu drugih specifikacija, aparat treba da je pogodan za merenje jačine ekspozicione doze usled X i gamma zračenja za energije od 50 keV do 3 MeV.

U energetskom opsegu izmedju 0,3 MeV i 1,5 MeV osetljivost na zračenje ne sme se razlikovati za više od $\pm 10\%$ dok se energetska zavisnost za preostali energetski opseg ne sme razlikovati za više od $\pm 20\%$ od referentne unapred određene energije.

Tipična kalibraciona kriva koja pokazuje promene osetljivosti u zavisnosti od energije zračenja treba da se da uz svaki aparat.

Da bi se potvrdile preporuke osetljivost treba da bude merena najmanje jednim izvorom zračenja sa energijom ispod 300 keV, najmanje jednim sa energijom izmedju 300 keV i 1 MeV i najmanje jednim sa energijom većom od 1 MeV.

Osetljivost uređaja na zračenja koja padaju pod ugлом ne većim od 90° na pravac maksimalnog odziva ne treba da budu manja od 80% od maksimalnog odziva.

Da bi se ovo ispitalo instrument treba da se izloži najnižoj energiji zračenja u ranijem testiranju. Uredjaj se postavi u normalan položaj korišćenja i sa izvorom zračenja u takvom položaju da je linija od izvora do centra detektora normalna na prednju površinu detektora. Očitavanje u tom položaju se zapiše. Instrument se okreće za uglove 30° , 60° i 80° od ovog položaja i zapišu se očitavanja.

Ako se uređaj za merenje ekspozicione doze za gammu zračenja koristi u prisustvu beta zračenja, visokoenergetske beta čestice mogu dospeti u osetljivu zapreminu detektora. Maksimalna energija beta čestica koja dospeva u osetljivu zapreminu detektora treba da je označena ako je manja od 3 MeV.

Ako alfa čestice energije 8 MeV emitovane izvan detektora ne dospevaju u osetljivu zapreminu detektora, osetljivost na ovu vrstu zračenja može se smatrati da je nula.

RADNE KARAKTERISTIKE

Instrument za očitavanje treba da je graduisan u jedinicama jačine ekspozicione doze, na pr. R/h.

Ukupan opseg korisnog merenja treba da je najmanje tri dekade jačine ekspozicione doze.

Zbog statističke prirode zračenja standardna devijacija treba da bude manja od 10% za jačinu ekspozicione doze iznad one koja odgovara jednoj trećini punog otklona na najosetljivijem mestu.

Da bi se ovo proverilo izlaže se uredjaj zračenju jačine ekspozicione doze koja odgovara indikaciji između jedne trećine i polovine pune skale na najosetljivijem opsegu. Uzima se serija od 20 očitavanja u pogodnim vremenskim razmacima. Vremenski razmak ne sme biti kraći od onog koji odgovara trostrukoj vremenskoj konstanti mernog uredjaja. Nadjena srednja vrednost i standardna devijacija treba da je u datim granicama.

Za uredjaj koji ima konstantno vreme odgovora za dati opseg (tj. većina instrumenata sa linearnom skalom), vreme odgovora, treba da je takvo da naglo povećanje jačine ekspozicione doze pri indikaciji sa početnim stanjem nula, da postigne 63% svoje krajnje vrednosti za 8 sek. Za aparature kod kojih se menja vreme odgovora indikacija treba da postigne 63% krajnje vrednosti za 10 sekundi.

Ova ispitivanja mogu se izvesti pogodnim izvorom gama zračenja ili gde je moguće, ubacivanjem pogodnog električnog signala. Električni metod je podesniji kada statističke fluktuacije mogu znatno uticati na rezultate ispitivanja.

Reproducibilnost se ispituje kada pri normalnim uslovima ponovljena merenja ne odstupu više od 5% od aritmetičke sredine svih merenih vrednosti. Ako statističke fluktuacije prelaze 5% indikacije, tada će se ranije date granične koristiti za kombinovane efekte. Ispitivanje je isto kao za statističke fluktuacije.

Pomeranje nule se ispituje posle perioda od 30 minuta od uključenja instrumenta. Položaj nulte tačke ne

sme se pomeriti za više od 2% pune vrednosti skale za četiri časa.

Pored ispitivanja vezanih za normalne uslove potrebnog je ispitati i sposobnost instrumenta da postigne skoro asimptotske osobine. Sa isključenim uredjajem detektor se izloži pogodnom izvoru zračenja. Aparat se uključi i izvrši se očitavanja posle 20 sek, 40 sek, 1 min, 2 min i 3 minuta.

Deset minuta posle uključenja uzmu se najmanje 10 očitavanja i nadje srednja vrednost kao "krajnja vrednost" očitavanja, odnosno indikacije. Razlika izmedju krajnje vrednosti i očitavanja posle 1 min i 3 min treba da je u granicama datim u Tabeli II.

U pogledu izlaznih signala merači jačine ekspozicione doze mogli bi biti snabdeveni i zvučnom indikacijom, koja daje alarm kad se predje unapred dati nivo zračenja.

U slučaju preopterećenja instrument ne sme da pokazuje skretanje manje od pune skale kada se izloži jačini 1 do 100 puta većoj od pune skale.

MEHANIČKE KARAKTERISTIKE

Konstrukcija aparata treba da olakša dekontaminaciju.

Težina ne sme da predje 5 kg.

Prenosni instrumenti treba da podnesu mehaničke udare bez oštećenja u svim pravcima pri akceleracijama najmanje 40 g, za vremenski interval od 0,1 sek.

NAPAJANJE

Baterijsko napajanje (primarno ili sekundarno) treba da postoji. Napajanje pomoću primarnih baterija treba da ima takve kapacitete da posle 40 časova upotrebe sa prekidom ili 25 časova neprekidne upotrebe indikacija uredjaja u odnosu na početnu bude manja od 10% (temperatura $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Sa sekundarnim baterijama indikacija treba da bude posle 12 časova manja od 10% u odnosu na početnu.

Trebalo bi da postoji mogućnost kontrole baterija.

Ako se koriste sekundarne baterije trebalo bi da postoji punjač koji omogućava punjenje baterije za 18 časova.

OSTALO

Da bi se vršila ispitivanja uticaja jedne od promena datih u Tabeli II, vrednosti ostalih količina treba da su konstantne i odgovaraju uslovima iz Tabele I.

Temperaturna ispitivanja trebalo bi normalno da se vrše u klima komori. Temperaturu treba održavati na ekstremnim vrednostima najmanje 4 časa, a indikaciju kontrolisati poslednjih 30 minuta ovog perioda.

Relativnu vlažnost treba kontrolisati samo ako se smatra da je uticaj vlažnosti na indikaciju znatan. Ispitivanje može da se vrši na jednoj temperaturi od 40°C i dopuštena promena od $\pm 10\%$ indikacije dodaje se na dozvoljene promene u zavisnosti od temperature.

Uticaj atmosferskoj pritiska je značajan samo za nezaptivene delove koji koriste vazduh kao sredinu za detekciju.

TABELA I. Referentni uslovi i uslovi ispitivanja

Uticaj	Referentni uslovi (ukoliko od proizvođača nisu na drugi način označeni)	Tolerance oko ref. uslova pri normalnim uslovima ispitivanja
Vreme zagrevanja	15 min	
Okolna temperatura	20°C	± 2°C
Relativna vlažnost	65	± 10% R.V.
Atmosferski pritisak	1 013 mbar	između 860 i 1060 mbar
Napanje	nominalni napon	± 1%
Učestanost	nominalna	± 2%
Talasni oblik AS	sinusoidalni	ukupna harmonička distorzija 5%
Položaj	normalni za upotrebu	± 2°
Kontrole	u normalnom položaju	
Kontaminacija radioaktivnim elementima	zanemarljiva	manja od najniže vrednosti za detekciju

TABELA II

Uticaj koji utiče na pokazivanje	Vrednost	Granice promena indikacije	
Vreme zagrevanja	1 min	$\pm 25\%$	
	3 min	$\pm 10\%$	
Okolna temperatura	$+10^{\circ}\text{C}$ i $+35^{\circ}\text{C}$	$\pm 10\%$	-
Temperatura između	-10°C i $+40^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 10\%$
	-25°C i $+50^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 50\%$
Napajanje za napone U+10% i U-12+		$\pm 10\%$	
Relativna vlažnost	95%	$\pm 10\%$ pri 40°C	
Položaj	neki	10%	

PREPORUKE ZA INSTRUMENTE
ZA MERENJE KONTAMINACIJE POVRŠINA

P.Frantlović, S. Muždeka, P.Mirić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVODNE NAPOMENE

Preporuke su bazirane na dokumentu 45B(**SECRETARIAT**)¹ (jun 1967) Potkomiteta 45B (Health Physics Instrumentation) Komiteta 45 Medjunarodne elektrotehničke komisije (IEC), i odnose se na instrumente namenjene za detekciju i merenje kontaminacije površina alfa i/ili beta emiterima, a koji obavezno sadrže:

- a) detektorsku sondu (sa brojačkom cevi, scintilacionim ili poluprovodničkim detektorom, itd.);
- b) merni deo.

Preporuke se u suštini odnose i na instrumente specijalizovane za kontrolu kontaminacije određenih površina (ruke, noge, podovi itd.), s tim što se za ovakve slučajeve mogu prema potrebi dopuniti ili delimično izmeniti. U slučaju da je neki instrument projektovan da vrši kombinovanu funkciju, npr. merenje alfa-beta kontaminacije površina, trebalo bi da on istovremeno zadovoljava zahteve koji postoje posebno za svaku od funkcija.

2. KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

U propisima IEC usvojena je sledeća opšta klasifikacija instrumenata prema njihovoј funkciji:

1^o. Merač

Instrument koji sadrži jedan ili više detektora zračenja i dodatne elektronske jedinice, namenjen za merenje veličina koje se odnose na nuklearno zračenje (aktivitet, jačinu ekspozicione doze, itd.);

2^o. Monitor

Merač koji ima i mogućnost davanja upozorenja (obično optičkog ili akustičkog) u slučaju kada merena veličina prekorači neku predodredjenu vrednost ili se ne nalazi u ranije definisanim granicama.

3^o. Indikator

Instrument koji varijacijom nekog primetnog signala (obično optičkog ili akustičkog) daje grubu procenu vrednosti kontrolisane veličine.

Druga klasifikacija izvršena je prema načinu upotrebe instrumenata:

1^o. Stacionarni (fiksni) instrumenti;

2^o. Prevozni (transportabilni) instrumenti;

3^o. Prenosni (portabilni) instrumenti.

U vezi sa načinom napajanja izvršena je sledeća klasifikacija:

1^o. Instrumenti sa mrežnim napajanjem;

2^o. Instrumenti sa baterijskim napajanjem (iz primarnih ili sekundarnih baterija).

3. KARAKTERISTIKE INSTRUMENATA ZA KONTROLU POVRŠINSKE KONTAMINACIJE I NJIHOVO ISPITIVANJE

Da bi se utvrdilo da li neki instrument zadovoljava odredjene funkcionalne i eksplotacione zahteve, definisane skup karakteristika koje se smatraju značajnim za primenu konkretnog instrumenta, a u vezi s tim i odgovarajući postupak ispitivanja da bi se proverilo u kojoj meri neki instrument odgovara zahtevima primene. Ispitivanje se vrši pod određenim uslovima, koji su naznačeni kao referentni. Uzimajući u obzir dozvoljena odstupanja pri realnim ispitivanjima od ovih referentnih uslova, definisani su tzv. normalni uslovi ispitivanja. Referentni i normalni uslovi ispitivanje pregledno su prikazani u Tabeli I.

3.1. Osetljivost merača, monitora i indikatora površinske kontaminacije

3.1.1. Merači i monitori alfa-kontaminacije

Osetljivost sonde na alfa zračenje:

Potrebno je da sonda instrumenta ima uniformni odgovor na alfa-zračenje na celoj osetljivoj površini, sa odstupanjima manjim od $\pm 25\%$ od srednje vrednosti.

Osetljivost sonde na alfa-zračenje treba meriti poznatim nekolimiranim alfa-izvorom (npr. Pu^{239}) poznatog aktiviteta (sa 5% tačnosti) postavljenim na rastojanju od osetljive površine sonde ne većem od 5 mm. Aktivitet izvora treba odabrati u dijapazonu 0,001 - 0,1 μCi . Osetljivost treba da bude izražena u broju impulsa u jedinici vremena po jedinici aktiviteta (npr. (imp/s)/ μCi). Pogodna metoda za merenje osetljivosti je i ona koja koristi površinski raspodeljen emiter, pri čemu ta površina treba da bude veća od osetljive površine detektorske sonde, a pogodna vrednost površinskog aktiviteta je reda $10^{-5} \mu Ci/cm^2$.

3.1.2. Indikatori alfa-kontaminacije - osetljivost na alfa-zračenje

Kod indikatora se smatra dovoljnim da se ispitivanje vrši sa jednim alfa-emiterom i da se o ovome da podatak.

3.1.3. Merači i monitori beta-kontaminacije - osetljivost na beta-zračenje

Potrebno je obezbediti da detektori za opštu namenu mogu detektovati beta-čestice čija energija prelazi 250 keV, a u specijalnim slučajevima može se zahtevati i detektovanje beta-energija izotopa Cl^{14} i S^{35} .

Osetljivost u funkciji beta-energije treba dati u vidu dijagrama, gde će energija pri kojoj osetljivost pada na nulu biti jasno označena. Takođe treba da bude označena i varijacija osetljivosti po osetljivoj površini sonde.

Osetljivost beta-sonde treba meriti korišćenjem tankog beta-izvora čiji je aktivitet poznat sa tačnošću $\pm 5\%$ (najpogodniji su emiteri Cl^{14} , Pm^{147} , Tl^{204} , Bi^{210} , Sr^{90}/Y^{90}), na rastojanju 1 cm od osetljive površine sonde. Aktivitet izvora treba birati tako da gubici usled konačnog vremena razlaganja ne prelaze 10% (obično su pogodni izvori čiji akti-

vitet leži u domenu $0,001 - 0,1 \mu\text{Ci}$). Osetljivost treba da bude izražena u broju impulsa u jedinici vremena po jediničnom aktivitetu (npr. $(\text{imp}/\text{s})/\mu\text{Ci}$). I ovde je prepcručljivo koristiti za merenje raspodeljeni beta-emiter aktiviteta reda $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, na površini koja je veća od osetljive površine sonde. Efikasnost detektora treba meriti najmanje na tri energetska nivoa: sa jednim beta-emiterom maksimalne energije ispod $0,4 \text{ MeV}$, jednim čija se energija kreće između $0,4 \text{ MeV}$ i 1 MeV , i jednim čija maksimalna energija prelazi 1 MeV . Osetljivost treba da bude određena i sa izvorom $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$. Ukoliko se koristi sonda sa debljinom prozora ispod $5 \text{ mg}/\text{cm}^2$, treba izmeriti i osetljivost za najmanje jedan beta-emiter maksimalne energije ispod $0,2 \text{ MeV}$.

3.1.4. Indikatori beta-kontaminacije površina – osetljivost

Usvaja se kao obavezno da detektor mora da detektuje beta-energije veće od 250 keV . Ispitivanje se vrši i daje podatak za osetljivost merenu sa izvorom $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$. U nekim slučajevima se zahteva i detekcija Cl^{14} i S^{35} .

3.2. Tačnost merača površinske kontaminacije

a) Instrumenti sa linearnom skalom

Propisuje se da pri broju impulsa većem od $1/3$ najosetljivijeg opsega ukupna greška instrumenta ne sme preći $\pm 25\%$, mereno pod normalnim mernim uslovima.

b) Instrumenti sa logaritamskom skalom sa tri ili više dekada

Ukupna greška instrumenta ne sme preći $\pm 40\%$, mereno pod normalnim mernim uslovima.

Pri merenju tačnosti može se koristiti samo jedan emiter. Ovo merenje se smatra rutinskim, i treba ga vršiti na svakom instrumentu. Ako instrument ima više sondi, merenje treba ponoviti sa svim sondama. Preporučuje se korišćenje indikatorskog instrumenta klase $1,5\%$.

U normalnoj eksploataciji instrumenti se koriste u uslovima koji u određenim granicama odstupaju od referentnih uslova. U Tabeli II date su vrednosti dozvoljenih odstupanja pokazivanja instrumenta u odnosu na pokazivanje pod referentnim uslovima.

3.3. Uticaj spoljašnjih faktora

Instrumenti namenjeni za merenje površinske kontaminacije jednim tipom emitera moraju biti projektovani tako da se svede na minimum uticaj ostalih vrsta zračenja.

Ispitivanje uticaja gama-zračenja potrebno je vršiti i kod instrumenata za merenje alfa-kontaminacije, i kod instrumenata za merenje beta-kontaminacije. Postupak se sastoji u tome što se na poznati alfa odnosno beta-izvor superponira poznati izvor gama-zračenja, i izmeri nastalo odstupanje u pokazivanju. Kod instrumenata za merenje alfa-kontaminacije koristi se izvor gama-zračenja koji daje jačinu ekspozicionne doze reda 1 R/h, pri čemu izmereno odstupanje u pokazivanju ne sme preći $\pm 25\%$, a za instrumente za merenje beta-kontaminacije ispitivanje se vrši sa gama-emiterom reda 1 mR/h, i registruje nastalo odstupanje.

Kod instrumenata za merenje beta-kontaminacije potrebno je vršiti ispitivanje uticaja alfa-zračenja ukoliko je ekvivalentna debljina prozora sonde manja od 5 mg/cm^2 .

Kod instrumenata za merenje alfa-kontaminacije potrebno je vršiti merenje uticaja beta-zračenja.

U nekim slučajevima (ne obavezno) zahteva se i ispitivanje uticaja neutronskog zračenja na instrumente za merenje alfa i beta-kontaminacije. Uticaj spoljašnjeg gama-fona koji ne prelazi $20 \mu\text{R/h}$ ne sme da se manifestuje sa više od $1/10$ najosetljivijeg linearног opsega kod instrumenata za merenje alfa-kontaminacije, odnosno $1/4$ ovog opsega kod instrumenata za merenje beta-kontaminacije.

3.4. Radne karakteristike

3.4.1. Vremenska konstanta merača srednje brzine brojanja

Vremensku konstantu (e) treba podešiti tako da za srednji broj impulsa koji odgovara $1/3$ skale najosetljivijeg linearног opsega standardna devijacija bude manja od 20% , pri čemu indikacija, polazeći od nule, dostigne 87% svoje konačne vrednosti za manje od 8s.

3.4.2. Vreme uspostavljanja normalnog radnog režima

Dozvoljena odstupanja u indikaciji iznose $\pm 25\%$ posle 1 min i $\pm 10\%$ posle 3 min od trenutka uključenja (test se vrši za prenosne instrumente).

3.4.3. Vreme razlaganja

Greška usled konačnog vremena razlaganja usled statističke raspodele impulsa ne bi trebalo ni na jednom opsegu da predje 20", a u protivnom to mora biti na skali jasno nazačeno.

3.4.4. Preopterećenje

Naročito je važno da bude ispunjen zahtev da indikacija ne padne ispod punog skretanja (ili čak na nulu) ukoliko srednji broj impulsa prelazi broj koji izaziva puno skretanje. Faktor preopterećenja trebalo bi da iznosi najmanje 100.

3.5. Mehaničke karakteristike

3.5.1. Karakteristike sondi

Sonde treba da budu projektovane tako da se osetljivi deo detektora može postaviti na rastojanje manje od 5 mm (za alfa-sonde), odnosno 10 mm (za beta-sonde) od ispitivane površine. Debljina prozora sonde ne bi trebalo da prelazi 1 mg/cm^2 (za alfa-sonde) odnosno 50 mg/cm^2 (za beta-sonde).

3.5.2. Jednostavnost dekontaminacije

Mora biti predviđeno konstrukcijom instrumenta da se njegova dekontaminacija može što jednostavnije izvršiti.

3.6. Napajanje

Instrumenti sa mrežnim napajanjem moraju biti predviđeni za rad sa monofaznom mrežom $50 \pm 1 \text{ Hz}$, 127/220V ili 120/240V, sa tolerancijama naponu $+10\%$ i -12% .

Instrumenti sa napajanjem iz primarnih baterija moraju biti sposobni za kontinualan rad od 25 h, sa odstupanjem u indikaciji manjim od 10%, a za instrumente sa akumulatorskim napajanjem ovaj period treba da iznosi 12 h.

TABELA I - Referentni uslovi i uslovi ispitivanja

Parametar	Referentni uslovi	Normalni uslovi (=ref.uslovi sa sledećim tolerancama)
Vreme zagrevanja	15 min.	/
Temp.ambijenta	20°C	± 2°C
Rel.vlažnost	65	± 10%
Atmosf.pritisak	1013 mbar	Izmeđju 860 i 1060 mbar
Napon napajanja	Nominalni	± 1%
Učestanost	Nominalna	± 2%
Tal.oblik naizm. naponu napajanja	Sinusoidalan	Ukupna harm.izobl. 5%
Jednosmerni napon napajanja	U ispitivanju	/
Spolj.gama zračenje	Manje od 20 $\mu\text{R}/\text{h}$	Manje od 25 $\mu\text{R}/\text{h}$
Spolj.el.magn. polje	Nula	Nema interferencije
Spolj.magn. indukcija	Zanemarljiva	Dvostruko manja od ind. zemnog magn.polja
Položaj	Jedan od norm. polož.korišć.	± 2°
Komande instrumenta	Postavljene za normalan rad	
Kontaminacija radioaktivnim elementima	Zanemarljiva	Ne može se detektovati

TABELA II

Vredn. parametra koji utiče na indikaciju	Dozv. granice promene indikacije	
Vreme zagrevanja 1 min. 3 min.	Prenosni instr. ± 25% ± 10%	Ostali instr. nema specifikacije
Temp. ambijenta	Inst. za laborat. upotrebu	Terenski instrum. (u obl. umerene klime)
Temperatura izmedju +10°C i +35°C -10°C i +40°C -25°C i +50°C	+ 10% - -	- ± 10% ± 50%
Mrežni napon napajanja		
Za napone izmedju U+10% i U-12%		+ 10%
Za merače i monitore alfa-kontaminacije Spoljašnje gama- zračenje 1 R/h		+ 25%
Za merače i monitore alfa-kontaminacije Spolj. beta-zračenje -beta-izvor od 0,1 mCi na rastojanju 5 cm		+ 25%

ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI MERENJA BETA, GAMA
KONTAMINACIJE POVRŠINA SA MONITORIMA
KOJI SE KORISTE U INSTITUTU "BORIS KIDRIČ" - VINČA

Đ.Ristić, M.Prokić, I.Mirić, P.Mirić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

U radu sa radioaktivnim materijalom često dolazi do kontaminacije bilo laboratorijskih predmeta ili aparatura, bilo odeće ili otkrivenih delova tela eksperimentatora. Ponekad se može dogoditi da se mora raditi u kontaminiranoj zoni ili sa kontaminiranim materijalom. Zbog toga je potrebno odrediti stepen kontaminacije odredjenim uredajima, a prema maksimalno dozvoljenim kontaminacijama. Za našu zemlju one su propisane ("Službeni list SFRJ", br.31/65), i kreću se, u zavisnosti od radiotoksičnosti izotopa, od $5 \times 10^{-6} \text{ mCi/cm}^2$ do 10^{-3} mCi/cm^2 .

U IBK se na određivanju stepena kontaminacije kontaminiranih površina najčešće koriste monitori zračenja MZ-1, AIRMEC, KOMO-T2 i TISS.

Sonde ovih monitora koje su namenjene merenju stepena beta i gama kontaminacije imaju kao detektore cilindrične GM brojače B-12 (MZ-1 i AIRMEC) i STS-6 (KOMO-T2 i TISS).

Brojač B-12 engleske proizvodnje je cilindričnog oblika, prečnika 3,5 cm, dužine 20 cm, izradjen od stakla debljine 30 - 35 mg/cm². Radni napon GM brojača je oko 1100V.

Brojač STS-6 je proizvodnje SSSR, cilindričnog oblika, prečnika 2,4 cm, dužine 13 cm, izradjen od metala čija je debljina 50 mg/cm². Radni napon GM brojača je oko 400V.

Sonde monitora MZ-1, KOMO-T2 i AIRMEC sadrže po jedan GM brojač, dok sonda monitora TISS ima u svom sastavu tri paralelno vezana GM brojača.

S obzirom da sonde monitora MZ-1, AIRMEC i KOMO-T2 imaju isti mehanički oblik, može se uzeti da karakteristike sondi zavise samo od tipa GM brojača. Zbog toga u daljem

tekstu sonde ne nose oznake monitora kome pripadaju, već GM brojača koji sadrže.

Za ispitivanje karakteristika sondi korišćeni su sledeći izotopi u prirodi: P^{32} , J^{131} , Cs^{137} , Co^{60} , Tl^{204} , Au^{198} i Fe^{59} . Aktivnost izvora bila je reda veličine maksimalno dozvoljenih nivoa i do 1000 puta veća. Izvori su izrađeni u obliku kvadratnih ploča dimenzija 20×20 cm na koje je homogeno nanet radioaktivni materijal. Homogenost nanošenja je proverena autoradiografski.

Cilj ispitivanja bio je da se definišu uslovi kontrole kontaminiranih površina i da se odredi uticaj prirode i energije emitera na pokazivanje monitora.

DEFINISANJE USLOVA MERENJA

Odlučeno je da se prilikom kontrolisanja kontaminiranih površina u IBK definiše konstantno rastojanje između otvora sonde i kontaminirane površine i da ono iznosi 1 cm. Ovo rastojanje je usvojeno kao najpogodnije, jer je sonda dovoljno blizu kontaminirane površine, a ne postoji opasnost od kontaminacije same sonde. Literaturni podaci pokazuju da ovo rastojanje preporučuju kao najpogodnije i neki strani autori.

Eksperimentalno je izvršeno ispitivanje zavisnosti odbroja sonde od veličine kontaminirane površine. Pri tome, dužina aktivne površine je bila konstantna, a menjana je samo njena širina. Zbog uslova eksperimenata ovo ispitivanje je vršeno samo sa beta-emiterima, odnosno sa beta-gama emiterima koji imaju mali prinos gama zračenja. Dobijeni rezultati (grafik 1) pokazuju da odbroj naglo raste sa povećanjem širine aktivne površine, sve dok je ona uža od dijametra sonde. Sa daljim povećanjem širine površine porast odbroja se smanjuje sve do oko 5 širina otvora sonde, a zatim postiže konstantnu vrednost.

Eksperimentalno je ispitana odbroj u funkciji vertikalnog rastojanja sonde od kontaminirane površine. Normirani rezultati prikazani su na graficima 2. i 3. Sa grafika se vidi da varijacija odbroja sa rastojanjem zavisi od vrste emitera i oblika izvora. Ukoliko se dimenzije izvora više približavaju tačkastom obliku, utoliko se varijacija odbroja sa rastojanjem pokorava $1/r^2$ zakonu, dok za beta-kontaminacije beskonačnih površina odbroj opada linearno sa rastojanjem. U slučaju beta-gama emitera, kod kojih se registrovanje, gama zračenja ne može zanemariti, promena odbroja sa rastojanjem

ne može se aproksimirati nijednim zakonom.

Ako se uzme u obzir da su maksimalno dozvoljeni nivoi kontaminacije izraženi u $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, opisani eksperimenti pokazuju da kalibracija monitora ima smisla samo pod uslovom ako je rastojanje kontaminirana površina - otvor sonde tačno definisano i ako je kontaminirana površina veća od 5-6 širina sonde, a duža od dužine sonde.

KALIBRACIJA MONITORA

Uspostavljanje veze izmedju aktivnosti kontaminirane površine ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$) i pokazivanja sonde (imp/sec) vršeno je pomoću izvora koji su mogli da se aproksimiraju kao beskonačne kontaminirane površine. Rezultati ovog merenja, prikazani na graficima 4, 5. i 6, pokazuju da je navedena veza za odredjeni izotop linearna. Ako se uporede prave koje prikazuju rezultate baždarenja monitora različitim beta emiterima, vidi se da sve imaju isti nagib, a da se u slučaju betagama emitera ovaj nagib menja (Au^{198} za sondu STS-6). Na osnovu rezultata prikazanih na graficima 5. i 6. dobijeno je da se promena osetljivosti sonde sa maksimalnom energijom beta zračenja može prikazati pravom (grafik 7) koja seče apscisu u tački približno 350 KeV-a. To znači da u slučaju beta emitera nižih energija monitor ne može da registruje kontaminacije površina manje od $10^{-3} \text{ mCi}/\text{cm}^2$.

Eksperimentalno je dobijeno da u ispitivanom opsegu kontaminacije monitor ne registruje Ca^{45} čija je maksimalna energija 250 KeV, a da registruje Co^{60} ($E_{\text{beta maks.}} = 0,3 \text{ MeV}$) samo preko gama zračenja. Računski se dobija da sonda STS-6 uopšte ne može da detektuje beta zračenje čija je maksimalna energija manja od 0,23 MeV, a da je za sondu B-12 granična maksimalna energija 0,17 MeV.

Rezultati dobijeni baždarenjem monitora sa izvorom $\text{Sr}^{90} - \text{Y}^{90}$ pokazuju da sonda STS-6 može da registruje samo kontaminacije veće od $10^{-4} \text{ mCi}/\text{cm}^2$.

ZAKLJUČAK

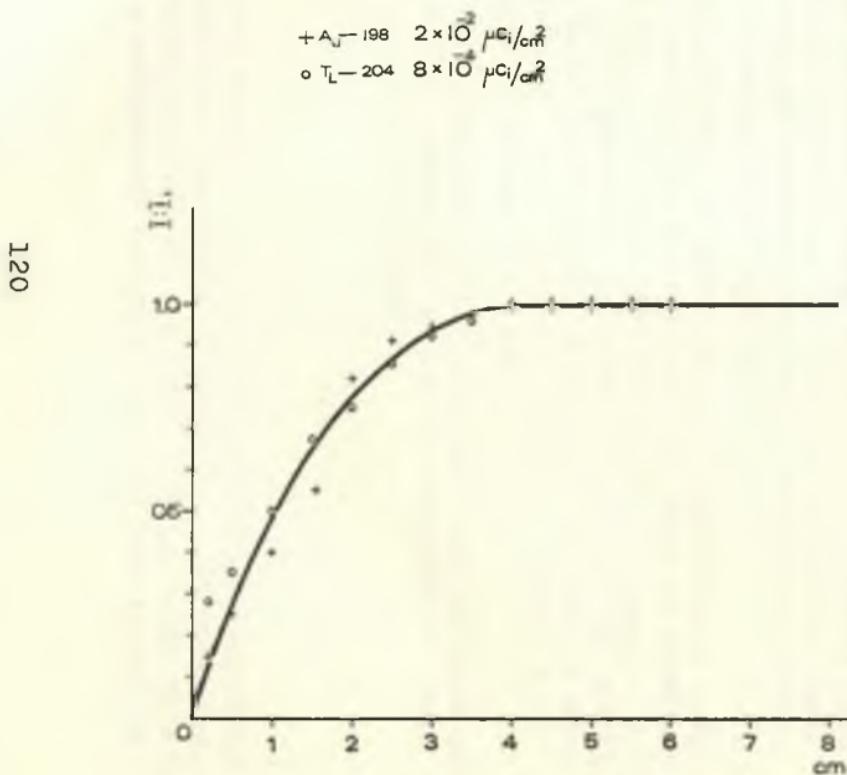
Monitori zračenja ne predstavljaju merne instrumente nego kontrolne, koji omogućavaju detekciju kontaminacije. Naša ispitivanja su pokazala da i u ovom slučaju treba voditi računa kolika je maksimalna energija beta emitera i kolika

je veličina kontaminirane površine, da bi se unapred moglo znati da li će monitor registrovati kontaminacije veće od maksimalno dozvoljenih.

Monitori zračenja mogu da se koriste za određivanje stepena kontaminacije pod uslovom da je:

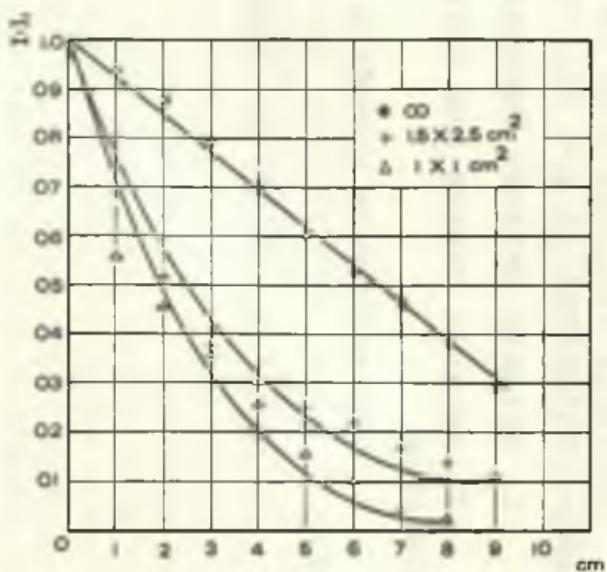
1. poznata priroda kontaminanta;
2. merenje vršeno pod dobro definisanim geometrijskim uslovima;
3. kontaminirana površina veća od površine otvora sonde, i
4. monitor kalibriran odgovarajućim izotopom.

ODBROJ SONDE STS-6 U FUNKCIJI ŠI-
RINE KONTAMINIRANE POVRŠINE

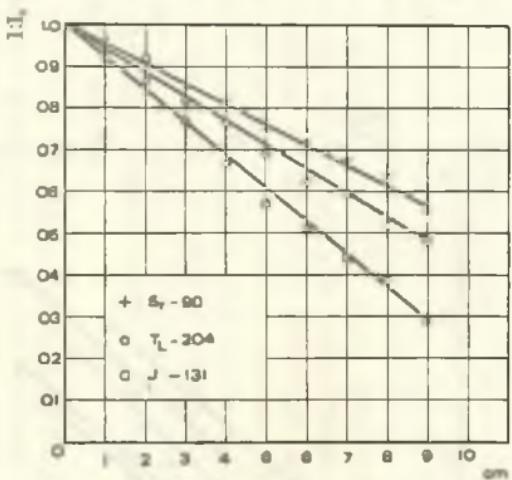


grafik 2

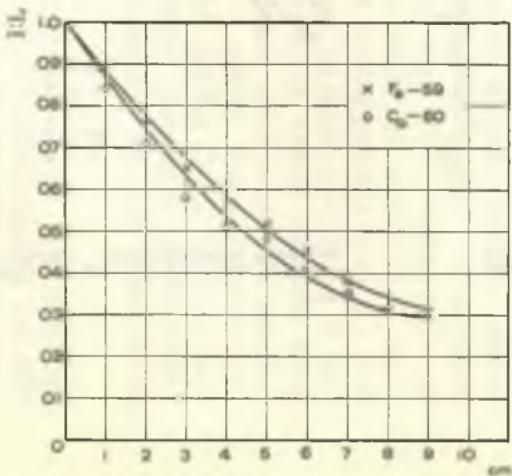
ODBROJ SONDE STS-6 ZA RAZLIČITE OB-
LIKE KONTAMINIRANE POVRŠINE



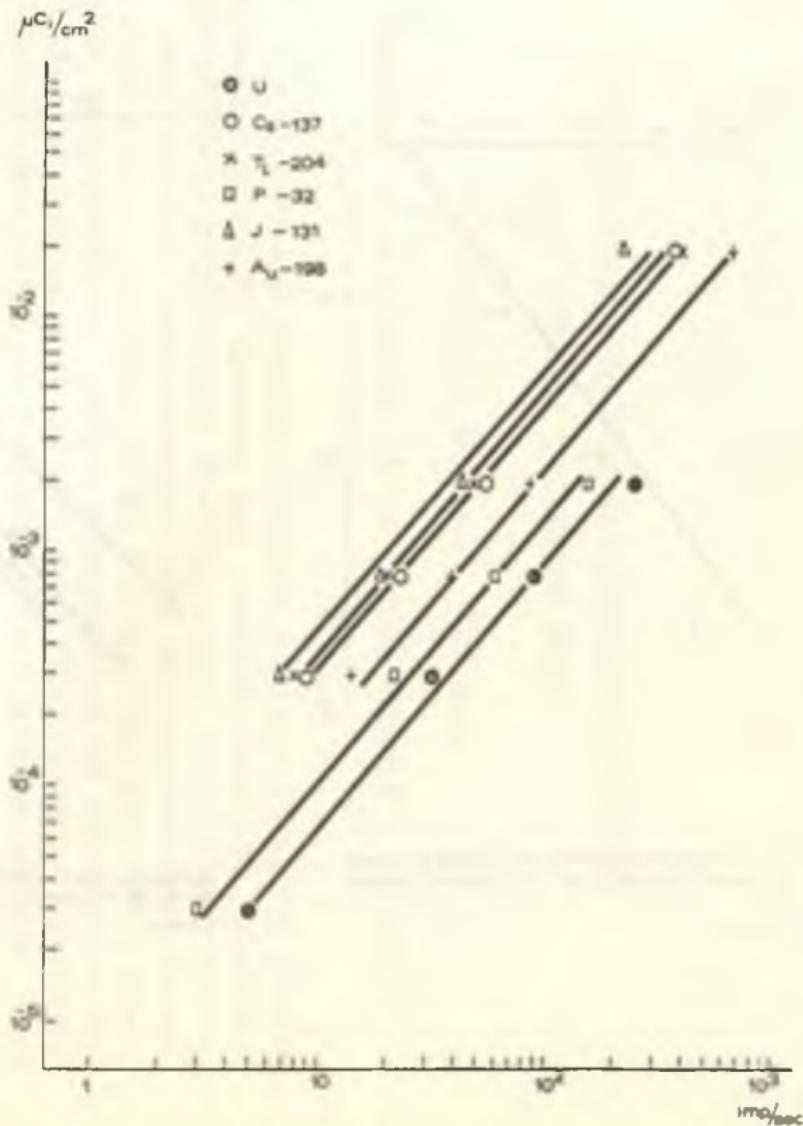
ODBROJ SONDE STS-6 U FUNKCIJI RASTO-JANJA SONDE OD KONTAMINIRANE POVRŠINE

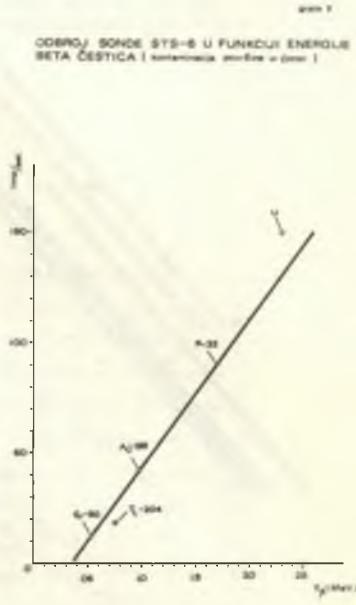
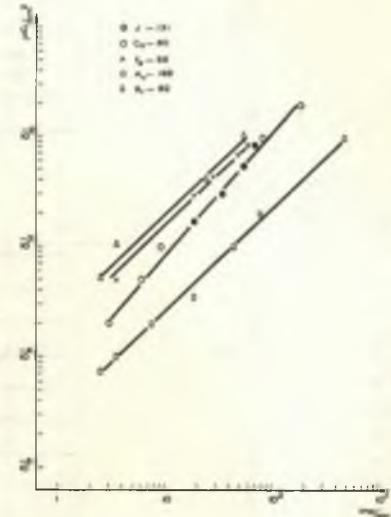
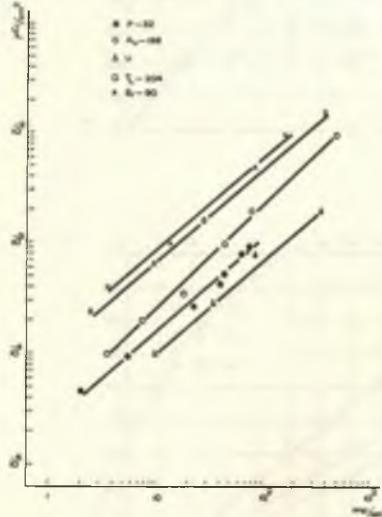


121



ODBROJ SONDE B-12 U FUNKCIJI BETA AKTIVNOSTI KONTAMINIRANE POVRŠINE





ISPITIVANJE STRUJNIH KARAKTERISTIKA KOMORE
PIŠTOLJ DOZIMETRA PD-2

Đ.Ristić, P.Mirić, I.Mirić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Za merenje stepena izloženosti radnih mesta jonizujućem zračenju u IBK, koriste se, izmedju ostalih, pištolj dozimetri PD-2, proizvodnje EI-Niš, pogon "Pionir". Provere rada i kalibracije instrumenata, koje se redovno vrše u našoj laboratoriji, pokazale su da svi pištolj dozimetri PD-2 pokazuju niže vrednosti jačine ekspozicije od stvarnih u pojima čija je jačina veća od 1,5 R/h. Zbog toga je izvršeno ispitivanje strujnih karakteristika ionizacione komore ovog dozimetra.

Ionizaciona komora je cilindričnog oblika, zapremine približno 1,7 lit., ispunjena vazduhom pod normalnim atmosferskim pritiskom. Prema podacima proizvodjača napravljena je od turbonita, čiji je srednji atomski broj blizak srednjem atomskom broju vazduha. Na čeonoj strani komore nalazi se folija od aluminijuma debljine 12 mg/cm^2 , što omogućava detekciju beta čestica energija preko 150 KeV. Folija je spojena sa unutrašnjom površinom komore koja je prevučena tankim slojem grafita radi obezbeđenja homogenosti polja. Centralna elektroda je izradjena od aluminijuma prečnika 8 mm i dužine 14 mm. Pri merenju gama zračenja čeona strana komore se prekriva poklopcom od aluminijuma debljine 300 mg/cm^2 . Skala instrumenta dozimetra je data u mR/h . Merno područje je podeljeno u četiri opsega: 0 do 15 mR/h ; 0 do 150 mR/h ; 0 do 1500 mR/h i 0 do 15000 mR/h . Prema podacima proizvođača greška pokazivanja instrumenta je manja od 10% punе vrednosti skale.

Za ispitivanje strujne karakteristike ionizacione komore korišćeni su zatvoreni izvori Co^{60} aktivnosti 86 mCi i 5,54 Ci. Ovim izvorima merene su strujne karakteristike ionizacione komore u opsegu jačina ekspozicije od 6,2 mR/h do 15 R/h . Ionizaciona komora je napajana jednosmernim

naponom iz anodne baterije koji je preko potenciometra mogao da se menja od 0 do 300 V. Za merenje struje ionizacije u komori korišćen je elektrometar 33C sa dinamičkim kondenzatorom B 33 C-2, proizvodnje "Electronic Instruments".

Da bi se dobila linearna veza izmedju struje ionizacije i jačine ekspozicije, potrebno je da ionizaciona komora radi u režimu struje saturacije. To je oblast u kojoj vrednost struje ne zavisi od manjih promena napona napajanja i zove se "plato". U toj oblasti pri jačinama ekspozicije do 15 R/h rekombinacija jona je zanemarljiva, pa je broj sakupljenih jona jednak broju jona koje zračenje oslobadja u osetljivoj zapremini komore.

Proizvodjač pištolj dozimetra PD-2 je za napajanje ionizacione komore usvojio radni napon od oko 70 V. Iz grafika 1. i 2. vidi se da ovaj radni napon može da obezbedi linearnost izmedju jačine ekspozicije i izmerene struje samo u poljima u kojima je jačina ekspozicije do 1,5 R/h. Za veće jačine ekspozicija (opseg 0 do 15 R/h) komora ne radi na "platou", pa se ne može ni očekivati ni linearna veza izmedju jačine ekspozicije i izmerene struje. Merenja su pokazala da su odstupanja izmerene vrednosti manja od 40% od stvarne vrednosti jačine ekspozicije.

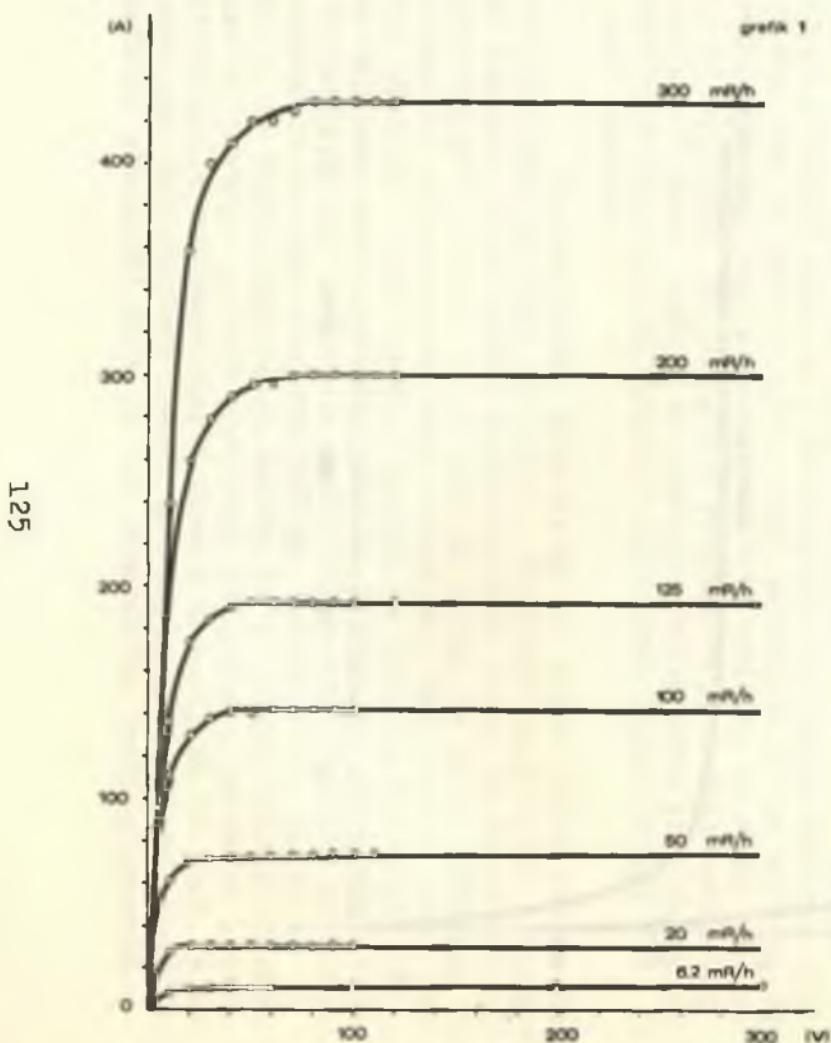
Uporedjenja radi, izmerene su strujne karakteristike za ionizacione komore ugradjene u pištolj dozimetre "Babylog" i "Tracerlab". Dobijene krive (grafik 3) pokazuju da se čak i za najveće predviđene jačine ekspozicija koje dozimetri treba da mere (a za njih su prikazane strujne karakteristike) radni naponi nalaze na potpuno ravnom delu "plata".

Na osnovu izloženog smatramo da bi pištolj dozimeter PD-2 trebalo preraditi tako da ionizaciona komora radi na većem radnom naponu, najmanje 300 V. U sadašnjoj izvedbi ovaj dozimetar može da se koristi samo za merenja jačina ekspozicija do 1,5 R/h.

10^{-13}

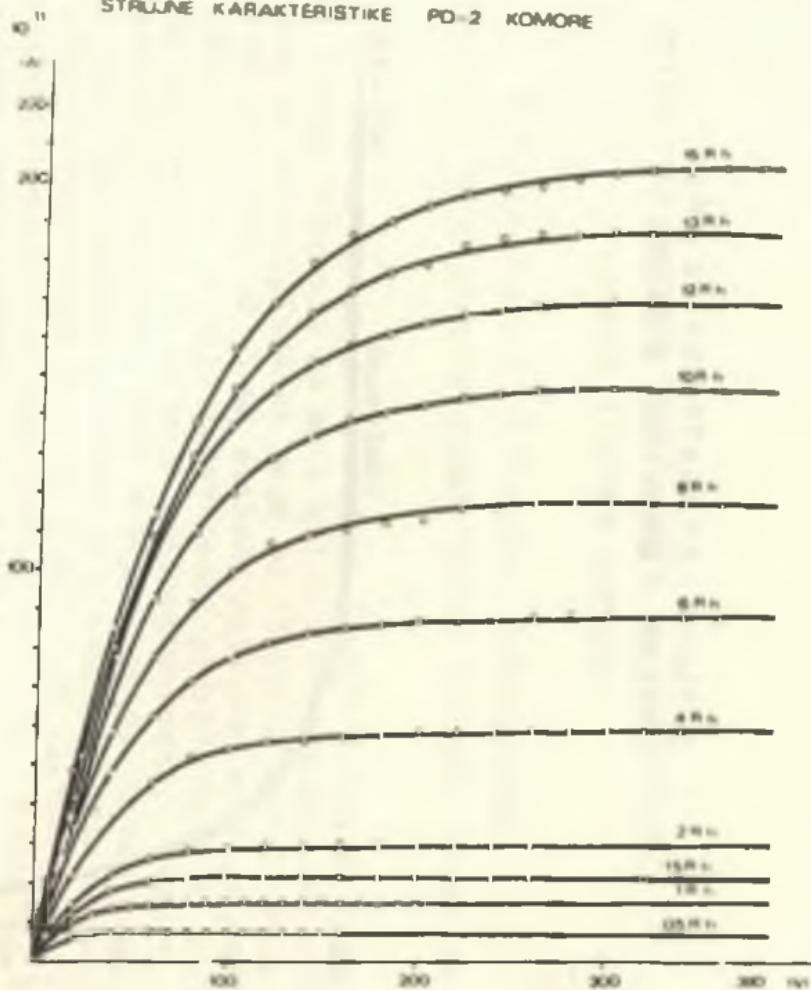
STRUJNE KARAKTERISTIKE PD-2 KOMORE

grafik 1

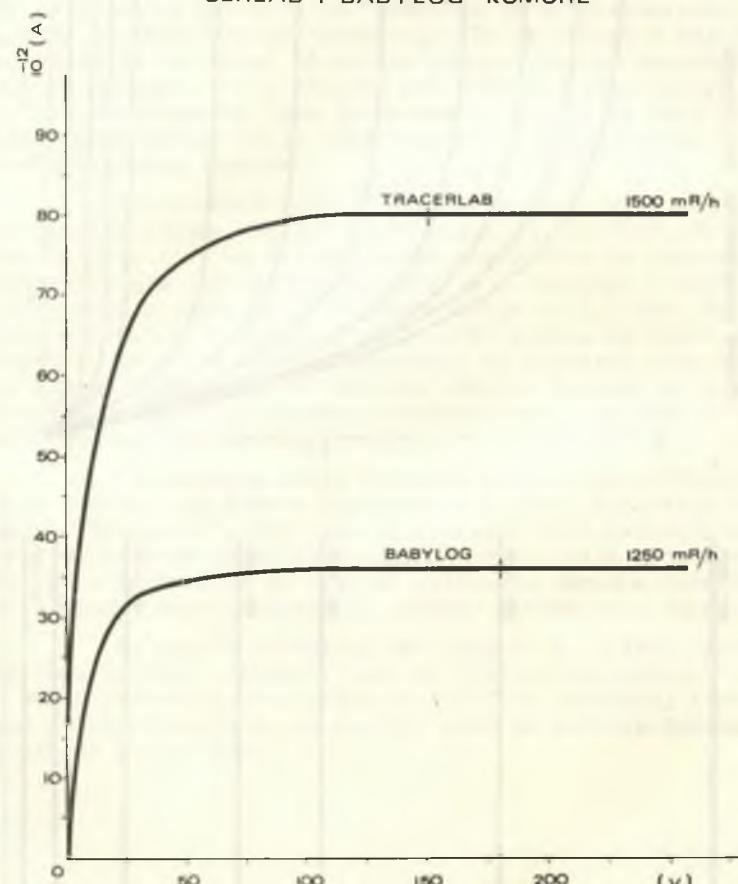


Grafik 2

STRUJNE KARAKTERISTIKE PD-2 KOMORE



STRUJNE KARAKTERISTIKE TRACERLAB I BABYLOG KOMORE



ETALONI ZA MERENJE UKUPNE BETA RADIOAKTIVNOSTI
UZORAKA ŽIVOTNE SREDINE

R.Radosavljević, T.Tasovac, M.Kovačević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Još uvek nam je u svežem sećanju duhovita primedba jednog kolege Francuza da su i dalje u Francuskoj najtačnija ona merenja radioaktivnosti koja je izvršila Marija Kiri. Sva ova merenja vršena su prema etalonu radijuma koji je napravljen 1911. godine, a koji istovremeno predstavlja i prvi medjunarodni etalon za merenje radioaktivnosti. Etalon je sadržavao 21,99 mg čiste soli radijumhlorida. Danas postoji veliki broj nacionalnih etalona, a u medjunarodnim razmrama o etalonima se brine poseban Komitet za elatone u okviru Medjunarodne komisije za radiološke jedinice i merenja. Eталoni ovakve vrste nazivaju se primarnim i čuvaju se kao i drugi primarni etaloni u nacionalnim ili medjunarodnim organizacijama za mere i težine radi sravnjivanja sa sekundarnim radioaktivnim etalonima. Sekundarni etaloni su radni etaloni i neposredno se koriste u radiometriji i radiohemijskoj praksi. U našoj zemlji ne postoji praksa sravnjivanja radioaktivnih etalona niti postoji odgovorna organizacija za tu vrstu poslova.

No, medjutim, pogledajmo sa radiološkog stanovišta etalone kako se mogu koristiti. Najčešće se koriste sekundarni etaloni. Njih obično distribuiraju birovi za standarde ili proizvodjači radioizotopa koji su dužni da se pridržavaju nacionalnih ili medjunarodnih standarda. Ima raznih vrsta takvih etalona. U radiološkoj praksi za potrebe kontrole okoline najčešće su u upotrebi etaloni brojanja. Oni predstavljaju radioaktivne preparate različitih radioaktivnih materija nanesenih na odgovarajuću podlogu (aluminijum, plastika i dr.). Za takve etalone se smatra da su dobro okarakterisani ako se poznaju njihova apsolutna aktivnost, površina i debљina sloja radioaktivnog i drugog materijala od koga je napravljen radioaktivni izvor. Za razliku od etalona, radioaktivni standardi daju se kao beskonačno tanki preparati

definisane brzine brojanja.

Relativna merenja mogućno je vršiti samo pod uslovom ako preparat za merenje po svim svojim osobinama odgovara etalonu, tj. ima istu energiju emitovanih čestica, istu debljinu i površinu kao etalon, jednak materijal podloge, isti položaj u odnosu na detektor itd. Za korišćenje takvih etalona nužno je imati uzorke napravljene po istom postupku kao i etaloni. Takvi uzorci se ne mogu uvek dobiti i merenja se ne mogu vršiti pod istim uslovima. Iz tog razloga se kao etaloni koriste rastvori radioaktivnih materijala sa nosačem, sa određenom količinom čistih soli ili drugih materijala. Jedan od vrlo važnih načina etaloniranja je metod unutrašnjeg standarda. Metod se sastoji u tome da se standard u obliku rastvora dodaje materijalu iste vrste kao uzorak koji se meri. Za takav etalon je važno da aktivnost bude ravnomerno raspoređena po čitavoj masi etalona zbog samoapsorpcije zračenja u materijalu, geometrijskih uslova merenja i dr. U nekim slučajevima mogu se koristiti i tzv. "punioci" koji čine neaktivnu masu i po svojim osobinama približavaju se ispitivanom preparatu.

Metod unutrašnjeg standarda dosta se koristi za pripremanje etalona za merenje ukupne beta aktivnosti prirodnih sistema (zemlja, rastinje, padavine, vode i drugih materijala).

Apsolutna beta radioaktivnost smeše fisionih produkata meri se na raznim uzorcima čije težine mogu da se kreću od nekoliko miligramma do nekoliko stotina miligramma ili više. Prilikom takvih merenja treba voditi računa da se smeša neprestano menja zbog radioaktivnog raspada pojedinih komponenti odnosno narušavanja izotopskog sastava smeše. Sastav smeše bitno zavisi od načina nastanka. Prinosi radio-nuklida se pri tome znatno menjaju, a poluvremena raspada kreću se u granicama od nekoliko sekundi do više godina. Etalon za kalibriranje ovde treba da zadovolji uslov da simulira emisiju beta čestica smeše fisionih produkata stare od nekoliko desetina sekundi do nekoliko dana i za period od sto dana do nekoliko godina.

Za ovakva merenja odnosno merenja totalne beta radioaktivnosti u uzorcima životne sredine kao etaloni se koriste Tl^{204} , K^{40} , Sr^{90} u ravnoteži sa Y^{90} , Cs^{137} i Co^{60} . Smatra se da oni dobro simuliraju srednju energiju beta čestica smeše fisionih produkata različite starosti.

EKSPERIMENTALNI DEO, REZULTATI I DISKUSIJA

Strogost zahteva u pogledu etalona i etaloniranja i raznobrojnost predloženih etalona za određivanje totalne beta radioaktivnosti u uzorcima životne sredine ukazuju da ovom problemu treba prilaziti obazrivo uzimajući u obzir sve posledice koje mogu nastati kod korišćenja ovog ili onog etalona. Imajući to u vidu postavili smo problem sa zadatkom da utvrdimo granice primenjivosti svakog pojedinog predloženog etalona koristeći onakav materijal kakav se sreće u kontroli životne sredine kod nas u IBK.

Pored hemijski čistih kalijumovih soli - KCl, K_2CrO_4 i K_2CO_3 (Merck-ovog stepena čistoće), za pripremanje etalona su korišćeni uzorci pepela nekoliko vrsta rastinja, uzorci mineralnog ostatka koji ostaje nakon pripremanja dužavske vode za merenje na ukupnu beta radioaktivnost, uzorci padavina, odnosno mineralnog ostatka ovih posle pripremanja za merenje i uzorci suvog depozita. Izuzev kalijumovih soli, metodom unutrašnjeg standarda napravljene su serije odgovarajućih etalona od 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300, 500 i 1000 mg, koje su zatim merene radi snimanja ukupnih efekata redukcije zračenja usled raznih fenomena, kao i radi određivanja totalne efikasnosti brojačkog uredjaja. S obzirom da je materijal "neaktivne komponente" etalona imao sopstveni fon zbog prisustva prirodnog K, fisionog materijala i dr., fon svih uzoraka je vrlo brižljivo određen i nakon toga se pristupilo etaloniranju. Od kalijumovih soli takodje su napravljene iste serije etalona i merena je aktivnost. Kao merni instrument korišćena je niskofonska beta antikoincidentna aparatura konstruisana u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič".

Na dijagramu 1. dat je pregled snimljenih krivih totalne efikasnosti korišćene aparature. Na apscisnu osu su nanešene težine etalona, a na ordinatnu totalne efikasnosti. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da izmedju kalijumovih soli postoje znatne razlike totalnih efikasnosti. Izmedju kalijumovih etalona i etalona Tl^{204} , Sr^{90} u ravnoteži sa Y^{90} , Cs^{137} i Co^{60} , takodje postoje vrlo velike razlike, a isto tako i izmedju ostalih etalona medju sobom. Iz prikazanih rezultata i krivih se takodje vidi da i vrsta inertnog materijala etalona igra značajnu ulogu, mada ove razlike nisu toliko izražene kao prethodne. U cilju da utvrdimo koji se od etalona najviše približava realnim uslovima, iskoristili smo aktivnosti originalnih uzorka

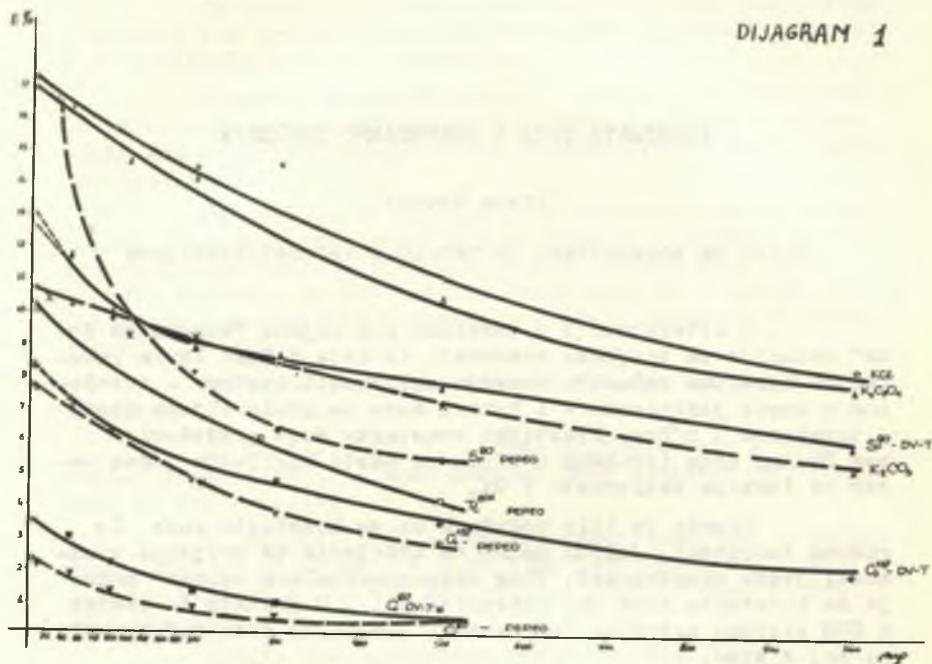
padavina i dunavske vode koje smo najpre sa zadovoljavajućom tačnošću merili u 2 pi metanskom protočnom brojaču i odredili im apsolutnu aktivnost, a zatim smo pod istim uslovima merili seriju etalona napravljenu od soli KCl. Uzorci padavina bili su različite starosti (1961-1966). Rezultati ovih merenja dati su na dijagramu 2.

Iz dobivenih rezultata se može videti da K^{40} u KCl i pored izvesnih odstupanja najadekvatnije odgovara realnim uzorcima.

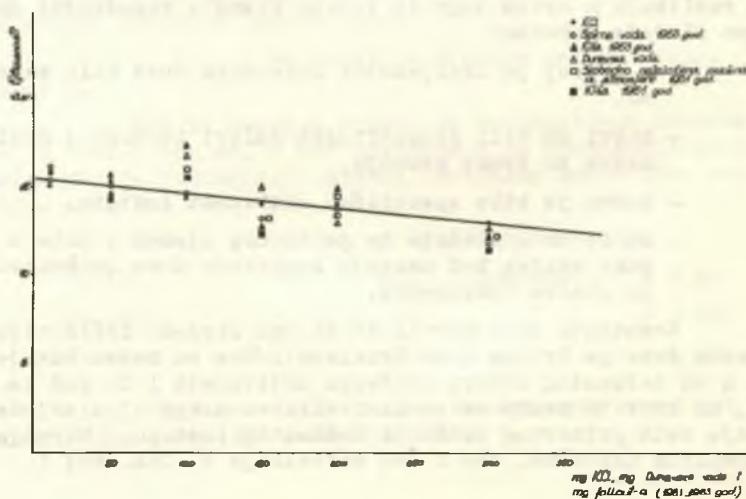
ZAKLJUČAK

Za merenje totalne beta radioaktivnosti uzorka životne sredine kod nas K^{40} u KCl je najrealniji etalon. Inertni materijal etalona mora se uzeti u obzir kod merenja. Konfrontiranje rezultata mogućno je samo prema istim etalonima.

DIJAGRAM 1



DIJAGRAM BR.2



KONSTANTA DOZE I SEKUNDARNO ZRAČENJE

Irena Hrovat

Zavod za zdravstveno in tehnično varnost, Ljubljana

U literaturi i u tabelama pod pojmom "konstanta doze" razumije se brojčana vrednost, iz koje možemo lakiom računom da izrazimo relaciju izmedju aktivnosti izotopa - izraženom u curie jedinicama - i brzine doze na proizvoljnom mestu - izraženom u r/čas. Praktički konstanta doze predstavlja nam brzinu doze izraženu u r/čas na mestu udaljenom jedan metar od izotopa aktivnosti 1 Ci.

Premda je bilo pokušaja da se konstanta doze Izračuna teoretski, jedini način za dobijanje te brojčane vrednosti jeste eksperiment. Zbog eksperimentalnih uslova nužno je da konstanta doze ima dimenziju $\frac{\text{Mr}}{\text{Ci} \cdot \text{h}}$. U slučaju da radimo u CGS sistemu potrebno je naknadno konstantu doze reducirati na taj sistem.

Te brojčane vrednosti u pojedinim tabelama se međusobno razlikuju a ostim toga iz tabela nismo u mogućnosti da nadjemo sledeće podatke:

- u kakvoj je udaljenosti konstanta doze bila merena,
- kakvi su bili geometrijski uslovi izotopa i dozimetra za vreme merenja,
- kakva je bila specifična aktivnost izotopa,
- da li su u slučaju da je izotop ujedno i beta i gama emiter kod merenja konstante doze obuhvaćene obadve komponente.

Konstanta doze morala bi da ima sledeću definiciju: Konstanta doze je brzina doze izražena r/čas na mestu udaljenom 1 m od tačkastog izvora zračenja aktivnosti 1 Ci pod uslovom, da kroz to mesto ne prolazi nikakvo drugo ionizujuće zračenje osim primarnog zračenja tačkastog izotopa. Merenje po normalnim uslovima, kao i kod definicije r. Dia. broj 1.

To znači da bi kroz ploštinu 1 cm^2 kod udaljenosti 1 metra i pod pravim kutom kod aktivnosti tačkastog izvora 1 Ci prolazilo $2,95 \cdot 10^5 \text{ imp}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$.

Obratno, konstanta doze 1 značila bi da kod izvora aktivnosti 1 Ci u udaljenosti 1 metra dobivamo u cm^3 vazduha kod normalnih uslova svake sekunde $2 \cdot 10^9$ jonskih parova. Dia. broj 2.

Osnovni uslov merenja je eliminacija sekundarnih zraka. Idealno bismo rešili taj problem sa u vazduhu obeseđenim tačkastim izvorom zračenja, što bi eliminiralo svaki kontakt zračenja sa ostalom materijom osim sa vazduhom. Nalost ta mogućnost iz poznatih razloga - opasnost od ozračivanja - otpada.

Kakve su još mogućnosti za eliminaciju sekundarnog zračenja?

A. Na dia. broj 3. vidimo improvizirano u vazduhu obešen izotop, tako da samo korisni snop zračenja prodire u salu za kalibracije.

B. Na dia. broj 4. vidimo izotop montiran u reflektor izradjen od C, Al, Cu i Pb a na isti način kao i u prijašnjem slučaju u salu za kalibracije prodire samo korisni snop zračenja.

Detalj tog reflektora vidimo na dia. broj 5. Iz slike vidi se smisao pojedinih slojeva. U težim se elementima stvara više sekundarnog zračenja, a laci elementi to sekundarno zračenje absorbiraju.

C. Izotop se nalazi u olovnom defektoskopu. Dia broj 6.

Sva su merenja vršena sa jonizacionom komorom dimenzija $1000 \times 600 \text{ mm}$, a kao instrument za prenalaženje doze služila nam je ionizaciona komora centralne simetrije volumena 3000 cm^3 . Dia broj 7.

Rad je bio vršen sa sledećim izotopima:

Co-60	230	mCi	dimenzije	2 x 2 mm
Cs-137	2,05	Ci	"	$\varnothing 4 \text{ mm}$
Co-60	10	mCi	"	1 x 1 mm

Kod tipova eliminacije sekundarnih zraka pod A i B dobili smo praktički iste vrednosti:

	Izotop	I_{γ}
Tip A	Co-60	1,41
	Cs-137	0,42
Tip B	Co-60	1,40
	Cs-137	0,41

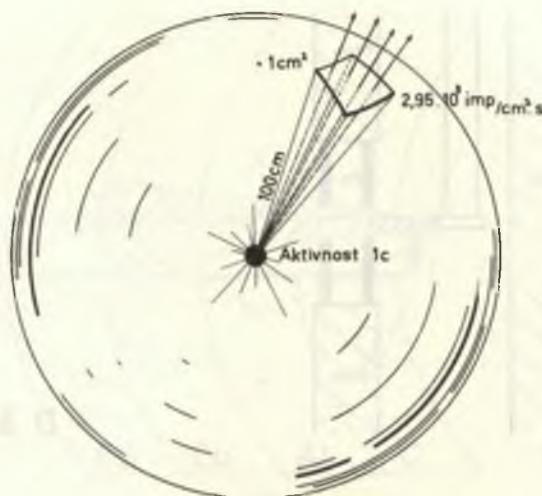
Ostala merenja bila su vršena sa defektoskopom u sobi bez eliminacije sekundarnih zraka. Dia. broj 8.

Dimenzija sobe	5 x 5	3 x 3
	I_{γ}	I_{γ}
Co-60	1,50	1,62
	1,58	2,1
	1,70	3 m
	2,0	4 m

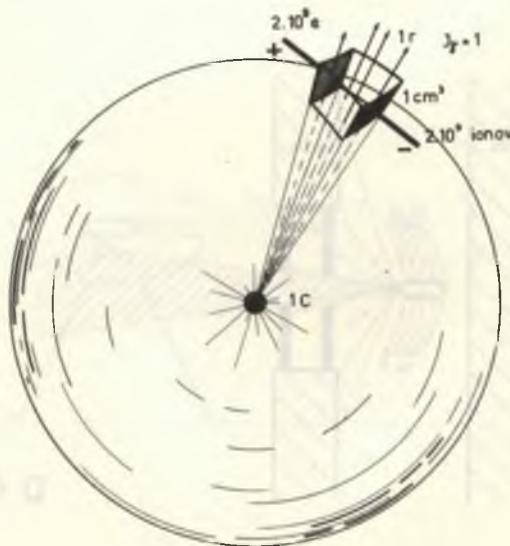
Mnogo se puta rade kalibracije jednostavno tako da se izvadi izotop manje aktivnosti iz kontejnera, stavi ga se na radni stol, i kalibriše instrument. Ta su merenja vršena sa izotopom Co-60 aktivnosti 10 mCi u hodniku dužine 30 m i dala su sledeće rezultate. Dia. broj 9.

Udaljenost	I_{γ}
1 m	1,59
2 m	1,52
3 m	1,47
4 m	1,45

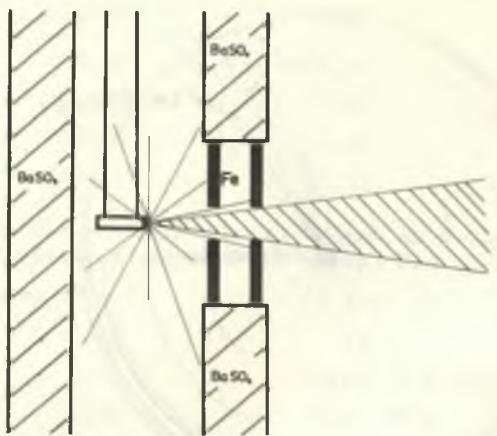
Najveća merna greška kod ovih merenja dobiva se zbog energetske osetljivosti ionizacione komore sa centralnom simetrijom. Relativna greška ne prelazi 1,5%.



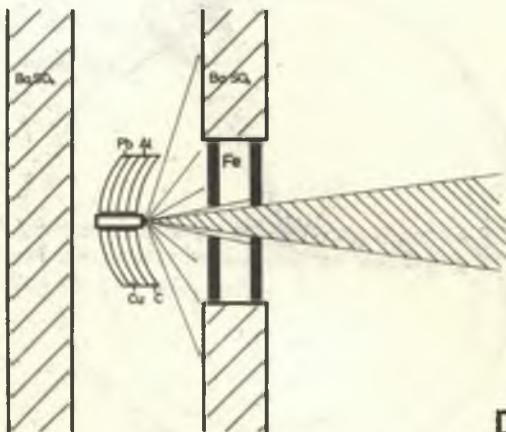
D 1



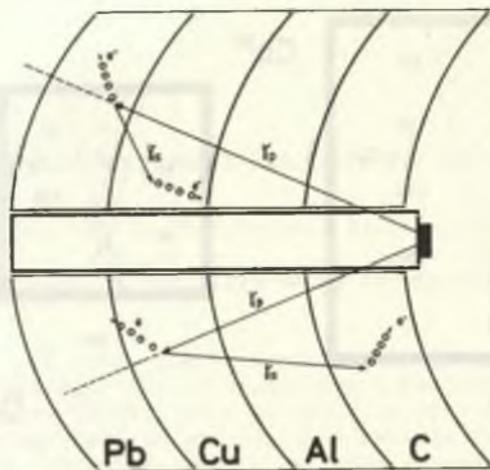
D 2



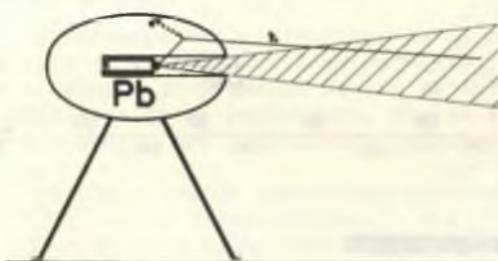
D 3



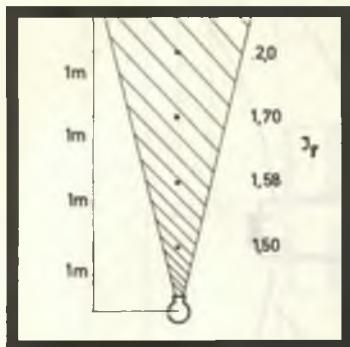
D 4



D 5

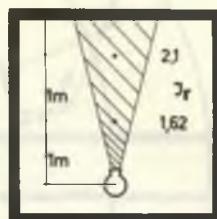


D 6



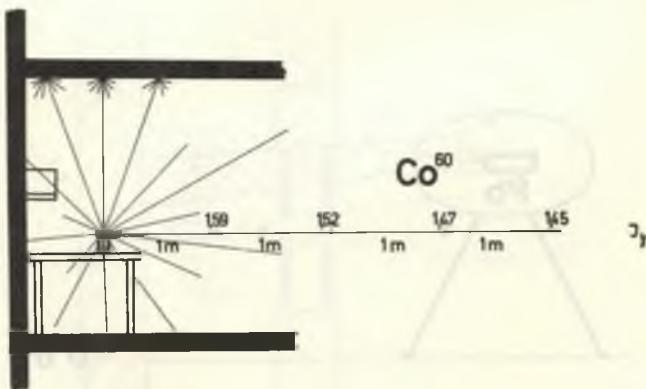
5 x 5 m

Co^{60}



3 x 3 m

D 8



D 9

APSOLUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOG RASTVORA ^{60}Co

D.Paligorić, Dj. Bek-Uzarov, Lj.Dobrilović i K.Buraei

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

U 1963. godini organizovana je prva medjunarodna interkomparacija ^{60}Co , u organizaciji Medjunarodnog biroa za mere i tegove (BIPM), koja je imala za cilj da uporedi merne tehnike uporedjivanjem rezultata merenja istih čvrstih izvora u raznim laboratorijama, a sa druge strane, merenjem radioaktivnog rastvora, da se ispitaju greške koje potiču od pripremanja radioaktivnih izvora za merenje. Rezultati ove interkomparacije, u kojoj je učestvovalo 20 laboratorijskih pokazala su da se dobijaju dobra slaganja kod čvrstih izvora (u 95 % slučajeva slaganje je bilo bolje od 0,6%), dok su rezultati merenja specifične aktivnosti rastvora pokazali veće rasturanje i mogli su se grupisati u dve grupe koje su se izmedju sebe razlikovale za 0,6% (1). Analizirajući ove rezultate BIPM je došao do zaključka da je do ovog grupisanja rezultata došlo usled primene dva različita postupka pri odmeravanju alikvota rastvora za izvore.

Interkomparacija organizovana maja 1967. godine imala je za cilj da se ispita uticaj razblaženja radioaktivnog rastvora i tehnike pripremanja izvora na tačnost merenja. Zato je BIPM predložio da se primenjuju, što je moguće više, isti tretmani i postupci pri razblaženju rastvora i pripremanju izvora.

Za odredjivanje specifične aktivnosti radioaktivnog rastvora ^{60}Co u ovoj interkomparaciji sve laboratorijske prime-nile su 4π beta-gama koincidentnu metodu, koja predstavlja najprecizniju metodu za apsolutna merenja onih izotopa koji imaju pogodnu šemu raspada u koje spada i ^{60}Co .

U ovom radu dat je pregled postignutih rezultata u merenju specifične aktivnosti 4π beta-gama koincidentnom metodom u Odeljenju metrologije radioaktivnih izotopa Instituta "Boris Kidrič".

APARATURA

Korišćena je 4π beta-gama koincidentna aparatura u kojoj je beta detektor 4π beta proporcionalni brojač sa protokom tehničkog metana na atmosferskom pritisku. Dužina platoa iznosi 400 V sa nagibom od 0,1% na 100 V. Minimalna detektabilna energija beta čestica je oko 0,1 KeV, a osnovna aktivnost oko 2 imp/s. Efikasnost beta detektora na gama zračenje iznosi 2,48%.

Kao gama detektor služe dva kristala NaJ (Tl) dimenzija 100 x 60 mm vezana paralelno, čime je postignuta efikasnost, za interval energije od 930-1440 KeV, od 9,5%. Osnovna aktivnost pri ovim uslovima iznosi 15 imp/s.

Mrtvo vreme aparature, tj. beta, gama i koincidentne grane, određeno metodom "kratkoživećeg izotopa" (2) sa $In-116$ $T_{1/2} = 54$ min., iznosi: $\tau_p = (6,78 \pm 0,01)$ μs , $\tau_g = (7,2 \pm 0,1)$ μs , i $\tau_c = (26,4 \pm 0,5)$ μs .

Vreme razlaganja koincidentnog uredjaja, τ_c , određeno je metodom dva nezavisna izvora (3) i iznosi $(1,765 \pm 0,035)$ μs .

PRIPREMANJE UZORAKA

Za pripremanje uzoraka za merenje korišćena su dva rastvora specifične aktivnosti $\sim 3,5/\mu Ci/gr$ i $\sim 70/\mu Ci/gr$ rastvora ^{60}Co sledećih karakteristika: $100/\mu gr CoCl_2 \cdot 6H_2O$ u 1 gr 0,1 N HCl.

Da bi se razdvojile greške koje potiču od razblaženja rastvora od grešaka učinjenih pri pripremanju izvora za merenje kao i uticaj primene različitih tretmana, od rastvora veće specifične aktivnosti napravljena su četiri razblaženja, a od rastvora manje specifične aktivnosti dve serije izvora: jedna bez tretmana a druga sa tretmanom.

Rastvor veće specifične aktivnosti razblažen je 20 puta sa razblaživačem istog hemijskog sastava kao i osnovni rastvor. Za sva četiri razblaženja korišćene su iste količine aktivnog ($\sim 0,5$ gr) i neaktivnog ($\sim 9,5$ gr) rastvora i vršeno razblaženje pod potpuno identičnim uslovima.

Za odmeravanje razblaživača korišćena je semimikro vaga tipa Mettler-B6, a aktivni rastvor kao i alikvoti za izvore odmeravani su na mikro vagi tipa Mettler-M5.

Od četiri razblažena rastvora kao i od rastvora manje specifične aktivnosti napravljene su serije od po deset izvora sa tretmanom. Tretman je bio sledeći: podloge izvora debljine $40-50 \mu\text{gr}/\text{cm}^2$ tretirane su razblaženim insulinom od 40 IJ u odnosu 1:20 a zatim odmeravani približno isti alikvoti aktivnog rastvora ($\sim 30 \text{ mgr}$) i sporo sušeni pod infra crvenom lampom. Pošto se ^{60}Co nalazio u obliku kobalthlorida koji je higroskopan, izvori su rastvoreni sa bdestilovanom vodom i držani u atmosferi amonijama oko 10 min, a zatim ponovo sušeni pod infra crvenom lampom. Na taj način kobalt je bio preveden u hemijski oblik kobalt heksamin hlorid koji nije higroskopan. Zatim, izvori se pokrivaju metalizovanom folijom od VINS smole zbog dobijanja provodnog sloja po čitavoj površini izvora. Ovako dobijeni izvori imali su dijametar 6-7 mm a debljine $30-70 \mu\text{gr}/\text{cm}^2$.

Od rastvora manje specifične aktivnosti napravljena je jedna serija od 10 izvora bez tretmana, prostim nakapavanjem alikvota aktivnog rastvora na podlogu i upravljanjem pod infra crvenom lampom.

Svi izvori posle sušenja i pokrivanja čuvani su u eksikatoru.

Određivanje specifične aktivnosti rastvora ^{60}Co

4 beta-gama koincidentnom metodom

Za izračunavanje specifične aktivnosti radioaktivnog rastvora ^{60}Co korišćene su formule koje je preporučio u ovoj interkomparaciji BIPM (4).

Specifična aktivnost radioaktivnog rastvora, R_{di} , na osnovu merenja radioaktivnosti izvora \underline{di} data je sledećim izrazom:

$$R_{di} = \frac{M \cdot K}{(1+K_e) \cdot D} \cdot \frac{\lambda}{m \cdot t} (\text{s}^{-1} \text{mg}^{-1}) \quad /1/.$$

gde je:

$$M = \frac{(N_\beta - B_\beta t/t_B) (N_\gamma - B_\gamma t/t_B)}{N_c - B_c t/t_B} \quad /2/$$

M - broj dezintegracija u vremenu t korigovan samo za osnovnu aktivnost; N_β , N_γ i N_c su odbroji u vremenu t beta, gama i koincidentne grane, a B_β , B_γ i B_c odgovarajuće

osnovne aktivnosti u vremenu t_B ;

Kr - korekcioni faktor za vreme razlaganja koincidencije;

D - korekcioni faktor za uticaj mrtvog vremena beta, gama i koincidentne grane;

λ - korekcioni faktor za radioaktivni raspad;

m - masa radioaktivnog rastvora odmerenog za izvor u mgr;

l + Ke - korekcioni faktor za šemu raspada.

Za određivanje specifične aktivnosti, R_{di} , po jednačini (1) svaki izvor meren je šest puta u vremenu $t=1000$ sec, a osnovna aktivnost u vremenu $t_B = 10000$ sec. Za vrednosti M u jednačini (1) korišćena je srednja vrednost od šest nezavisnih merenja jednog izvora.

Svi ostali korekcioni faktori Kr, D i λ određeni su posebno za svaki izvor.

Korekcioni faktor Ke koji zavisi od efikasnosti beta detektora (koja može da bude manja od 100% zbog samoapsorpcije, apsorpcije i dr.) određuje se za svaki izvor posebno.

Vrednosti ovih korekcija za jedan izvor iz jedne od serija dat je u Tabeli I.

Tabela I. Podaci za izračunavanje R_{di}

M	Kr	l+kE	D	λ	m t	$R_{di} (s^{-1}mg^{-1})$
7949732	1,01576	1,00154	1,00793	1,022372	58578	139,612

Kako se vidi iz tabele, svi korekcioni faktori, ne uzimajući u obzir faktor za radioaktivni raspad, imaju mali uticaj na vrednosti R_{di} , što ukazuje da tačnost u određivanju R_{di} uglavnom zavisi od tačnosti određivanja vrednosti M.

Rezultati merenja i greške u određivanju specifične aktivnosti rastvora ^{60}Co

Pošto postoji veliko neslaganje u interpretaciji grešaka kod merenja radioaktivnih izvora, BIPM je, radi uniformnog predstavljanja rezultata, predložio da se posebno razmatraju

sistematske od statističkih grešaka i da se one ni na koji način međusobno ne kombinuju.

Cilj odredjivanja specifične aktivnosti slabijeg rastvora bio je da se ispita koju preciznost danas moguće postići u merenju specifične aktivnosti, a merenjem jačeg rastvora da se ispita i uticaj razblaženja. Zato su za slabiji rastvor odredjene i sistematske i statističke greške posebno, a za jači rastvor samo statističke greške.

Pri interpretaciji rezultata merenja rastvora veće specifične aktivnosti uzimaju se u obzir samo statističke greške, jer se pogodnim razblaženjem postiže da specifična aktivnost razblaženog rastvora bude približno jednaka specifičnoj aktivnosti slabijeg rastvora.

Za šest nezavisnih merenja jednog izvora u vremenu $t = 1000$ sec, statističko rasturanje rezultata od srednje vrednosti M iznosi $0,03\%$, a rasturanje rezultata od srednje vrednosti za 10 izvora jedne serije (gde se pod serijom podrazumeva 10 izvora od jednog razblaženja ili 10 izvora od slabijeg rastvora) iznosi $0,07\%$.

Srednja vrednost specifične aktivnosti jačeg rastvora od četiri nezavisna razblaženja, tj. za četiri serije od 10 izvora iznosi $0,03\%$. Ukupna sistematska greška merenja jednog izvora, dobijena kao kvadratni koren iz zbiru kvadra ta nezavisnih grešaka u određivanju pojedinih korekcionih faktora, iznosi $0,06\%$. Ovako mala sistematska greška je razumljiva s obzirom da su korekcije kod beta-gama koincidentne metode male, što i omogućava da se ovom metodom mogu postići ovako precizna merenja.

Prema izveštaju BIPM (5) u kome su objavljeni rezultati 25 laboratorijskih kojih su učestvovali u ovoj interkomparaciji za pravu vrednost specifične aktivnosti slabijeg rastvora uzeta je srednja vrednost 21 laboratorija, a za vrednost specifične aktivnosti jačeg rastvora srednja vrednost 23 laboratorijske. Ovde su uzete u obzir i naše vrednosti za oba rastvora, koji su od srednje vrednosti (deklarisane za pravu vrednost) niže $0,22\%$ za slabiji i $0,55\%$ za jači rastvor. Razlika najveće i najniže vrednosti uzete u obzir pri dobijanju srednje vrednosti iznosi $0,96\%$ i $1,62\%$ za slabiji i jači rastvor respektivno.

LITERATURA

1. BIPM - PANEL MEETING - Discussion of four international comparisons of radionuclide solutions organized by the BIPM (1967).
2. Campion P.J.: IJARI, 4, pp.232 (1959).
3. Snell H.: Nuclear Instruments and their Uses; Vol.1, I.W.May and Sons, Inc., New York-London (1962).
4. BIPM - International Comparison of Dilution and Source Preparation Methods by Means of ^{60}Co , April 1967.
5. BIPM - Report on the International Comparison of Dilution and Source Preparation Methods by Means of ^{60}Co , Part I: Results of the Individual Laboratories (1967).

ZRAČNO EKVIVALENTNA JONIZACIONA KOMORA SA CENTRALNOM
SIMETRIJOM I MOGUĆNOSTI NJENE UPOTREBE KAO STANDARDA
KOD DOZIMETRIJSKIH MERENJA

Marjan Sterle

Zavod za zdravstveno in tehnično varnost, Ljubljana

Standardno ili apsolutno merenje znači merenje po fizičkoj definiciji. Jedinica doze zračenja - jedan rentgen definisana je kao električni naboј jedne apsolutno elektro-statičke jedinice koji nastaje zbog dejstva zračenja u jednom kubičnom centimetru suhog zraka kod 0°C i tlaku 760 mm Hg.

Apsolutno merenje doze zračenja predstavlja zahtev za jedan dosta komplikirani uredjaj. Na dia. broj 1 vidimo shemu takvog merenja, a na dia. broj 2, 3. i 4. praktično uredjenje takve kalibracione sale. Razumljivo je da moramo kod takvog merenja imati već izvršena apsolutna merenja sledećih fizičkih veličina:

- kapacitivnost kondenzatora
- napona istosmerne struje
- vlažnosti zraka
- temperature zraka
- zračnog tlaka
- dimenzija blendi i elektroda.

Pošto se u našoj zemlji upravno kontrolišu samo u-tezi, volumni i plemeniti metali, vidimo da smo od apsolutne dozimetrije kod nas još daleko. Ali ako smatramo da je Rhode-Schwartz-ov C-metar tačan, ako smatramo da je ista situacija sa "Iskrinim" V-metrom, sa podacima hidrometeorološke službe i sa našim šublerima i mikrometrima, onda možemo problem apsolutne dozimetrije smatrati kod nas kao rešen problem. Kod takvog merenja neophodno je imati i ionizacionu komoru koja služi za prenašanje doze. Osnovni zahtev koji stavljamo na takvu komoru da bude izradjena iz zračno ekvivalent-

tne mase i da ima visok stepen reproducibiliteta.

Pošto je usvojena tehnologija izrade takve komore, odmah si postavljamo pitanje dali bi takva komora mogla služiti ne kao statička integraciona komora nego kao dinamička komora koja bi naporedno vezana sa baterijom i galvanometrom mogla da služi kod jačih izvora zračenja kao standard kod merenja brzina doze. Dia. broj 5.

Kakve bi bile ugodnosti takvog merenja?

- galvanometar je precizan instrument izradjen i kalibriran u zemlji, gde su pitanja metrologije rešena,
- praktički možemo smatrati da svaka laboratorija ili klinika raspolaže barem sa jednom galvanometrom,
- takva se merenja vrše i onako samo periodički, i to po pravilu u laboratoriji, tako da otpadaju velike greške zbog klimatskih razloga.

Odmah da odgovorimo na pitanje kakve bi brzine doze mogle da se mere takvom komorom sa direktnim očitavanjem na galvanometru. Normalna je osetljivost kvalitetnog galvanometra $10^{-10} A$. Na dia. broj 6. vidimo takav izračun. Znači, jedinica skale na galvanometru znači nam kod volumena ionizacione komore 1 cm^3 od otprilike 1000 r/h . Merenja smo vršili na ionizacionim komorama triju dimenzija, 1000 cm^3 , 100 cm^3 i 20 cm^3 . Dia. broj 7. Na dia. broj 8. vidimo područje doza koje bismo mogli pojedinim komorama da merimo, pod postavkom da ima galvanometar sto škalnih delića.

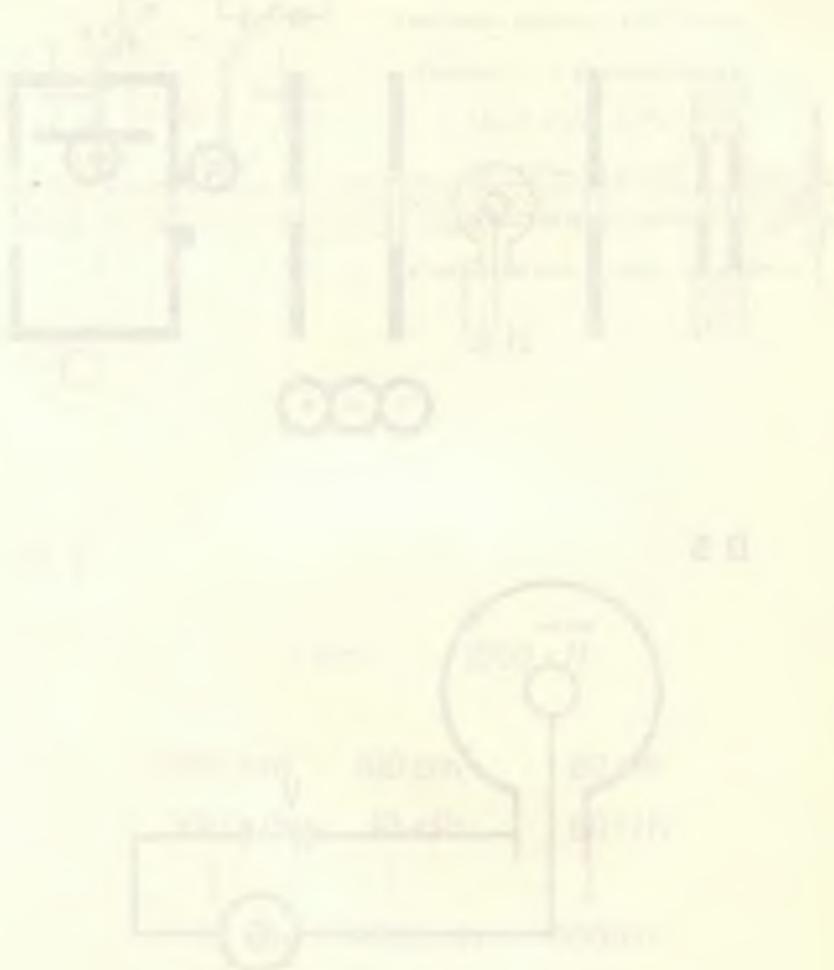
Proveravati je bilo potrebno sledeće:

- napon baterije, kod koje dobivamo struju zasićenja,
- zavisnost dimenzije komore i registrirane brzine doze (zbog dosega sekundarnih elektrona),
- eventualni manjak zračnih molekula kod male komore i vrlo velikih brzina doza.

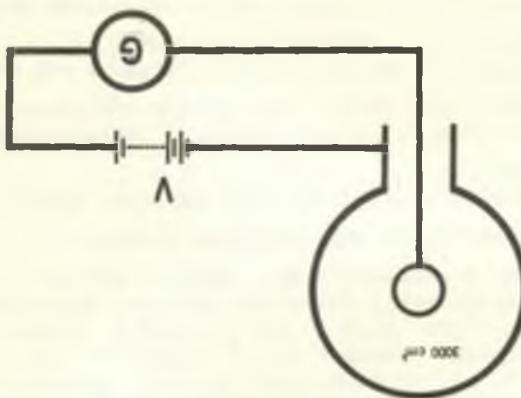
Na dia. broj 9. vidimo zavisnost napona baterije i struju zasićenja. Kao što iz dijagrama vidimo, dovoljna nam je baterija sa naponom 60 V.

Na dia. broj 10. vidimo procentualnu zavisnost registrirane doze od energije zračenja.

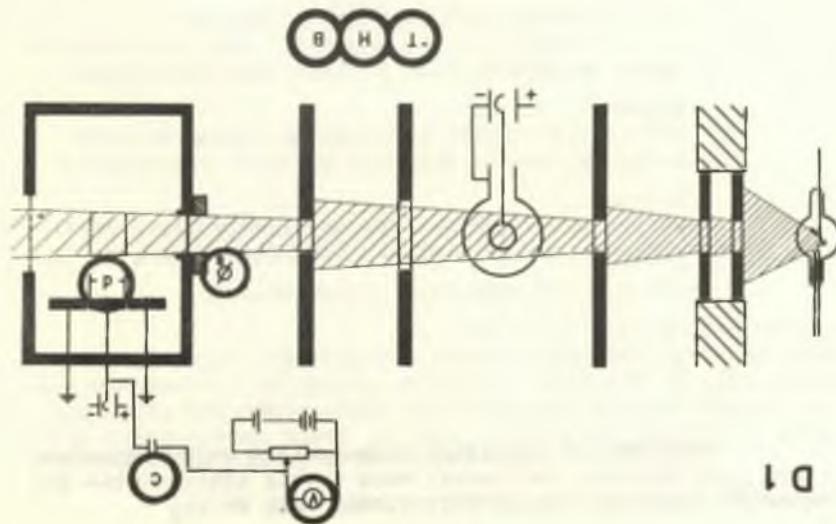
Što se tiče eventualnog manjka vazdušnih molekula kod vrlo velikih brzina doze iznosi red veličine 10^{10} r/s. Eksperimentalno proveravanje praktički je nemoguće.



148

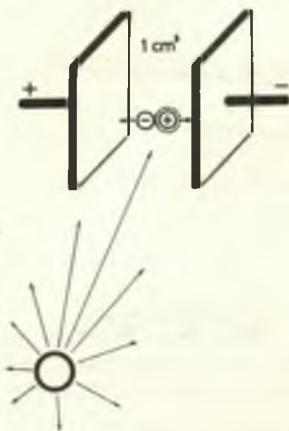


D 5



D 1

D 6



$$1 \text{ cm}^3 \text{ zraka} = 0,001293 \text{ g} = 2,7 \cdot 10^{22} \text{ molekul}$$

$$1 \text{ ese/cm} = 1 \text{ r} = 2 \cdot 10^4 \text{ ioniziranih molekul}$$

$$1 \text{ As} = 3 \cdot 10^9 \text{ ese} = 6 \cdot 10^{13} \text{ e}$$

$$1 \text{ A} = 3 \cdot 10^9 \text{ ese/s} = 6 \cdot 10^{13} \text{ e/s}$$

$$10^{10} \text{ A} = 3 \cdot 10^9 \text{ ese/s} = 6 \cdot 10^{13} \text{ e/s}$$

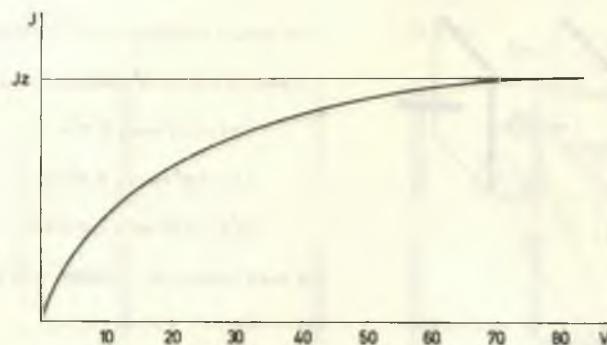
$$3 \cdot 10^7 \text{ ese/s} \rightarrow 300 \text{ mr/s} = 1080000 \text{ mr/h} \approx 1000 \text{ r/h}$$

D 8

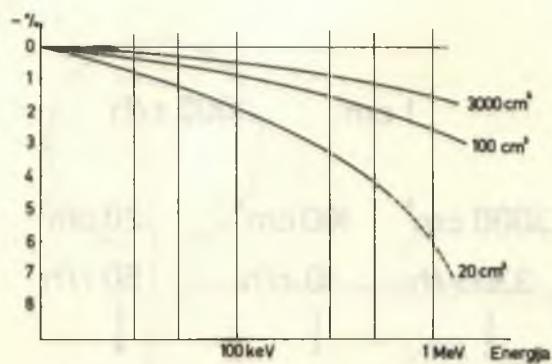
$$1 \text{ cm}^3 \quad 1000 \text{ r/h}$$

3000 cm^3	100 cm^3	20 cm^3
330 r/h	10 r/h	50 r/h
\downarrow	\downarrow	\downarrow
33 r/h	1000 r/h	5000 r/h

D 9



D 10



ORIJENTACIONI SISTEM U POLJU NUKLEARNOG ZRAČENJA*

Bela J.Kovač, Karlo D.Djantar

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

U radu sa radioaktivnim izvorima često postoji potreba da se odredi smer zračenja. To je naročito potrebno u slučaju akcidenata sa radioaktivnim izvorima, kada je potrebno odrediti optimalan pravac za kretanje ka ili od izvora.

U slučaju većeg broja tačkastih izvora zračenja, ili u slučaju zračenja iz prostorno razvučenih izvora, rezultat za određivanje optimalnog smera kretanja se dobijao vektorskom snalizom rezultata merenih intenziteta zračenja sa pojedinih izvora /1/.

2. ORIJENTACIONI SISTEM U POLJU NUKLEARNOG ZRAČENJA SA VIŠE DETEKTORA

2.1. Princip orijentacije sa čulom sluha

Ako posmatramo prirodnu konstituciju organa čula sluha na glavi živog bića, vidimo da glava deli ta dva organa čula tako da svako uho prima zvuk iz oko 2π prostornog ugla nesmetano, dok zvuk koji dopire iz domena suprotnog uha proizvodi slabiji intenzitet nadražaja. Okretanjem glave možemo izravnati taj intenzitet nadražaja tako da sa obe strane bude jednak. Ovo pravilo važi i u slučaju kombinovanih izvora zvuka, jer ma kako oni bili prostorno rasporedjeni postoji jedna zamišljena ravan, na koju zvuk u tački posmatranja pada sa istim intenzitetom na obe strane.

*

Patentna prijava P-1079/66.

2.2. Sistem više detektora i medjuzaštita

2.2.1. Podela prostora u dve jednakе polusfere vertikalno

Koristeći ovaj princip, odnosno koristeći dva detektora radioaktivnog zračenja sa medjuzaštitom takođe možemo detektovati zračenje sa jedne strane nesmetano, dok sa druge strane sa izvesnim slabljenjem zbog apsorpcije (sl.1a). Okretanjem ovakvog sistema takođe možemo izravnati intenzitet primljenih zračenja na obe detektora. Tada će medjuzaštitni zid biti u zamišljenoj ravni koja deli prostor vertikalno. Od oblika medjuzaštitnog zida zavisi "kriva selektivnosti", odnosno sposobnost za usmeravanje uredjaja.

2.2.2. Horizontalna podela prostora

Okretanjem celog sistema oko horizontalne ose (sl. 1b) i ponovnim izravnavanjem primljenih intenziteta na obe detektora možemo odrediti drugu ravan koja će deliti prostor ponovo na dve jednakе dela prema primljenom intenzitetu. Sećište ovih ravnih je u osi rezonantnog vektora smere svih zračenja u prostoru za tačku odakle se merenje vrši. Ravan koja se okreće oko te ose uvek će primiti u tački merenja isti intenzitet sa obe strane.

2.2.3. Način direktnog dobijanja rezonantnog vektora

Koristeći tri ili više brojača i medjusobnim izravnavanjem primljenih intenziteta okretanjem, taj vektor se dobija iz jednog merenja (slika 2a i 2b).

2.2.4. Određivanje položaja izvora zračenja

Merenjem iz dve tačke ovim principom možemo odrediti i položaj, odnosno rastojanje od detektora do centra zračenja slično principu rada goniometra.

2.3. Mogućnost upotreba

Kako je diferencijalni sistem primenljiv za sve vrste detektora, postoji realna mogućnost da se problem određivanja smera zračenja radioaktivnog izvora znatno uprosti. Širom primenom ovih principa dobile bi se posve nove navike i principi kako u proizvodnji tako i u korišćenju instrumenta za detekciju radioaktivnog zračenja.

3.1. Instrument Konura

Instrument Konura je izradjen na tom principu (skraćenica od Kompas Nuklearne Radijacije), sl.3a. Kod ovog instrumenta detektori su halogeni GM brojači izmedju kojih je olovna zaštita za apsorpciju zračenja (slika 3b). Diferencijalni sistem sa dva tranzistora daje struju nultom instrumentu (sl.3c). Multi instrument pokazuje levo ili desno od nule u zavisnosti sa koje strane je jači intenzitet zračenja. Okretanjem celog instrumenta u pravcu skazaljke možemo skazaljku vratiti u multi položaj kada detektori sa obe strane primaju isti intenzitet zračenja. Na taj način u dijapazonu zračenja za koji je ovaj instrument izradjen (nekoliko desetina mRö/h), moguće je odrediti sa tačnošću od nekoliko stepeni smer u kome se nalazi centar izvora zračenja.

3.2. Instrument DIMOR

Na istom principu izradjen je instrument DIMOR (diferencijalni monitor radijacije), prikazan na slici 3b, koji se sastoji iz dve nezavisne sonde za detekciju zračenja i zajedničkog indikatorskog i alarmnog kola. Kao detektori zračenja upotrebljeni su GM brojači, tipa STS-6. Impulsi iz ovih brojača se dovode na geit PNPN prekidača, koji je sastavni deo logaritamskog ratemetarskog kola /2/. Strujni izlaz rate metra meri se instrumentom kalibriranim sa ^{60}Co u mR/h. Ovaj instrument se može pomoći preklopnika koristiti po želji za merenje srednjeg broja impulsa iz jedne ili druge sonde. Istovremeno drugi instrument meri razliku izlaznih struja rate metra.

Izmedju brojača je postavljena olovna ploča koja služi kao apsorber zračenja. Isto tako sonde se mogu postaviti na dvema suprotnim stranama vozila. Okretanjem vozila u odgovarajući položaj izlaz instrumenta se dovodi u multi položaj kao i kod instrumenta KONURA. Na taj način vrši se odbiranje optimalnog pravca napuštanja opasne zone.

Posebno mikrologičko kolo na predodređenom nivou unutar skale daje svetlostni i akustični alarmni signal sa kojim opominje vozača da se nalazi u zoni zračenja.

DIMOR se napaja iz akumulatora od 12 V koji je u vozilu. Mala potrošnja omogućava neprekidan rad uređaja.

Slika 3e prikazuje uređaj montiran u vozilu.

4. KIBERNETSKE SPRAVE SA DVA DETEKTORA

4.1. Samodirigovana buba

4.1.1. Način funkcionisanja

Samodirigovana buba je kibernetska naprava koja je kombinacija ovakvog orijentacionog sistema u sklopu sa pogonskim mehanizmom, izradjena za eksperimentalne svrhe (sl.4a). U stanju je da pronadje ili da napušta radioaktivni izvor najkraćim putem. Detektori su smešteni sa dve strane gde se nalaze i pogonski mehanizmi za po jedan točak kojim se sprava pokreće. Ako se detektori vezuju tako da svojim impulsima pokreću točak iste strane (motori rade u impulsima), sprava će se udaljavati od izvora, dok ako detektori pokreću točkove sa suprotne strane, buba će svoj položaj korigirati tako da bude uvek "nosom" okrenuta prema izvoru i tako će pohitati ka izvoru.

4.1.2. Korekcija pravca u toku kretanja

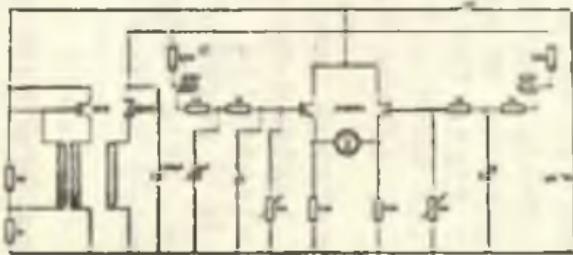
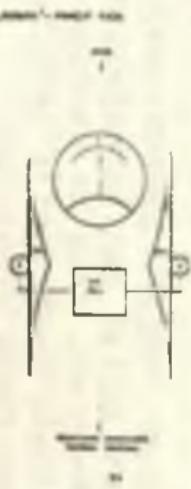
Svaka promena intenziteta u toku kretanja koriguje liniju putanja i tako buba prilikom traženja "izbegava" senke odnosno obilazi predmete koji apsorbuju zračenje.

Isto tako prilikom direktnе logike kada izbegava zračenja koristeći konfiguraciju terena ulazi u senku radioaktivnog zračenja još u toku kretanja. Može se reći da vrši najbolju moguću samoadaptaciju prema sopstvenim mogućnostima.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijskih razmatranja i dobivenih praktičnih rezultata možemo zaključiti da je diferencijalni sistem sa više detektora i medjuzaštitom u stanju da odredi smer ka centru izvora zračenja, odnosno u slučaju zračenja sa više izvora smer rezultantnog vektora svih zračenja u prostoru. Time može znatno da se uprosti tehniku pronalaženja optimalnog pravca kretanja ka ili od izvora zračenja, odnosno omogući laka i brza orijentacija u polju nuklearnog zračenja.

155



„KOHUMA“

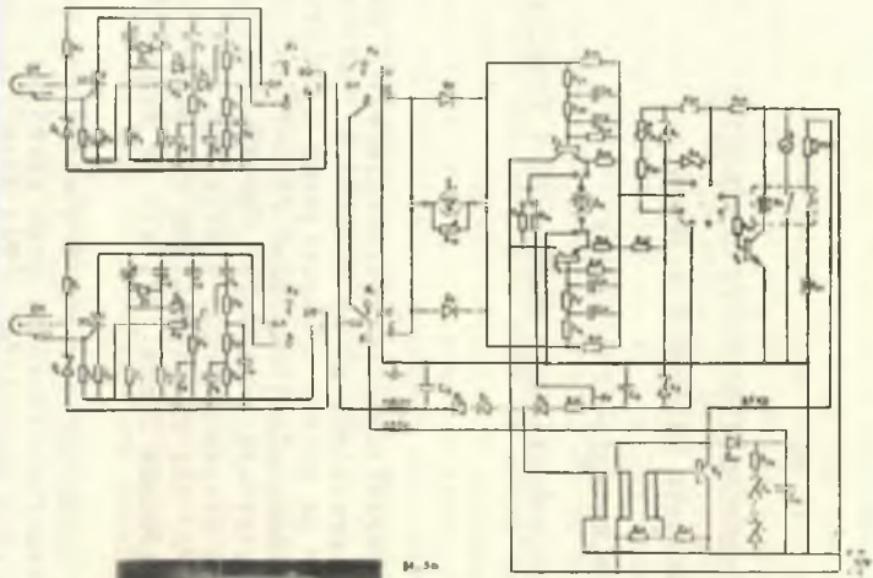


Fig. 3a



3a



3c

OSOBINE TERMOLUMINISCENTNIH DOZIMETARA
SA $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ UGRADENIM U EMAJL

M.Mihajlović i L.Sedej

Fizikalni institut Medicinske fakultete v Ljubljani

1. UVOD

Najčešće upotrebljavani termoluminiscentni materijali $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ i LiF pripravljeni su na različite načine za registraciju doze. LiF je obično upotrebljavan u obliku praha ili ugradjen u organske plastične mase /1/. Triboluminisencija, u $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ je stvarala teškoće. Uspešna rešenja su postignuta zatvaranjem aktivnog praha u staklene cevi, ispunjene inertnim gasom /2/ ili konstrukcijom dozimetara u obliku minijатурне elektronske lampe /3/, ali te konstrukcije su skupe i velike.

U sledećem opisaćemo osobine dozimeta kod koga je sintetički $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ termoluminiscentni prah ugradjen u specijalan materijal, sličan emajlu /4/. (Taj materijal zvaćemo u daljem emajl.)

Taj emajl zajedno sa $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ prahom, koji je u njemu ugradjen, pokazao se osetljiviji kao termoluminiscentni materijal nego čisto $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ prah. Zbog te osobine bilo je moguće napraviti mali ali dosta osetljiviji termoluminiscentni dozimetar sa dobrim mehaničkim osobinama.

Diskutovat ćemo takodje i slabu stranu emajla. Emajl, koji je pogodan za prekrivanje $\text{CaF}_2:\text{Mn}$, pokazuje efekat triboluminisencije. Pojava triboluminiscence predstavlja ograničenje u merenju malih doza. Otkrivena je jedna osobina emajla, koja omogućava da se donja granica merenja malih doza pomeri znatno na dole.

2. OSOBINE TERMOLUMINISCENTNOG MATERIJALA I EMAJLA

Emajl kao konstrukcijski materijal. – Ideja, da se

emajl upotrebi za fiksiranje CaF₂:Mn praha nametala se zbog dobrih topotnih osobina koje ima emajl. Moguće je bilo dobiti i proziran emajl. Zbog toga je izgledalo, da je jedini problem da se prah CaF₂:Mn ugradи u emajl. Prvi eksperimenti su pokazali da to nije tako prosto. Pojavilo se više problema: CaF₂:Mn je reagovao sa komponentama emajla i emitovana svetlost pri istoj dozi je opadala sa brojem zagrevanja; drugi dozimetri su se lomili; sledeće serije pokazivale su ogromnu tribuluminiscenciju. Bilo je potrebno posle više godina eksperimentiranja, da se razvije odgovarajuća tehnologija. Sada pri produkciji dozimetara upotrebljavamo tri vrste emajla i pri tome za svako nanošenje upotrebljavamo posebnu tehniku pečenja. U sadašnjoj produkciji dozimetara, koja je još u laboratorijskoj verziji, upotrebljavajući improvizirane aparate i prilično primitivnu kontrolu procesa pečenja, osetljivost različitih serija dozimetara varira u intervalu od 30%.

Ponašanje komponenata i sastavnog materijala. -

Osobine dozimetara zavise od dve komponente, koje su upotrebljavane, praha CaF₂:Mn i emajla. Zbog toga su vršena ispitivanja praha CaF₂:Mn, praha emajla, i čistog emajla fiksiranog na srebro. U svim tim merenjima količine aktivnog praha i emajla bile su iste, kao pri pravljenju dozimetra.

Ispitivanja su pokazala da je osetljivost CaF₂:Mn bila 4,8 puta manja od osetljivosti dozimetra u kome je ugradjena ista količina aktivnog praha u emajlu. Ovaj srazmerno veliki faktor predstavlja verovatno glavnu dobit od upotrebe emajla zajedno sa aktivnim prahom pri pravljenju dozimetara. Čist CaF₂:Mn prah u zraku je imao još jednu slabu osobinu: osetljivost mu je brzo padala sa brojem zagrevanja.

Prva merenja sa emajlom su pokazala, da je on osetljiv na radijaciju. Merenja osetljivosti praha emajla su pokazala, da je osetljivost mala, približno 7,8 puta manja od osetljivosti dozimetara, ali pečeni emajl imao je za faktor 2 manju osetljivost nego dozimetar.

Zato je izgledalo, da sam emajl može, da se upotrebi kao aktivni materijal. Kriva sjaja emajla imala je vrlo ugodan oblik sa glavim vrhovima na približno 260° i 400° C. Nažalost takvi dozimetri su pokazali vrlo veliki efekat tribuluminiscencije - emajl je pokazao krivu sjaja sa vrhom na 400° C, koja je bila posledica ozračivanja. Emitovana svetlost odgovarala je približno dozi od 100 mR. 30 keV X radijacija. Krive sjaja neozračenog i ozračenog emajla pokazane su na slici 1. Da bi se smanjio efekat tribuluminis-

cencije u emajlu uradjene su sledeće dve stvari:

a) $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ prah je bio ugradjen u emajl. Na taj način osetljivost vrha na 260°C je bila povećana. U sadašnjem dozimetru je postignuto, da je odnos emitovane svetlosti od vrha na 260°C veći približno 4,7 puta od vrha na 400°C .

b) registrovana je svetlost emitovana do temperatu 260°C . Na taj način je smanjen uticaj vrha na 400°C i omogućeno je merenje malih ekspozicija do približno 30 mR i to pomoću čitača, koji integrira struju. Kriva zavisnosti signala od ekspozicije, u ovome intervalu pokazana je na slici 2a.

3. OSOBINE DOZIMETRA

Više stotina dozimetara bilo je upotrebljeno, da se dobije informacija o karakteristikama dozimetara. Za ta mereњa doza upotrebljen je čitač sa integrirnim kolom koji je izradjen za rutinski rad. Krive sjaja bile su ispitivane pomoću standardnog DC pojačavača (GRC 1230 A) zajedno sa standardnim rekorderom. Isti uredjaj je bio upotrebljen za određivanje malih doza iz vrha krive sjaja.

Linearnost dozimetra je pokazana na slici 2a i 2b, oba merenja su vršena pomoću integrirnog kola (čitač TL 2-66). Zavisnost signala od doze za male ekspozicije na slici 2a pokazuje ograničenje merenja doza zbog prisustva triboluminisencije u emajlu na temperaturi 400°C . Ta neizvesnost se vidi kao promenljivi background sa varijacijom od približno 15 mR. Merenje malih doza je manje neizvesno ako se meri kriva sjaja na rekorderu, jer se uticaj vrha triboluminisencije može da se oceni iz oblika krive sjaja.

Medjutim, najnovija istraživanja osobine triboluminiscence pokazuju da se triboluminisanca zasićava na jednu maksimalnu vrednost pri trešenju dozimetra. To omogućava da se uticaj triboluminiscence smanji za faktor 5. Pored ove osobine ispitana je i razvijen sistem programiranog grejanja: grejanje u području 400°C , gde je peak triboluminiscence, je usporeno. To je imalo za posledicu da se relativna visina peeka pri 400°C smanjila za znatan faktor u poređenju sa peekom na 260°C . Obe ove mere su dovele do toga, da se sposobnost registrovanja malih doza povećala do te mere, da će biti potrebni novi instrumenti, da se osetljivost iskoristi.

Osetljivost dozimetra za veće ekspozicije pokazana je na slici 2b. Novija merenja pokazuju, da su dozimetri

linearni bar do $1,2 \times 10^5$ R.

Reproducibilnost merenja se pokazala boljom od $\pm 6\%$.

Stabilnost osetljivosti dozimetra je bila isprobana posle uzastopnih ozračivanja i zagrevanja. Opadanje osetljivosti nije zapaženo ni posle više 100 puta. Nema promene osetljivosti ni posle ozračivanja dozimetra dozom od približno 120.000 R.

Sposobnost dozimetra da zadrže signal bila je ispitivana čuvanjem dozimetara na sobnoj temperaturi. Dozimetri su bili zračeni na 500 mR i 5 R. Približno 20% eksponirane doze je opalo u prva tri dana čekanja. Dalji gubitak doze je nastavljen u iznosu od 0,2% na dan. Srednja vrednost ponašanja većeg broja dozimetra pokazana je na slici 3. Ova zavisnost padanja doze sa vremenom je sasvim ugodna pri upotrebi dozimetra u ličnoj dozimetriji. Npr. za interval od 1 meseca opadanja doze može lako da se obračuna sa maksimalnom greškom $\pm 3\%$, ako se doza odčita 3 dana posle skupljanja dozimetara.

Za upotrebu dozimetra važna je ugodna energijska zavisnost. Energijska zavisnost emajlom pokrivenih dozimeta je pokazana na slici 4. Krstići pokazuju energijsku zavisnost dozimetra bez filtra, kada se ozračuju sa prednje strane. Kada se dozimetar prekrije sa 1,2 mm debelim Pb filtrom, dobije se približno ravna kriva.

4. ZAKLJUČAK

Opisan je dozimetar, koji kao fosfor upotrebljava $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ prah, ugradjen u specijalan emajl. Dobiven je mali dozimetar, jednostavne konstrukcije i skoro nesalomljiv. Uz to dozimetar ima veliku osetljivost i linearni odgovor u opsegu od desetina miliroentgena do više od 100.000 R. Prednosti emajla donekle su smanjene pojavom tribuluminiscencije. Bilo je uloženo dosta truda, da se smanji njen uticaj pri određivanju malih doza. Sve ukazuje nato, da će se sa istim dozimetrom i odgovarajućim aparatom postići donja granica osetljivosti od 1 mR i gornja granica veća od 10^5 R. S tim uslovima je dozimetar sa $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ ugradjenim u emajl dosegao fizičke karakteristike najboljih dozimeta na svetskom trgu.

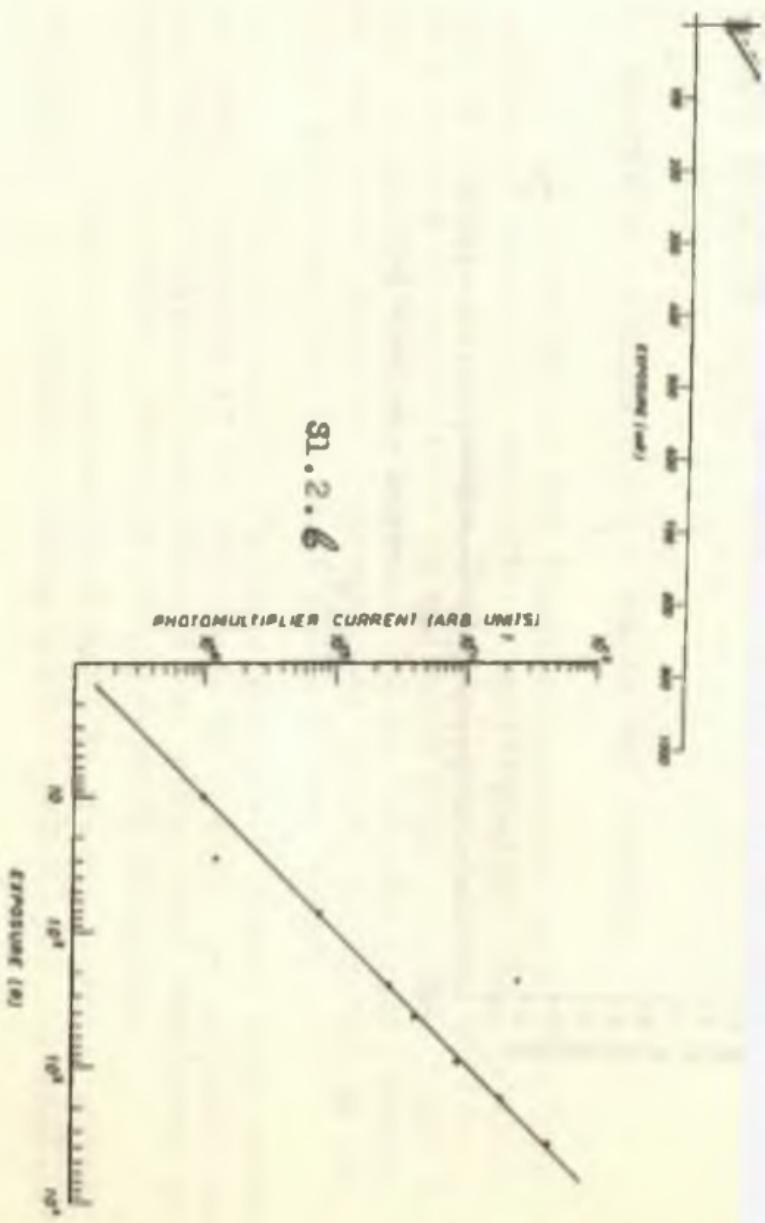
Velika osetljivost dozimetra ukazuje na veliku upotrebljivost dozimetara. Isti dozimetar sa različito osetljivim aparaturama moći će da se upotrebi za ličnu dozime-

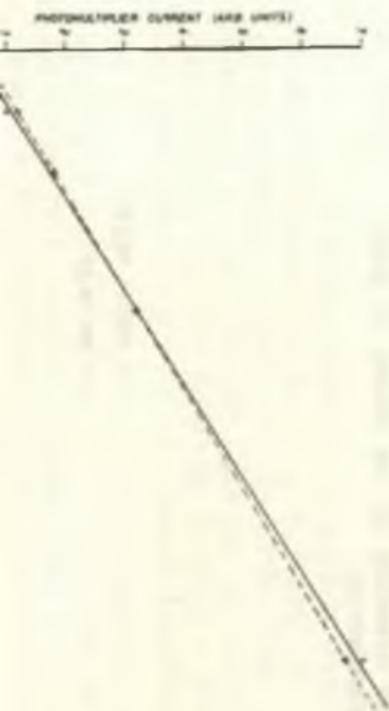
metriju, za merenje jakih polja radijacija, za registraciju akcidenata i dr.

LITERATURA

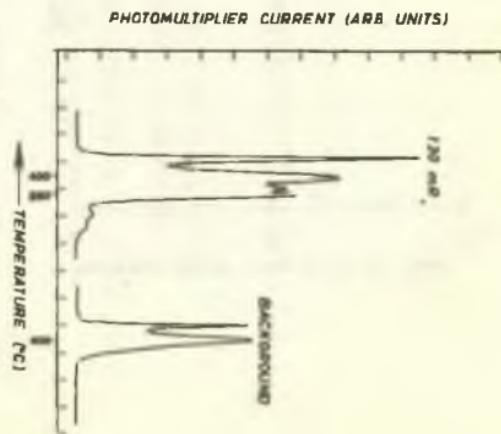
1. Bjarngrad, B.E., McCall, R.C., Bernstein, I.A., "Lithium fluoride plastic dosimeters for thermoluminescent dosimetry", Ist.Int.Conf.on Med.Phys., Harrogate (1965).
2. Schulman, J.H., Attix, F.N., West, E.J., Ginther, I., 1963, Proc.of Symp.on Personal Dosimetry, Madrid, p.319.
3. Schayes, R., Lorthioir, M., Lheureux, M., 1963. Revue M.B.L.E., 6, 31.
4. M.Mihailović, V.Kosi, M.V.Mihailović, Z.Milavec, An Enamel Coated $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ Thermoluminescent Dosemeter and the Reading Instrument, Phys.Med.Biol., 1967, Vol.12, No.3, 395-402.
5. M.Mihailović, Properties of an Enamel-Coated $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ Thermoluminescent Dosemeter, Symposium on "Solid State and Chemical Radiation Dosimeter in Medicine and Biology", Vienna, 1967.

161

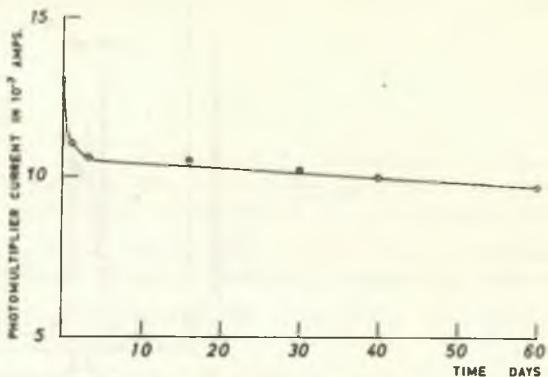




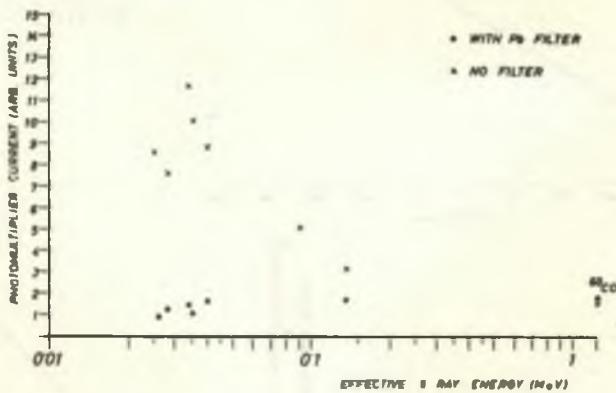
SL.2.a



SL.1.



Sl. 3. THE MAGNITUDE OF THE FADING AT ROOM TEMPERATURE.



Sl. 4.

TERMOLUMINISCENTNI DOZIMETRI SA $\text{CaF}_2:\text{Mn}$
UGRADJENIM U EMAJL I ODGOVARAJUĆI ČITAČI DOZA

M.Mihajlović, V.Kosi, M.V.Mihailović,
Z.Milavec, A.Podgoršek, S.Smrekar

Fizikalni institut medicinske fakultete v Ljubljani

1. UVOD

U toku prošlih par godina razvijen je bio jedan tip termoluminiscentnog dozimetra, koji je imao aktivni $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ prah ugradjen u emajl /1, 2/. Dozimetar je vrlo malen i robustan, uz to ima fizičke osobine najboljih dozimetara na trgu. Linearnost odgovora na dozu je bila u vrlo velikom intervalu od nekoliko miliarada do nekoliko desetina hiljada rada.

Iskorištavanje dobrih osobina dozimetra zavisilo je od dobrih registratora doze. Iskustva su dobivena sa tri vrste različitih sistema čitača. Dva sistema za čitanje su razvijena u našoj laboratoriji. O njihovim osobinama biće diskutovano u ovom referatu.

2. DOZIMETAR, KONSTRUKCIJA I MEHANIČKE OSOBINE

Izradjene su dve vrste dozimetara istih fizičkih osobina ali različite veličine i konstrukcije. Veći, stariji tip se sastoji iz srebrnog traka debljine 0,5 mm, širine 10 mm i dužine 30 mm. U trak je utisнутa rupa veličine 1 cm^2 u koju je pomoću emajla fiksirano 10 mg $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ praha. Srebrni trak je fiksiran na odgovarajući nosač. Dozimetar se zagreva direktno strujom, koja prolazi kroz srebro.

Noviji, manji tip dozimetra je u stvari mala srebrna posuda prečnika 12 mm, dubine 1 mm u kojoj je kao gore pomoću emajla fiksiran $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ aktivni prah. Ovaj dozimetar se zagreva indirektno, dodirom sa zagrejanim grejačem.

Emajl i aktivni prah $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ su ugradjeni u obliku tri sloja. Za nanošenje svakog sloja upotrebljava se razli-

čita tehnika pečenja. Proizvodnja je razvijena do te mere, da je vrše kvalificirani radnici. U toku je priprema aparature za proizvodnju većih serija dozimetara jednakih osobina. Upotrebljavajući improviziranu aparaturu za pečenje emajla sa primitivnim načinom kontrole temperature, osetljivost proizvedenih dozimetara je varirala do 30%.

3. SISTEMI ZA OČITAVANJE DOZE

Prilikom zagrevanja termoluminiscentnog fosfora ($\text{CaF}_2:\text{Mn}$) elektroni uhvaćeni u F centrima prelaze u provodni band. Iz provodnog banda oni se zatim rekombiniraju sa rupama uhvaćenima na Mn^+ ione emitujući karakterističnu svetlost. Izražena svetlosna energija je proporcionalna dozi, te nju treba meriti, da se doza odredi.

U našoj laboratoriji upotrebljavali smo sledeća tri sistema:

(1) Registriranje krive sevanja u funkciji temperaturе - Izzražena svetlost je registrirana pomoću fotopomnoževaca, signal sa anodnog otpora je pojačan DC pojačavačem i registrovan na mokorderu. Ovaj sistem je bio upotrebljavan uglavnom za proučavanje osobina fosfora i drugih elemenata.

(2) Sistem za merenje celokupne izražene svetlosne energije, čitac TL 2-66 - Prednost registriranja celokupne izražene svetlosti je u tome, da brzina zagrevanja ne utiče na rezultat zagrevanja/3/.

Sistem za čitanje se sastoji od fotomnoževača, integrirnog kola i instrumenta (slika 1). Na levoj strani slike se vidi pretvarač svetlosti u struju.

Dozimetar se zagreva pomoću "step-down" transformatora, koji u primaru ima promenljivi transformator. Električni motor pokreće promenljivi transformator tako, da mu dovodi kontinuirano rastući napon. Motor se vrti brzinom jedan obrataj na 15 sekundi, kada se sistem upotrebljava za merenje višokih doza.

Temperatura dozimetra se meri pomoću jednoga PbS fotoootpora, koji je montiran u reflektoru na rastojanju 2 cm od dozimetra. Promena otpora ovoga fotoootpora prouzrokuje isključivanje grejanja na željenoj temperaturi. Temperatura na kojoj se uključuje grejanje je nastavljena potenciometrom P_3 i trigerom 2. Instrument I_2 pokazuje temperaturu dozimetra, koju meri fotoootpor.

Centralni deo slike predstavlja integrator sa instrumentom I_1 koji registruje dozu. Anodna struja fotopomnoževača je integrirana pomoću dva kondenzatora u seriji. Oni čine negativnu povratnu vezu operacijskom pojačevaču A. Pojačivač ima vrlo visoku ulaznu impedanciju i DC pojačanje od preko 500. Triger 1 je podešen, da veže na kratko kondenzator C i da upali svetlost S, kada napon na instrumentu I_1 dostigne maksimalni odklon. Anodna struja se sada integrira na kondenzatoru 99 C, i na taj način je područje čitača automatski povećano za faktor 100. Kada je doza manja od $1/10$ područja skale, pritisnjem na dugme $1/10$ povećava se osjetljivost instrumenta za faktor 10, ne da bi se promenio registrovani naboj. Na taj način može, da se meri doza u području od četiri dekade sa istom relativnom tačnošću. Veće dalje promene područja čitača mogu da se izvrše menjanjem visokog napona na fotopomnoževaču.

Reproducibilnost merenja emitovane svetlosti je u granicama $\pm 3\%$.

Drift DC amplifikatora je nekoliko mV na dan.

(3) Merač amplitute zračene svetlosti. čitač TL 67-3

Ukoliko se zagrevanje vrši uvek jednako, maksimalni svetlosni fluks iz dozimetara je takodjer merilo doze. Sistem koji meri maksimalnu svetlost ima kontrolirano grejanje i merač maksimalne vrednosti registrovanog fluksa.

Princip i izvedba grejača pokazani su na sl.2. Glavna karakteristika sistema: dozimetri se zagrevaju indirektno prislanjanjem zagrejanog grejača uz dozimetar. Grejanje je stabilizirano stabiliziranjem napona napajanja. Upotrebljeni sistem ima koeficijent iskorišćenja preko 80%, što omogućava da se čitač upotrebi kao prenosni instrument. Jedno punjenje akumulatora 12V, 8Ah je dovoljno za očitavanje doze preko 150 dozimetara.

Merni instrument. - Anodni tok iz fotopomnoževača krmili preko pojačivača tipa "source follower" /4/ visoki napon na katodi fotopomnoževača. Krug je izведен tako, da je napon veći što je struja manja. Time se postiglo, da je visoki napon na fotopomnoževaču približno proporcionalan logaritmu svetlosnog fluksa.

Visoki napon iz fotopomnoževača je vezan na merač amplitute ("peak" merilac) koga tvore diode Fd 300 i kondenzator 10 F. Napon na kondenzatoru se meri drugim meračem amplitute tipa "source follower". Razlika u osjetljivosti dozimetara se uzima u obzir nastavljanjem prednapona na instrumen-tu.

Rad čitača se kontrolira pomoću svetlosnog standara ugradjenog u glavi čitača.

Čitanje doza je potpuno automatsko. Po ubacivanju dozimetra, jednim samim pritiskom sprože se sve operacije: grejanje, otvaranje blende, isključivanje. Instrument drži neograničeno dugo pročitanu dozu. Rezultat se automatski izbriše vadjenjem dozimetra.

ZAKLJUČAK

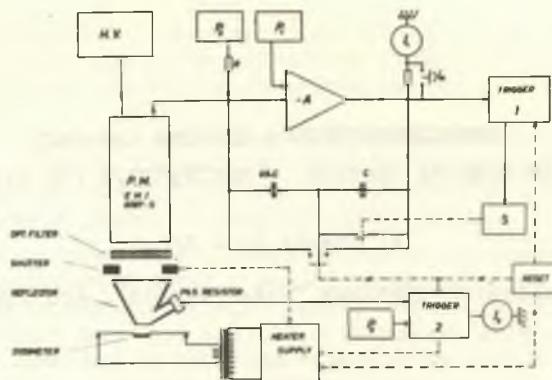
Termoluminiscentni dozimetar sa $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ ugradjenim u emajl ima izvanredne mehaničke i termičke osobine, mali je (0.1 cm^3) i proizvodi se jednostavnom tehnologijom. Osetljivost je ogromna od nekoliko miliroentgena do sto hiljada roentgena (verovatno je i bolja ali se nije mogla izmeriti s raspoloživim instrumentima). Tako se isti dozimetar može upotrebiti za različite namene: ličnu dozimetriju, registraciju velikih doza pri akcidentima, merenje polja radijacija.

Čitač dozimetra TL 2-66, koji integrira signal, je laboratorijski instrument. Može da meri doze od 5 mr X zračenja ($30 \text{ mr zračenja Co-60}$), do više hiljada roentgena.

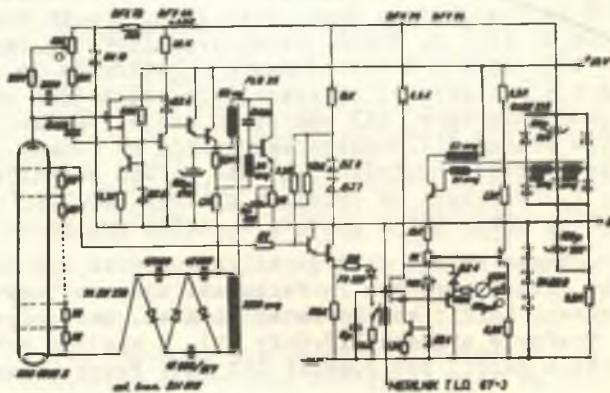
Čitač dozimetara TL-3-67, koji meri maksimalni signal, je mali prenosni instrument. Ima logaritamsku skalu od 3 dekada. Može da meri doze veće od 100 mr. Ta granica će se pomeriti u miliroentgensko područje sa ugradnjom modulacije svetlosti.

LITERATURA

1. M.Mihailović, V.Kosi, M.V.Mihailović, Z.Milavec: An Enamel Coated $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ Thermoluminescent Dosemeter and the Reading Instrument. *Phys.Med.Biol.*, 1967, Vol.12, No.3, 395-402.
2. M.Mihailović, Properties of an Enamel-Coated $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ Thermoluminescent Dosemeter, Symposium on "Solid State and Chemical Radiation Dosimetry in Medicine and Biology", Vienna, 1967.
3. Schulman, J.H., Attix, F.H., West, E.J., Ginther, I., 1963, Proc.of Symp. on Personal Dosimetry, Madrid, p.338.



Sl.1. BLOCK SCHEME OF THE READING SYSTEM.



S1,2.

TERMOLUMINISCENCA SISTEMA LiF-CaF_2
IN NJEGOVA UPORABA V DOZIMETRIJI (II del)

K. Južnić in I. Kobal

Nuklearni inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana

UVOD

Od prvega članka (1) s katerim je bila predlagana termoluminiscenčna dozimetrija, se je pojavila v literaturi vrsta del, ki obravnavajo različne fosforje in njihovo uporabnost za tovrstno dozimetrijo. Kot najboljša sta se izkazala naslednja dva fosforja: kalcijev fluorid aktiviran z manganom (2, 3, 4) in litijev fluorid (5, 6, 7). Glavna odlika $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ je dober TL izkoristek, to je razmerje med emitirano TL in absorbirano dozo, tako da so z njim mogoča merjenja doz do 10^{-3} R. Slaba strana tega fosforja je, da ga ne smemo segrevati v zračni atmosferi (potrebna je posebna konstrukcija dozimetrov) in precejšnja energijska odvisnost pri merjenju X-žarkov. LiF ima sicer manjši TL izkoristek ima pa več prednosti: dopušča segrevanje na zraku, je uporaben za dozimetrijo neutronov in kaže majhno energijsko odvisnost. V literaturi je opisan v glavnem TLD-100 (8) za katerega pa ni znana točna sestava in način priprave.

Namen našega dela je bil pripraviti nek fosfor, kateremu bi bila osnova LiF in raziskati njegove lastnosti. Ker se je izkazal kalcij kot koristen dodatek, smo podrobnejše raziskali fosforje sistema LiF-CaF_2 (9). V manjših količinah so uporabili kalcij kot dodatek LiF tudi Frank in sod. (10).

EKSPERIMENTALNO DELO

Aparatura: - Za mjerjenje termoluminiscence smo izdelali aparaturo, ki je sestavljena iz naslednjih glavnih delov: merilne glave, visokonapetnostnega usmernika, ojačevalca za istosmerni tok in rekorderja. V merilni glavi so nameščeni: fotopomnoževalka (EMI, tip 6097 S), optični filter

(modro-zelen, BG-21) za absorpcijo infrardeče in rdeče svetlobe in nikljev grelec za segrevanje fosforja (trak $30 \times 0,3 \times 5$ mm). Hitrost segrevanja je mogoče spremenjati od $7-100^\circ\text{C}/\text{sek.}$

Priprava fosforjev: - Za pripravo fosforjev smo uporabili naslednje kemikalije: kalcijev klorid heksahidrat, litijev klorid in amonijev fluorid. Kemikalije (proizvajalec - Riedel de Haen) so bile analitsko čiste.

Iz smesi raztopljenih kloridov smo soobarjali litijev in kalcijev fluorid z rastopino amonijevega fluorida. Oborino smo odcentrifugirali, sprali z vodo in posušili. Zmes fluoridov smo nato stalili v vakuumski peči pri 1000°C . Kristalno zmes smo po taljenju zdrobili in zmleli, da je bil izdelani fosfor homogenega izgleda. Točno sestavo fosforja smo določili s plamensko fotometrično analizo.

Izdelava dozimetrov: - Dozimetre smo izdelali tako, da smo na aluminijaste planšete ($\varnothing 13$ mm in debeline $0,35$ mm) nanesli enakomerno plast fosforja (40 mg/cm^2) in jo fiksirali s silikonskim lakom. Uporabili smo silikonski lak RF-6 (Wacker-Chemie GMBH, München), ki vzdrži temperaturo do 300°C .

Termoluminiscanca fosforjev: - Po opisanem postopku smo pripravili vrsto fosforjev z vsebnostjo CaF_2 v LiF od $0 - 50\%$. Fosforje smo vzbujali z -žarki $\text{Co}-60$ in merili njihovo termoluminisenco pri enakomernem segrevanju s hitrostjo 7°C/sek od 50°C dalje. Krivulje emisije TL fosforjev različnih sestav v območju od $50 - 220^\circ\text{C}$ so prikazane na sliki 1. Emisijske krivulje imajo več maksimumov pri različnih temperaturah. Z naraščanjem vsebnosti kalcija v fosforjih, narašča tudi delež višje temperature TL. Fosforji emitirajo svetljobo tudi nad 220°C , vendar za praktično merjenje doz ta ne pride v poštev, zaradi dodatnih težav pri merjenju TL pri teh temperaturah.

Slaba lastnost fosforjev v splošnem je, da izgubljajo pri obsevanju nakopičeno energijo, tudi če jih hraniemo pri temperaturah znatno nižjih od temperatur maksimalne emisije TL. Padanje nakopičene energije pri izdelanemu fosforju (z $36\% \text{ CaF}_2$) pri različnih temperaturah je prikazano na sliki 2. Pri sobni temperaturi se znižuje le delež nizkotemperaturne TL, medtem ko ostane visokotemperaturna TL nespremenjena. Tudi pri segrevanju obsevanega fosforja pri temperaturah do 100°C preostane del visokotemperaturne TL. To nam omogoča merjene doz tudi pri temperaturah višjih od sobne, vendar morajo biti dozimetri za te temperature

posebej umerjeni.

Spekter TL smo raziskali s Hilgerjevim monohromatorjem. Ugotovili smo, da je skoro vsa TL v območju valovnih dolžin med 390 - 500 m/ μ . Spekter je zvezen in ni opaziti izrazitih pasov.

Lastnosti dozimetrov: - Izdelani dozimetri so uporabni za merjenje doz X, γ , β žarkov in neutronov. Linearno odvisnost med TL in dozo pri izdelanih dozimetrih smo dobili v območju od 100 mR do 500 R. Merjenje nižjih doz od 100 mR ni zanesljivo zaradi nestabilnosti elektronike in motečih vplivov svetlobe na dozimetre, če ti niso hranjeni v temi. Pri dozimetriji neutronov z fosforjem s 36% CaF₂ smo ugotovili, da je TL povzročena z 1 rem termičnih neutronov ekvivalentna tisti pri obsevanju z 1,6 R γ -žarkov Co-60. Dozimetri so uporabni za večkratno merjenje doz. Pred vsako meritvijo pa jih moramo segrevati eno uro pri 300°C. Pri večkratni uporabi nismo opazili spremembe v občutljivosti.

Raziskali smo vpliv smeri padanja žarkov na dozimetre pri merjenju doze. Ugotovili smo, da orientacija dozimeta ni važna pri γ -žarkih Co-60 ali Cs-137 in ima majhen vpliv pri X-žarkih nižjih energij. V tem primeru dobimo nekoliko prenizke rezultate, če so dozimetri obsevani s hrbitne strani. Vpliv orientacije pri obsevanju z β -žarki prikazuje slika 4. Energijsko odvisnost dozimetrov pripravljenih s fosforji različnih sestav prikazuje slika 3. Občutljivosti dozimetrov za fotonske žarke različnih energij so podane relativno z ozirom na γ -žarke Co-60. Kot referenčni merilec doze nam je služil v vseh primerih Victoreen-r-meter. Kot je iz slike 3 razvidno z naraščanjem vsebnosti CaF₂ v LiF narašča tudi energijska odvisnost fosforjev. To lahko odstranimo z uporabo primernih filtrov. Pri fosforju z 50% CaF₂ npr. pomaga v določenem območju energij X-žarkov svičena pločevina 0,5 mm.

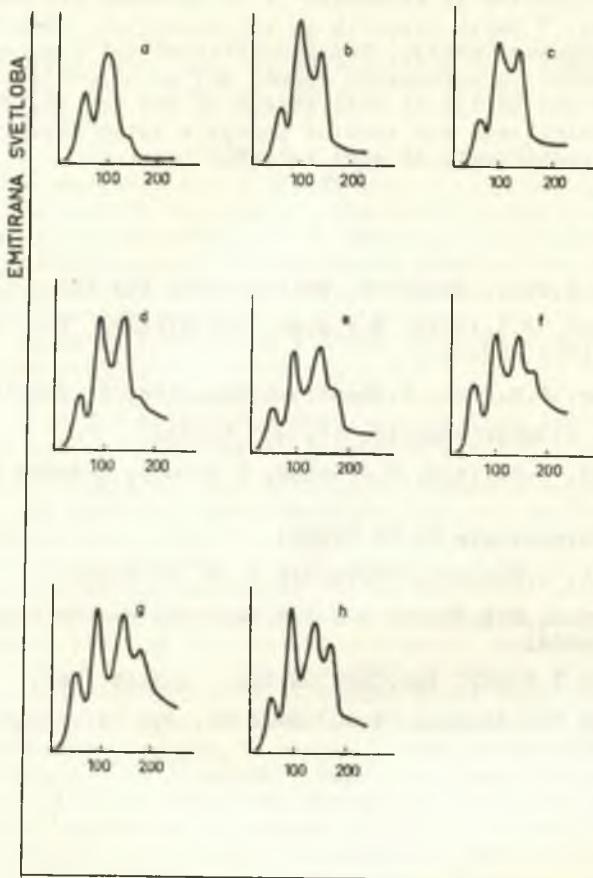
DISKUSIJA

Rezultati našega dela kažejo, da lahko pripravljene fosforje sistema LiF-CaF₂ uspešno uporabimo za dozimetrijo. Po svoji občutljivosti sicer zaostajajo za fosforjem TDL-100 imajo pa to prednost, da ne izgubljajo občutljivosti po večkratni uporabi. Za dozimetrijo lahko uporabljamо fosforje v obliki prahu ali pa izdelane dozimetre. Za rutinsko delo so seveda bolj primerni dozimetri, kjer tudi ne more priti do motečega pojava tribotermoluminiscence. Vpliv vidne

svetlobe na dozimetre je minimalen je pa pomemben pri merjenju nizkih doz. V takih primerih je priporočljivo hraniti dozimetre v posebnem ohišju. Reproducibilnost pri izdelavi enakih dozimetrov je sorazmerno dobra, saj se občutljivosti dozimetrov ene serije ne razlikujejo za več kot 5%. Meritve doze napravljene pod enakimi pogoji z istim dozimetrom pa so se razlikovale za manj kot 3%.

LITERATURA

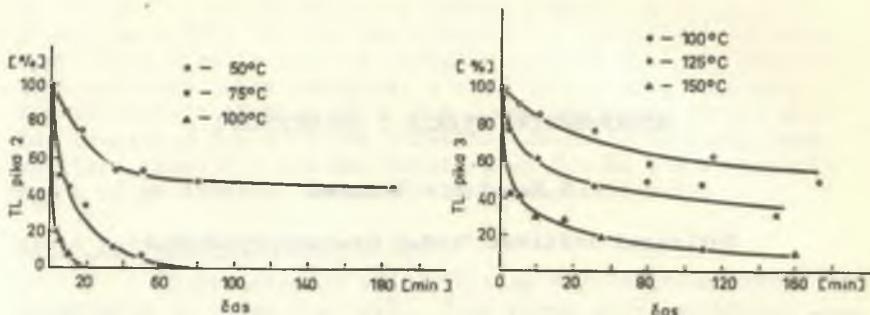
1. F.Daniels, A.Boyd, Sonnders, Science 117, 343 (1953).
2. J.H.Schulman, F.A.Attix, E.J.West, R.J.Ginther, Rev. Sci. Inst. 31, 1263 (1960).
3. R.J.Ginther, R.D.Kirk, J.Electroch.Soc. 104, 6, 365 (1957).
4. A.Surjadi, Atomkernenergie, 12, 435 (1963).
5. J.R.Cameran, F.Daniels, N.Johnson, G.Kermey, Science 134, 333 (1961).
6. M.Frank, Kernenergie 2, 76 (1963).
7. P.Braunlich, A.Sharman, Nukleonik 4, 2, 65 (1962).
8. D.W.Zimmerman, G.R.Rhyner and J.R.Cameron, Health Physics 12, 525 (1966).
9. K.Južnić in I.Kobal, Int.Conf.on Lum., August 1966.
10. M.Frank and B.U.Edelman (Ger.) East 52, 499 (Cl.H 0,5 g), Dec.5 (1966).



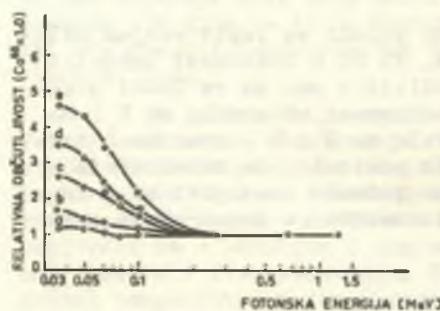
TEMPERATURA [°C]

Sl. 1: Krivulje emisije TL fosforjev sistema $\text{LiF}-\text{CaF}_2$;

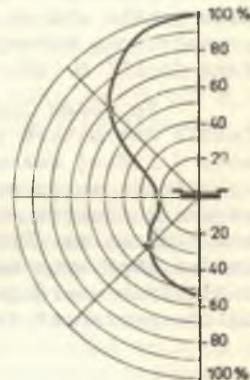
- | | |
|------------------------|------------------------|
| a) čisti LiF | e) 18 % CaF_2 |
| b) 4 % CaF_2 | f) 26 % CaF_2 |
| c) 9 % CaF_2 | g) 36 % CaF_2 |
| d) 12 % CaF_2 | h) 53 % CaF_2 |



Sl. 2: Padanje nakopičene energije (TL) obsevanega fosforja (z 36 % CaF_2) pri različnih temperaturah



Sl. 3.: Energijkska odvisnost fosforjev sistema LiF-CaF_2
 a) čist LiF , b) 4 % CaF_2 ,
 c) 18 % CaF_2 , d) 26 % CaF_2 ,
 e) 53 % CaF_2



Sl. 4: TL kot funkcija orientacije dozimetra proti smeri γ žarkov Sr-90, Y-90.

METAFOSFATNA STAKLA U DOZIMETRIJI

I.Kobal i J.Kristan

Nuklearni inštitut "Jožef Stefan", Ljubljana

UVOD

Metafosfatno staklo aktivirano s srebrom se u dozimetriji sve više upotrebljava. Fizička osnova upotrebe je ta, da prouzrokuju radioaktivni zraci u staklu bojene centre. Ako obasjavano staklo uzbudimo sa UV svetlošću sa maksimumom kod 320 nm, emituje luminiscentnu svetlost sa maksimumom kod 620 nm. Intenzitet emitovane svetlobe je direktna mera za absorbovanu dozu. Sastav stakla može biti vrlo različit (1, 2, 3) sa tim u vezi su različita svojstva metafosfatnih dozimetara (3, 4). Različiti autori (5, 6, 7) navode, da je donja granica merenja doza 10 mR, a gornja oko 1000 R (8); sa termičkom obradom stakla ova se digne na 80.000 R (9). To je područje fluorimetričnog merenja. Sa merenjem absorpcije daju se meriti doze do 10^7 R (4).

Na našem Institutu smo počeli sa ispitivanjem metafosfatnih dozimetara sa namerom, da bi u bodočnost zamenili filmove u ličnoj dozimetriji. Odlučili smo se za Li-Al stakla, jer imaju manju energijsku ovisnost od stakla sa K i Ba. Izradjene dozimetre smo obasjavali sa X i γ - zracima i termalnim neutronima. Pri tom se je pokazalo, da metafosfatni dozimetri zbog svog sastava nisu jednako osetljivi za X zrake različitih energija. Oblik dozimeta pa prouzrokuje orientacionu zavisnost dozimetara.

EKSPERIMENTALNI DEO

Priprema metafosfatnih dozimetara

Staklene metafosfatne masu dobili smo toljenjem LiNO_3 , Al_2O_3 , B_2O_3 , AgNO_3 (u odgovarajućem razmeru) sa 10-20% viškom metafosforne kiseline. Topljenje traje 12-24 sati na 1200°C . Iz iztopljene staklene mase smo u presi zagrejanoj

na 200-300°C, odili pojedine komade i nato u peči popuštali 6 sati na 450°C. Odlitke smo izbrusili i ispolirali na određen oblik i veličinu. Kod okruglih pločica Ø 14 x 5 mm bile su izpolirane čeone površine, a obod je bio samo izbrušen. Kod kvadratnih pločica 10 x 10 x 5 mm ispolirane su sve plohe. Štapiće Ø 3-4 x 10 smo direktno izvlačili iz iztopljene staklene mase. Pri tom smo dobili štap 0,5 do 2 m i narezali ga na 10 mm štapiće. Čeone površine smo ispolirali.

Merač radiofotoluminescencije

Fluorescenciju smo merili sa fluorometrom RFLD 8, izradjenim na našem Institutu. Šema merne glave prikazana je na sl.1. i ima sledeće elemente: živina UV sijalica 4 W RCA F 5000, UV filter, UG 1/3,5, narandžasti filter OG 3/2, foto-pomnoživač RCA 1P21. Sve do ove godine bila je merna glava izradjena tako, da su bile uzbudjena i emitovana svetloba u istoj osi. Ove godine smo izradili glavu kod koje UV svetloba pada na staklo kroz površinu 10 x 5, emitiranu pa detektujemo sa površine 10 x 10 tako, da su upadna i emitovana svetlost pod kutom 90°.

Osobine metafosfatnih dozimetara

Dozimetre smo obasjavali sa X i γ -zracima Co-60 i Cs-137. Sa pločicama smo merili doze u području od 0,5 - 1000 R. Kod doza 0,5 R bila je merna greška oko 30%, od 2 R na gore 5%. Najniže doze koje smo lako izmerili sa štapićima sa greškom 30% bila je 10 R. Gornja granica bila je 10.000 R. Iznad ove granice luminescentna svetlost nije vile linearno ovisna od doze.

Fluorescenciju obasjanih dozimetara smo merili nekoliko sati nakon obasjavanja. Merenja odmah nakon obasjavanja su pokazala preniske rezultate. Sa namerom, da bi saznavali, u kakvom vremenu nakon obasjavanja dostiže fluorescencija stakla svoju konačnu vrednost, metafosfatne smo dozimetre obasjavali sa γ -zracima i jim odmah nakon obasjavanja (1 minut) izmerili fluorescenciju. Posle smo dozimetre pustili na sobnoj temperaturi i jim u određenim vremenским intervalima ponovo izmerili fluorescenciju. Tako smo pratili povećanje fluorescencije sa vremenom. Ustanovili smo, da fluorescencija dostigne svoju konačnu vrednost u 30-50 minuta nakon obasjavanja, ako je dozimetar na 25°C. U drugim eksperimentima držali smo dozimetre nakon obasjavanja na različitim temperaturama i pratili spremenu fluorescencije sa vremenom. Rezultati koje smo dobili prikazani su na slici 2. Držanje obasjavanog dozimeta na 450° i 475°C je pokazalo, da možemo uz to

odnosno 30 minuta sasvim "izbrisati dozu". Temperatura 500°C za "brisanje doze" nije povoljna, jer se nalazi blizu temperature omećanja stakla.

Važan faktor kod merenja fluorescencije je čistoća površine stakla. Ako se dozimetar zamaže sa fluorescentnim materijalom, poveća mu se fluorescencija i merenje nije tačno. Ako pa se dozimetar zmaže sa materijalom koji ne propušta svetlosti, fluorescencija mu se snizi. Da bi ustanovili kakva je greška merenja zbog zamazanosti dozimeta, pločice $\varnothing 14 \times 5$ i $10 \times 10 \times 5$ smo zamazali sa silikonskim lakom i crnim tesarol emajlom. Za zamazanje smo upotrebili 2 mg laka odnosno emajla, zamazana površina na svaki plohi iznosiла je oko $0,3 \text{ cm}^2$. Silikonski lak je povećao fluorescenciju, crni emajl pa smanjio. Rezultati su u Tabeli I. Povećanje odnosno smanjenje fluorescencije izraženo je u dozama γ -zraka Co-60, koje bi prouzrokovale isto fluorescenciju. Zapravo zamazanost stakla nikada ne dostigne gornjih veličina, jer držimo dozimetre u posebnim kutijama od plexi stakla, i to u eksikatoru punjenim sa silikagelom. Za čišćenje metafosfatih dozimetara poznatih je više načina (10), mi smo upotrebili javali čišćenje sa detergentom "calgol W". Dozimetre smo najpre namočili za 24 sati u vodnu otopinu "calgola", posle toga 12 sati navadnom vodom i konačno prali destilovanom vodom.

Obasjavanje sa X zracima je pokazalo, da je osetljivost dozimeta ovisna o energiji zraka. Dozimetre smo obasjavali X-zracima različitih energija sa enakom dozom (doze smo merili sa Victoree-novimi čelijami). Dozimetri obasjivani sa zracima energije 50 keV pokazali su 12 puta veću osetljivost nego dozimetri obasjavani sa enakom dozom γ -zraka Co-60 odnosno Cs-137. Ovu energijsku ovisnost smo smanjili tako, da smo dozimetre za vreme obasjavanja okružili sa metalnim filterima. U tu svrhu upotrebili smo Cu (0,4 mm), Cd (0,3 mm), Sn (0,6 mm) i Pb (0,6 mm). Rezultati su pokazani na sl.3.

Pored toga se je kod obasjavanja sa X zracima pokazala ovisnost fluorescencije obasjavanih dozimetara od orientacije dozimeta prema upadnim zracima. Dozimetre smo obasjavali sa X zracima različitih energija pri čem je bio dozimetar orientisan prema izvoru pot kutovima 0, 45 i 90°. Ovo je prikazano na slici 4. Za X zrake energije 50 keV postoje razlike za različite orientacije do 20%, dok za Co-60 i Cs-137 praktično nema razlika. Ovu orientacionu ovisnost dozimeta smo smanjili pomoću metalnih filtera, kojima smo okružili dozimetre za vreme obasjavanja. Na slici 4. pokazuju done krive,

kako je 0,5 mm Pb filter smanjio energijsku ovisnost uz istovremeno smanjene orientacione ovisnosti.

Metafosfatne dozimetre smo obasjavali i termalnim neutronima na reaktoru TRIGA u Podgorici. Pri tom se pokazalo, da 1 rem termalnih neutrona prouzrokuje isti efekat kao 1,2 R γ -zraka Co-60. Dozimetri kod kojih smo prirodni Li i B zamenili sa Li-6 i B-10 pokazali su 5 puta veću osetljivost na termalne neutrone.

ZAKLJUČAK

Naši metafosfatni dozimetri za sada ne mogu zamjeniti filma u ličnoj dozimetriji, jer sa njime manjih doza od 500 mr ne možemo meriti. Uzrok netačnosti merenja je nestabilnost fluorimetra, nihanje sobne temperature i razlike u dimenzijama pojedinih dozimetara. Čitanje doza sa fluorometrom je veoma brzo i jednostavno. Termičkom obradom (540 - 475°C) možemo obasjavanom staklu "izbrisati dozu" i ga ponovo upotrebiti kao nov dozimeter. Zbog tih prednosti staklenih dozimetaara bilo bi korisno sniziti donju granicu merenja doza na 50 mr. Sa tom namerom na našem su Institutu skonstruisali kompenzacioni fluorimetar koji će biti u kratkom izradjen. Mernu glavu novog fluorimetra skonstruisali smo tako, da se može termostatovati. Kod dimenzija zahtevamo za nova stakla toleranciju 0,05 mm, dok je bila kod starijih 0,1 - 0,2 mm.

LITERATURA

1. R.Bedier, S.Carpentier, H.Francois, Anne M.Grand Clement, and J.Menneret - Fr.Addn 86, 954 (1966).
2. R.Yokota and E.Sakai - Selected Topics in Radiation Dosimetry, 497-501, IAEA, Vienna 1961.
3. K.Becker and J.W.N.Tuyn - Health Phy. No.11, 1225-39(1965)
4. K.Becker, Health Phy. No.6, 523-29 (1965).
5. M.Tsuruoka, Y.Yokota - Toshiba Rev.Int.Ed. No.28, 26-30 (1966).
6. E.Sugimoto, M.Kameko, I.Awzai, and Y.Yoshizawa - Nippon Genshiryoki Gakkaishi No.8, 25-27 (1966).
7. R.Yokota and S.Nakajima, Health Phy.No.4, 241-53 (1965).

8. R.Marsshast, E.Piesch - Atompraxis No.12, 568-73 (1966).
 9. D.F.Logsdon, Jr. and D.A.LaBer - Health Phy. No.2, 131-33 (1965).
 10. R.L.Kathren - Health Phy. No.11, 1624-25 (1965).

TABELA

Silikonski lak

lo x lo x 5

ϕ 14 x 5

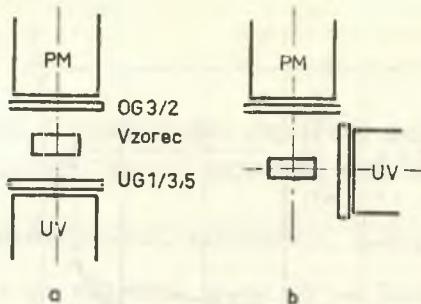
zamazana ploha	ΔF	zamazana ploha	ΔF
gornja lo x lo	18	gornja ϕ 14	38
donja lo x lo	18	donja ϕ 14 (ustop UV)	30
prednja lo x 5 (ustop UV)	38		
bočna lo x 5	18	obod ϕ 14 x 5	o
zadnja lo x 5	20		

Crni tesarol emajl

lo x lo x 5

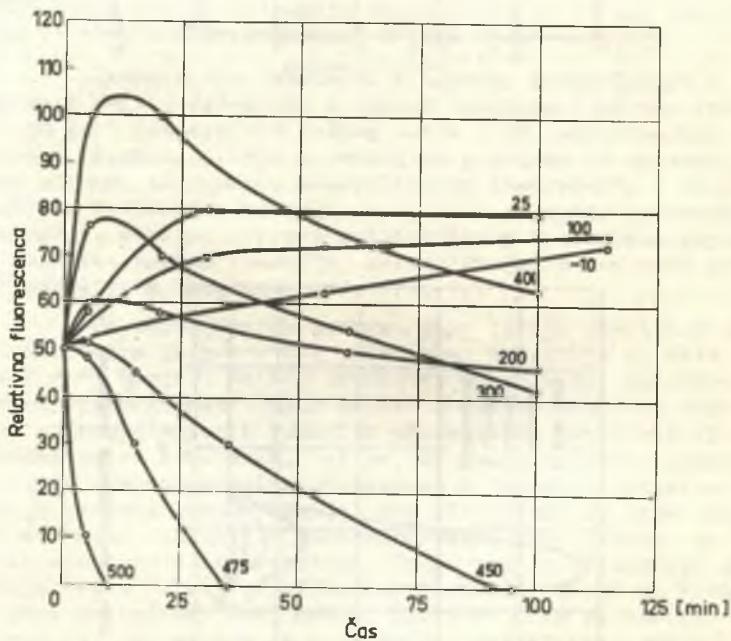
ϕ 14 x 5

zamazana ploha	- ΔF	zamazana ploha	- ΔF
gornja lo x lo	lo	gornja ϕ 14	45
donja lo x lo	o	donja ϕ 14 (ustop UV)	38
prednja lo x 5 (ustop UV)	16		
bočna lo x 5	4	obod ϕ 14 x 5	o
zadnja lo x 5	1		

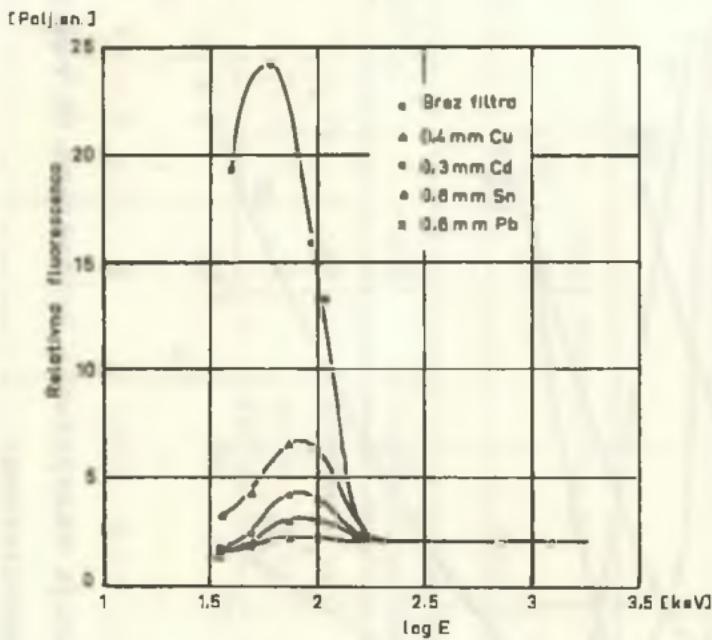


Slika 1: Shema merne glave

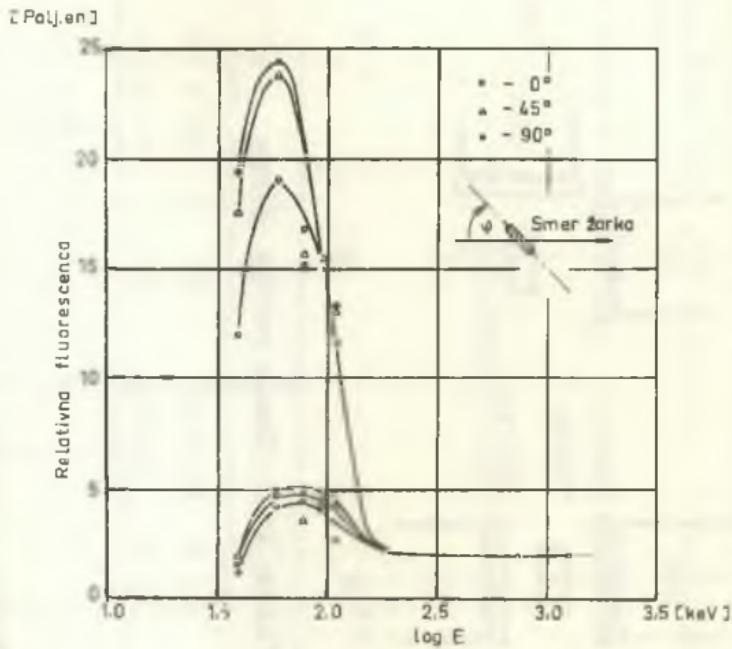
[Polj.en.]



Slika 2: Držanje obasjavanih doziometara na različitim temperaturama.



Slike 3: Energijeske savijenost dascimatara



Slika 4. Orientacione zavisnosti dozimetarskih

METODA ZA ODREĐIVANJE RELATIVNE ENERGETSKE
EFIKASNOSTI Ge(Li) DETEKTORA GAMA ZRAČENJA

M. Stojanović, M. Ninković, I. Slavić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

Vrhunsko energetsko razlaganje i veoma brz razvoj Ge(Li) detektora sa efikasnim zapreminama do 50 cm^3 omogućili su njihovu sve širu primenu u gama spektrometriji.

Teškoće oko tehnologije izrade, postavljanja i održavanja Ge(Li) detektora u radnim uslovima (vakuum reda 10^{-5} mm Hg i temperaturre tečnog azota 77°K) nadoknadjuju se njihovom nezamenljivošću u merenjima u kojima se zahteva, sa jedne strane, efikasan i manipulativan instrument, a sa druge strane optimalno razdvajanje bliskih energija (gama-spektrskopija, analiza uzoraka radioaktivnog materijala nepoznatog sastava, n-gama reakcije, odredjivanje verovatnoća prelaza u pobudjenim jezgrima, itd.) /1, 2/.

Za odredjivanje prinosa gama linija dobijenih spektara neophodno je poznavati efikasnost detekcije za date uslove i dati brojač. Ge(Li) detektori su za sada, uglavnom, nestandardnih geometrijskih oblika i dimenzija. Zbog toga nemani standardizovanih funkcija efikasnosti teorijski ili eksperimentalno dobijenih, već se, za svaki detektor posebno, određuje eksperimentalna efikasnost u funkciji aktuelne energije upadnog gama zračenja. Ova efikasnost se može odrediti merenjem različitih monoenergetskih gama izvora sa poznatim apsolutnim aktivnostima. Druga mogućnost sastoji se u merenju krive relativne efikasnosti pomoću izvora sa kaskadnim gama prelazima. Ovaj metod, korišćen prvo za NaJ(Tl) detektore /3/, primenjen je i za Ge(Li) detektore u radu /4/, za odredjivanje krive relativne efikasnosti u energetskom opsegu gama zračenja od 500 do 1500 KeV-a, sa tačnošću oko 1%.

U ovom radu učinjen je pokušaj da se metod kaskadnih prelaza, za kalibraciju Ge(Li) gama detektora, proširi

na opseg energija od oko 100 do 1500 KeV.

2. OSNOVNI PODACI O IZVORIMA

Za kalibraciju su korišćeni sledeći radioaktivni izvori: Na^{22} , Co^{60} , Sc^{46} i Hf^{180m} . Snimani su fotopikovi svakog od tih izotopa sa dobrom statistikom i na raznim razstojanjima izvora od brojača.

1. Šema raspada Hf^{180m} sa svojim gama spektrom data je na slici 1. Mi smo uzeli samo gama linije od 93,3 KeV, 215,5 KeV i 332,4 KeV koje su u kaskadi i čiji je odnos intenziteta 1:1:1. Odnos broja otkucaja u fotopikovima daje relativnu efikasnost $\text{Ge}(\text{Li})$ brojača za te energije. Pošto su ovo niske energije, mora se uzeti u obzir da su to jako konvertovani gama zraci i potrebno je izvršiti korekciju za internu konverziju. Koeficijenti konverzije su: za 93,3 KeV, $\alpha_k = 2,7 \pm 0,8$; za 215,5 KeV, $\alpha_k = 0,15 \pm 0,05$ i za 332 KeV, $\alpha_k = 0,055 \pm 0,014$.

2. Šema raspada Na^{22} data je na slici 2. zajedno sa gama spektrom. Na^{22} se raspada elektronskim zahvatom i β^+ raspadom na nivo od 1274 KeV. Pri merenju izvor Na^{22} bio je uvijen u olovo debljine 0,3 mm da bi zaustavio sve pozitrone iz izvora i pretvorio ih u gama zračenja. Svaki β^+ raspad daje po dva anihilaciona gama kvanta od po 511 KeV, i uzimajući u obzir odnos elektronskog raspada prema pozitronskom, dobija se da na jedan gama zrak od 1274 KeV dolazi $(1,8119 \pm 0,0011)$ anihilacionih kvanata energije od 511 KeV. Znači, merenjem broja otkucaja u fotopikovima, i korigovanjem za faktor odnosa gama zračenja od 1274 KeV i anihilacionog od 511 KeV dobija se relativna efikasnost brojača za te energije. Anihilacioni fotopik na spektru leži na komptonu od 1274 KeV. To nije zadavalo nikakve poteškoće prilikom obrade, pošto je komptonski deo spektra u toj oblasti ravan.

3. Na slici 3. su dati šema raspada i fotopikovi Sc^{46} . Kao i kod Co^{60} , dva gama kvanta od 888 KeV i 1119 KeV su u kaskadi sa odnosom intenziteta 1:1. Njihov relativan broj otkucaja u fotopikovima daje relativnu efikasnost $\text{Ge}(\text{Li})$ brojača. Teškoću prilikom obrade ovog spektra zadaje fotopik od 888 KeV, koji leži na vrhu komptona od 1119 KeV. Ova teškoća može se lako odstraniti snimanjem spektra monoenergetskog gama-izvora- Zn^{65} . Njegova jedina gama linija ima energiju od 1114 KeV, i vrlo je lako izvršiti korekciju za malu razliku u energiji, normirati fotopik od 1114 KeV na fotopik od 1119 KeV, i oduzeti tako normiran spektar.

Zn^{65} od spektra Sc^{46} .

4. Šema raspada i fotopikovi Co^{60} dati su na slici 4. Kao što se vidi, dva gama kvanta od 1173 KeV i 1332 KeV su u kaskadi i njihov odnos intenziteta je 1:1. Relativan broj otkucaja u fotopikovima kod Co^{60} daje odnos relativne efikasnosti za gama zračenje od 1173 KeV i 1332 KeV.

3. REZULTATI MERENJA

Ge(Li) brojač, koji smo koristili, bio je trapezoidalnog oblika površine $2,25 \text{ cm}^2$ i aktivne dubine 4,5 mm. Radi dobijanja krive relativne efikasnosti, izračunata je prvo teorijska kriva (slika 5). Pretpostavljeno je, zatim, da su teorijska i eksperimentalna efikasnost, za fotopik od 93,3 KeV, Hf^{180m} međusobno jednake. Ovo je uzeto čisto arbitрерно. Na tako uzetu vrednost normirani su eksperimentalni rezultati za fotopikove od 93,3 KeV, 215,5 KeV i 332,4 KeV Hf^{180m} , ucrtane tačke i povućena kriva za tu oblast energije. Sledеća energija, koja je bila na raspolaganju, je 511 KeV Na^{22} . Pošto se nije mogao dobiti neki radioaktivni izvor pogodan da poveže ovaj deo krive od 332,4 KeV do 511 KeV, na grafiku slika 5. kriva je u ovom intervalu energija povućena isprekidanim crtama. Uvezši vrednost za 511 KeV Na^{22} , sa tako dobijene krive, normirana je merna vrednost fotopika od 1274 KeV i ucrtana, a zatim je produžena kriva do nje. Sa krive je pročitana efikasnost za 1173 KeV Co^{60} , a normiranjem efikasnosti za drugu energiju Co^{60} , tok krive se mogao produžiti do energije od 1332 KeV. Gama zraci Sc^{46} od 888 KeV i 1119 KeV služili su za proveru ovako dobijene forme krive. Kriva dobijena na ovaj način sastoji se iz dva dela, koji su, kao što smo videli, spojeni na veštački način.

Ovo je moglo da se izbegne, da se mogao dobiti radioaktivni izvor koji preklapa sa svojim gama spektrom oblast energija jednog i drugog dela krive. Najpogodniji od svih je Mo^{93m} , koji ima tri gama zraka u kaskadi sa odnosom intenziteta 1:1:1, a čije su energije naznačene na slici 5.

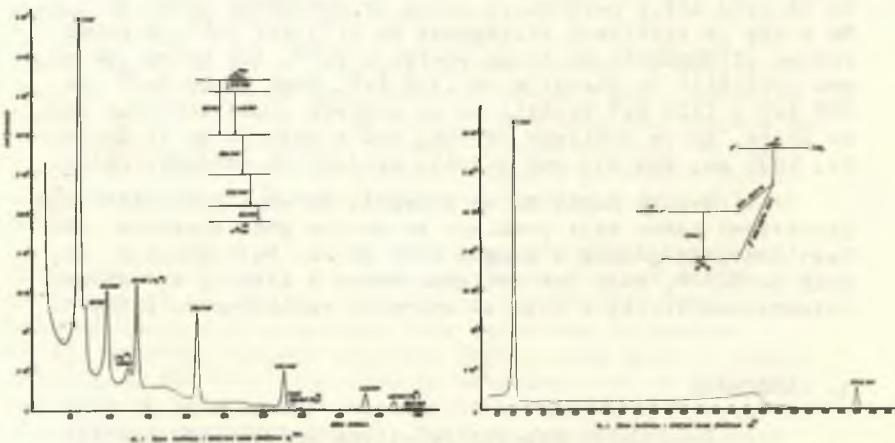
4. ZAKLJUČAK

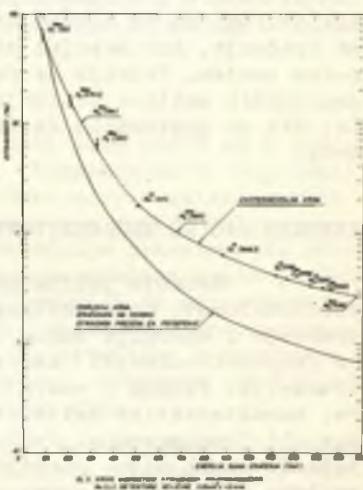
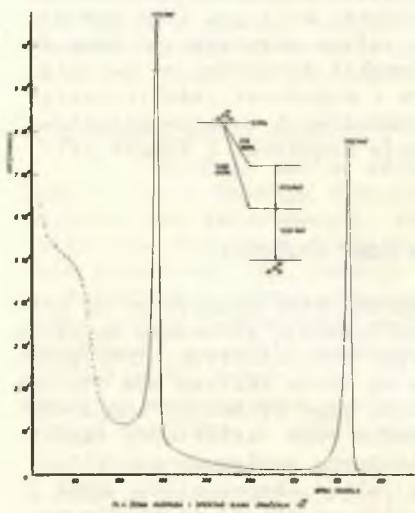
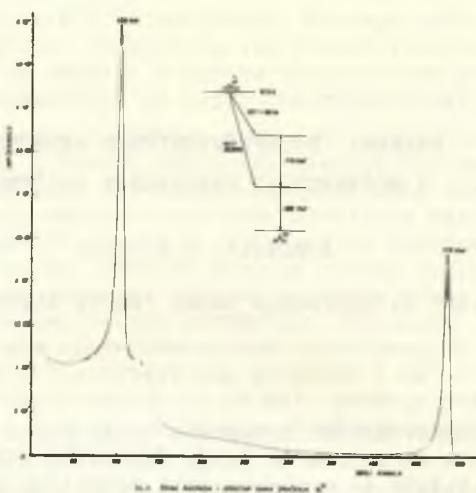
Ovaj način merenja relativne efikasnosti Ge(Li) detektora, kao što se vidi, veoma je prost, pošto nije potrebno više izvora poznate aktivnosti. Sa druge strane ako se žele meriti apsolutne aktivnosti radioaktivnih izvora,

dobijena kriva se može isto tako koristiti. Dovoljno je imati jedan izvor apsolutno izmerene aktivnosti, recimo Co^{60} . Snimajući spektar gama zračenja ovog izvora pod određenim geometrijskim uslovima i normiranjem krive relativne efikasnosti na podatke za standard dobija se kriva apsolutne efikasnosti. Ovakvo dobijena kriva može se sada koristiti za izračunavanje aktivnosti nepoznatog izvora čiji je spektar gama zračenja sniman pod istim geometrijskim uslovima kao i spektar standarda.

LITERATURA

1. G.T.Ewan and A.J.Tavendale, Canad.Journ.of Phys., 42 (1964) 2286.
2. I.A.Slavić, IBK-409 (1966) magisterski rad.
3. N.A.Varmanov, P.S.Samoilov i E.G.Averjanov, P.T.E., 2 (1965) 48.
4. J.M.Freeman and J.G.Jenkin, AERE-R 5142 (1966).





PRIMENA POLUPROVODNIČKIH DETEKTORA U DOZIMETRIJI NUKLEARNOG ZRAČENJA

S.Kostić, B.Ćirilov

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

UVOD

Poluprovodnički detektori imaju danas široku primenu u različitim merenjima na polju nuklearne fizike. Isto tako postoji i težnja za primenom ovih detektora u dozimetriji nuklearnog zračenja, obzirom da njihova raznovrsna svojstva sugeriraju celishodnost takve primene. Mogućnost primene ovih detektora u dozimetriji i problemi koji pri tome nastaju analizirani su za slučaj merenja jačine ekspozicione doze gama zračenja, korišćenjem silicijumskih detektora sa p-n ili p-i-n spojem. Takodje se razmatra i mogućnost identifikacije nepoznatih emitera zračenja kontaminiranih uzoraka materijala, što sa prethodnim ne iscrpljuje mogućnost i drugih primena.

MERENJE JAČINE EKSPozICIONE DOZE GAMa ZRAČENJA

Merenje jačine ekspozicione doze zasniva se na proporcionalnosti kolektovanog nanelektrisanja stvorenog dejstvom zračenja i energije samog zračenja. Kvantitativna odredjenost te proporcionalnosti zavisna je od niza faktora kao što su: intenzitet fluksa i energija fotona gama zračenja, temperatura, karakteristike detektora i način rada detektora, impulsnog ili jednosmernog. Ovakva višestruka zavisnost uslovljava teškoće eksplicitne odredjenosti jačine ekspozicione doze i zahteva definisanje granice u kojima se uticaj pojedinih parametara može smanjiti i proceniti, ili eliminisati.

Impulsni režim detektora

Upotreba silicijumskih detektora kao brojača pogodna je zbog velika osetljivosti jedinične zapremine u poređenju

sa proporcionalnim i GM brojačima. Merenje jačine ekspozicione doze omogućeno je postojanjem proporcionalnosti srednje brzine brojanja impulsa i jačine ekspozicionih doza, uz specificiranje parametara od kojih ova srazmernost zavisi.

Za niske i srednje vrednosti intenziteta upadnog fluksa postoji linearna zavisnost srednje brzine brojanja i upadnog fluksa, pri određenoj energiji gama zračenja. Donju granicu merenja ekspozicionih doza određuje veličina šuma, koji iznosi oko 60 /ur/h . Gornju granicu mogućeg merenja određuje maksimalna vrednost srednje brzine brojanja ostvarena bez gubitaka impulsa. Izborom pogodnog nivoa diskriminacije moguće je nepoželjnu energetsku zavisnost smanjiti i proceniti. Prema eksperimentalnim ispitivanjima Jones /1/ sa silicijumskim p-i-n detektorom površine 1 cm^2 i postavljenim nivoom diskriminacije na 90 keV , srednja greška varijacije broja imp/r za energije gama zračenja između $0,1$ i $1,25 \text{ MeV}$, iznosi oko 17%.

Ovakve osobine silicijumskih detektora, kao i njihove male dimenzije i niski napon inverzne polarizacije, uz danas postojeću mogućnost miniaturizacije elektronskih kola, čine njihovu primenu kao brojača vrlo pogodnom u izradi prenosnih uređaja za merenje jačine ekspozicionih doza u opsegu od 100 /ur/h do 100 r/h .

Jednosmerni režim detektora

Merenje jačina ekspozicionih doza većih od 1 r/min zasniva se na merenju strujnih ili odgovarajućih naponskih signala, kao jednosmernih električnih odziva silicijumskih detektora. Teorijska analiza jednosmernog režima silicijumskih detektora, /2/, ukazuje na postojanje srazmernosti struje detektora i jačine ekspozicionih doza upadnog zračenja. Osim toga, struja proizvedena zračenjem zavisi i od karakteristika detektora i energije zračenja preko linearног apsorpcionog koeficijenta. Prema tome, za dati tip detektora i određenu energiju upadnog gama zračenja, postoji linearna zavisnost struje detektora i jačine ekspozicionih doza.

Uobičajeni način korišćenja silicijumskih detektora u ovakvim merenjima sličan je načinu rada fotonaponskih čelija ili fotodioda. Međutim, pri ovakovom načinu rada detektora linearna zavisnost jačine ekspozicionih doza i merenih jednosmernih odziva detektora može se tada postići samo izborom određenih vrednosti parametara kola, koja se razlikuju za različite opsege merenja jačine ekspozicionih doza. Primenom kombinovanog fotonaponskog i fotodiodnog načina rada detekto-

ra Scharf /2/ je pokazao da se pri nultom naponu polarizacije detektora struja proizvedena dejstvom zračenja može jednostavno i tačno meriti. Princip metode sastoji se u tome da se pri serijski vezanom radnom otporu izabere takav napon*, da napon polarizacije detektora postane jednak nuli. U tome je slučaju inverzna struja p-n spoja detektora u odsustvu zračenja zanemarljiva tako da struja koja prolazi kroz radni otpor predstavlja struju kratkog spoja detektora pod dejstvom zračenja.

Struja kratkog spoja detektora može se meriti osetljivim ampermetrom ili se izračunava iz pada napona na radnom otporu merenog odgovarajućim voltmetrom. Merena struja je u ovom slučaju nezavisna od parametara kola i za dati tip detektora i primenjeno gama zračenje odredjene energije zavisi samo od jačine ekspozicione doze. Eksperimentalna ispitivanja izvedena korišćenjem silicijumskog detektora sa difuzionim spojem površine 1 cm^2 i primenom 30 KV X zračenja sa 0,09 mm poludebljine Al i gama zračenja ^{60}Co , daju očekivane rezultate. U oba slučaja napon kompenzacije linearno raste sa jačinom ekspozicione doze. Struja stvorena zračenjem iznosi $14/\mu\text{A}$ pri 10^5 r/h X zračenja i radnim otporom od 10^6 Ohm . Za gama zračenje ^{60}Co , 30 r/h , dobila se struja od 7 pA sa radnim otporom 10^8 Ohm-a /2/.

ANALIZA KONTAMINACIJE UZORAKA

Pri ispitivanju radioaktivne kontaminacije čvrstih, tečnih ili gasovitih uzoraka, često je potrebno odrediti koji je izotop emiter konstatovane vrste zračenja. Ispitivanja ove vrste vrše se spektrometarski pri čemu je primena poluprovodničkih detektora superiornija nad primenom gasnih i scintilacionih detektora. Da bi se omogućilo merenje spektara nuklearnog zračenja silicijumskim detektorima u terenskim uslovima, za potrebe pokretne dozimetrijske laboratorije, realizovan je niskošumni predpojačavač naelektrisanja. Električna šema predpojačavača data je na sl.1. Kaskadni ulazni stepen sa "field-effect" tranzistorom je sa dinamičkim opterećenjem (bootstraped load). Ovakva konfiguracija daje veliko nominalno pojačanje i široki frekventni opseg. Jaka kapacitivna povratna sprega ostvarena preko kondenzatora kapaciteta 1 Pf čini da je pojačavač linearan i osetljiv na signal naelektrisanja. Ispitana je zavisnost veličine šuma od ukupnog kapaciteta na ulazu predpojačavača, pri jednakim vremenskim

* baterije, nazvan napon kompenzacije

konstantama jednostrukog diferenciranja i integriranja. Najbolji postignuti rezultati, pri vremenskim konstantama od 10/usec, iznosili su oko 2 keV (Si) sa gradijentom porasta šuma od 0,05 keV/pF.

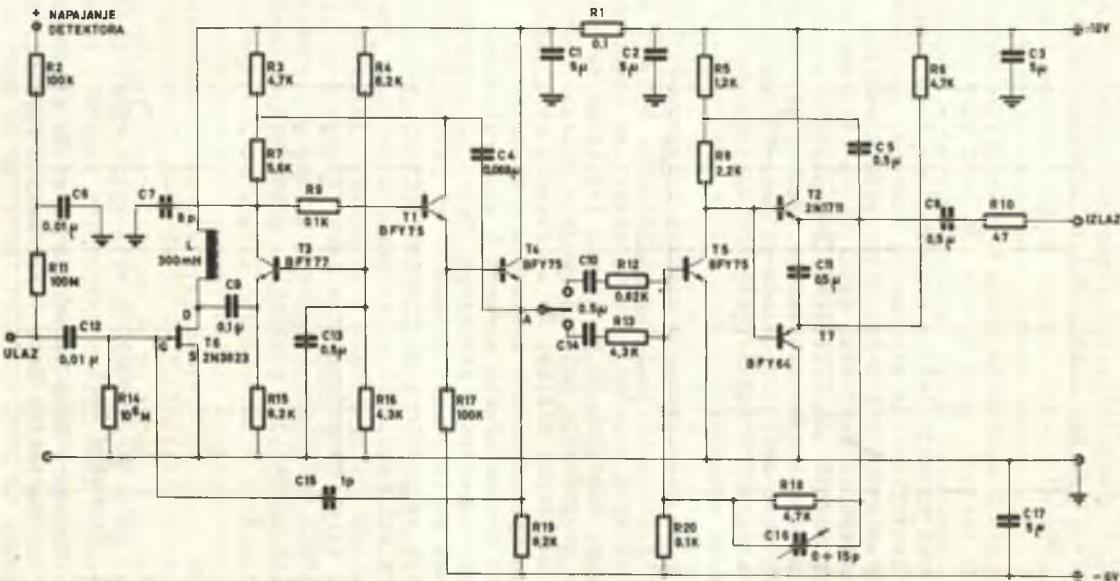
ZAKLJUČAK

Pored merenja jačine ekspozicione doze gama i X zračenja i identifikacije nepoznatih izotopa, poluprovodnički detektori se koriste i u dozimetrijskim merenjima beta zračenja i neutrona. Međutim, detaljnijom analizom može se uočiti da mogućnosti poluprovodničkih detektora u navedenim primenama nisu optimalno iskorišćene. Razlog je, delimično, u samoj prirodi interakcije zračenja sa materijalom poluprovodnika, a većim delom, u nedovoljnoj prilagodjenosti detektora za dozimetarska merenja.

Stalno poboljšanje svojstava poluprovodničkih detektora i istraživanja novih tipova detektora, kao što su detektori sa sopstvenim pojačanjem i detektori sa defektom kristalne rešetke, usmerena su ka izradi detektora sa karakteristikama koje omogućavaju bolja merenja u oblasti osnovnih istraživanja nuklearne fizike. To u izvesnoj meri usporava širu primenu poluprovodničkih detektora u dozimetriji, zbog specifičnosti dozimetarskih merenja i zbog relativno visoke cene tako usko namenjenih detektora. Danas se u većim količinama proizvode silicijumski detektori za detekciju alfa zračenja. Takodje se počelo i sa izradom jeftinih poluprovodničkih detektora prilagodjenih potrebama dozimetrije, što sa mogućnošću realizacije potrebnih elektronskih jedinica tehnikom integrisanih kola, omogućava šire iskorišćenje dobrih osobina poluprovodničkih detektora i njihovu primenu u izradi jednostavnih, malih dimenzija, pouzdanih, prenosnih dozimetarskih uređaja.

LITERATURA

1. A.R.Jones, Gama Ray Dosimetry with p-i-n Junction Counters AECL-2252, February 1965.
2. K.Schafr, Exposure Rate Measurements of X- and Gama-Rays with Silicon Radiation Detectors, Health Physics, Vol.13, pp.575, 1967.
3. C.L.Lindeken, K.F.Petrock, Solid-State Pulse Spectroscopy of Airborne Alpha Radioactivity Samples, Health Physics, Vol.12, pp.683, 1966.



PROPORACIONALNI CH₄ BROJAČ ZA MJERENJE NISKIH AKTIVNOSTI

A. Slićević

Veterinarski fakultet u Zagrebu

B. Breyer, V. Andreić

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Odredjivanje aktivnosti organskih uzoraka na osnovu njihova sadržaja C-14 atoma zahtijeva posebnu tehniku pripreme uzorka i osjetljiv uredjaj za mjerjenje. Razlog su tome vrlo mala specifična aktivnost uzorka i mala energija beta-zračenja ($E_{\max} = 156$ KeV) što ga emitiraju C-14 atomi. Ova se metoda koristi u Institutu "Rudjer Bošković" za tzv. datiranje, ali je ona isto tako pogodna za mjerjenje aktivnosti svježih uzoraka u svrhu odredjivanja kontaminacije.

Uzorak sa suhim ili mokrim spaljivanjem prevodi u plin ugljični dioksid. Ugljični dioksid je zbog velike osjetljivosti na elektronegativne nečistoće nepogodan za punjenje brojača. Čak 0,01% kisika kvari rad brojača /6/. Utjecaj nečistoća očituje se u smanjenju broja impulsa na radnom naponu. Pri odabiranju plina treba voditi računa da budu ispušnjeni slijedeći uvjeti:

1. Kemijski postupak kojim će se radioaktivni ugljik prevesti u plin mora biti jednostavan i pogodan za rutinski rad.
2. Broj atoma ugljika u molekuli odabranog plina treba biti što je moguće veći, da specifična aktivnost uzorka bude što veća, što je osobito važno ako stoje na raspolaganju male količine materijala.

Zbog posljednjeg uvjeta prevodi se CO₂ u ugljikovodike. Acetilen, koji u molekuli imade dva atoma ugljika pokazao se nepogodnim, jer je pod tlakom eksplozivan te je tlak punjenja brojača ograničen samo na 1 atmosferu /2/.

Neki autori /1, 2, 3 i 4/ preporučuju metan kao

vrlo pogodan radni plin brojača, jer je neosjetljiv na elektronegativne nečistoće. Prema Diethornu /2/ ni 0,35% zraka ne utječe na rad brojača. Naša metoda provjeravanja rada brojača kalibracijom s Co-57 pokazala je da se rezolucija brojača punjenog nepročišćenim metanom mijenja. Zato smo praktičirali čišćenje plina prije svakog punjenja.

Ugljični dioksid se prevodi u metan prema slijedećoj reakciji:



Kao katalizator koristi se rutenij. Konverzija ugljičnog dioksida u metan je brza i kvantitativna.

Slika 1. prikazuje aparaturu u kojoj se može prevesti u metan 1,4 g ugljika u obliku CO₂ koliko je potrebno za jedno punjenje brojača. Reaktor, u kome se izvodi konverzija, je komad cijevi iz nerđajućeg čelika zatvorene na oba kraja. Na gornjem kraju nalazi se manometar, grijač katalizatora i priključak za punjenje odnosno za evakuiranje reaktora. Grijač s katalizatorom lagano se vadi u slučaju kada treba promijeniti dotrajali katalizator ili grijač.

Grijanje katalizatora (475°C) i istovremeno hlađenje stijenke reaktora (tekuća voda) uzrokuje konvektivno gibanje plinova, njihovo miješanje i kontakt s katalizatorom. Konverzija je kompletna za 2 sata. U reakciji nastala voda skuplja se na dnu reaktora. Ostatak vodika preostao u reakciji se ispumpa. Ispumpavanje je kratkotrajno (30 sek), jer pri temperaturi tekućeg zraka u kome se za vrijeme evakuiranja nalazi reaktor, tlak para metana iznosi čak 40 mm Hg. Dulje ispumpavanje uzrokovalo bi gubitak metana. Metan se čisti od eventualnih tragova ugljičnog dioksida, dušikovih oksida i vode kalijevom lužinom, Körblovom supstancom, manganovim dioksidom i magnezijevim perkloratom. Metan se zatim prebacuje u klopku punjenu silikagelom i hladnjenu tekućim zrakom. Daljnjim evakuiranjem oslobođi se metan od preostalih primjesa i tako dobivenim čistim metanom puni se brojač.

Brojač je vrlo jednostavne geometrije, a radi u proporcionalnom području. Plinsko pojačanje brojača prema Diethornu /2/ dano je izrazom:

$$\ln A = \frac{\ln 2}{\Delta V \ln \frac{b}{a}} V \ln \left(\frac{V}{k \cdot p \cdot a \ln \frac{b}{a}} \right),$$

gdje su a , b polumjeri anode odnosno katode, V i K su empirijski dobivene konstante, V napon, a p tlak plina u brojaču.

Gornja je jednadžba provjerena i utvrđeno je da odgovara za naš brojač. Da bi se mogli projektirati novi brojači istog ili sličnog tipa proveden je račun plinskog pojačanja u ovisnosti o a , b , p i V prema gornjoj formuli. Račun je proveden na digitalnom računskom stroju PDP-8. Kao rezultat dobivena je tabela sa 6000 podataka. To omogućuje da se iz tabele vrlo jednostavno na osnovu odabranih parametara odrede svojstva brojača ili usporede dva brojača različite konstrukcije.

Mjera kvalitete rada brojača odredjena je na osnovu pomaka spektralne linije od 6,5 KeV, koju emitira Co-57, snimljene amplitudnim analizatorom. Rezolucija našeg brojača za tu energiju iznosi 21% (sl.2).

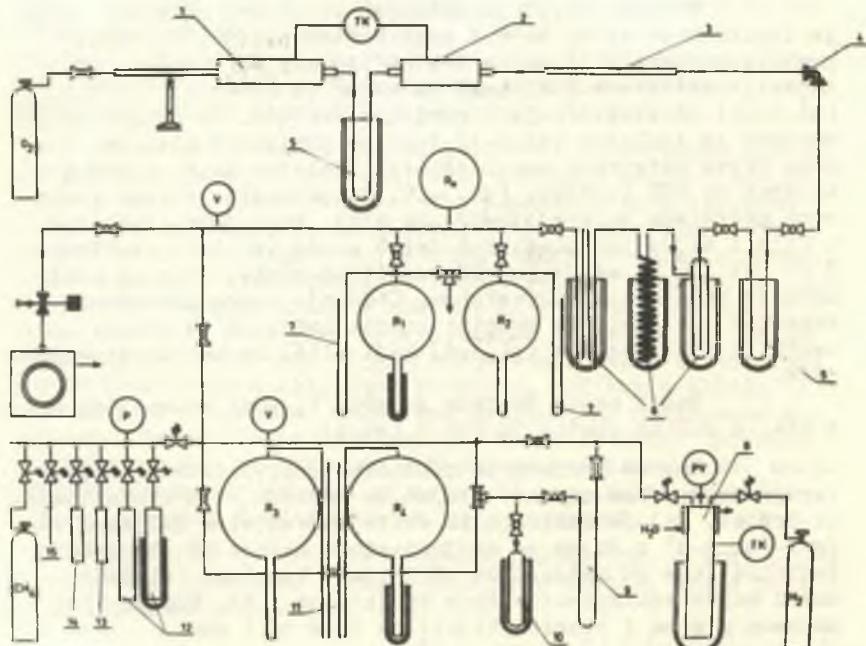
Brojač (sl.3) je načinjen iz cijevi od mjedi koja je ispitana na alfa, beta i gama kontaminaciju. Unutarnji promjer cijevi je 46 mm, a dužina 340 mm. Na gornjem kraju cijev je zatvorena poklopcom na kojem je montiran ventil (sl.3-11) za evakuiranje i punjenje brojača. Na drugom kraju umetnut je izolator (sl.3-3) koji je pritegnut maticom. Gumena brtva osigurava neprodušnost. Izolator služi i kao priključak za FET pojačalo (sl.3-1). S unutrašnje strane izolatora učvršćena su dva štapića od mjedi koji drže izolator, a cijeli taj sklop služi kao držač anode (sl.3-5) (volfram, $\varnothing 25 \mu$). Da bi se osigurala kvaliteta anode, žica je prije montaže pregledana mikroskopom. Čišćenje anode provedeno je žarenjem u argonu. Na sredini katode načinjen je prozor od berilija debljine 5μ (sl.3-6) koji služi za kalibraciju brojača.

Radni napon brojača je 4800 V, puni se na tlak od 4 ata, a dužina platoa je 800 V (sl.4).

Katoda brojača je zaštićena polivilinskom cijevi, jer je na visokom naponu. Brojač se smješta u antikoincidentni brojač. Taj je načinjen iz dviće koaksijalne željezne cijevi (sl.3-4) u čijem se medjuprostoru nalazi 18 brojačkih jedinica koje su međusobno odijeljene lamlama (sl.3-8). Radni napon antikoincidentnog brojača je 1 kV. Punjen je smjesom argona i benzina (14:1) na tlak od 1 ata.

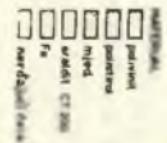
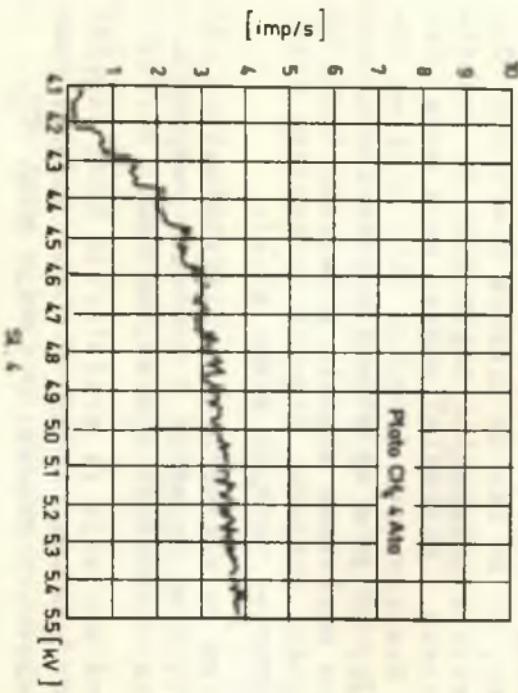
LITERATURA

1. Burke, W.H. i Meinschein W.G.: Rev.Sci.Instrum.26, 1137 (1955).
 2. Diethorn W.U.S.A.E.C. rpt. NYO-6628 (1956).
 3. Fairhall A.W., Schnell W.R. i Takashima, Y.: Rev. Sci. Instr. 32, 323 (1961).
 4. Olson E.A.: Proceedings of the Sixth International Conference Radiocarbon and Tritium Dating, rpt.CONF-650652 (1965).
 5. Suess H.E.: Science 120, 5 (1954).
 6. De Vries Hl. i Barendsen G.W.: Physica 19, 987 (1953).

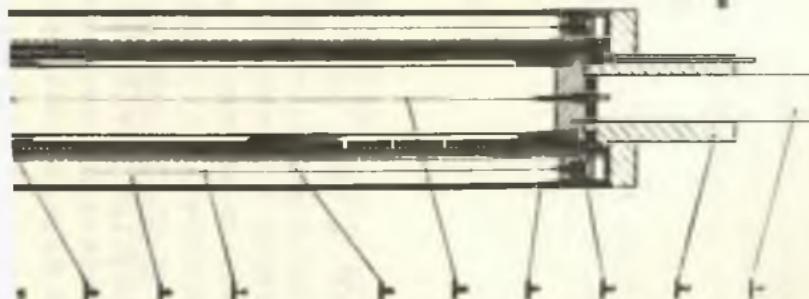
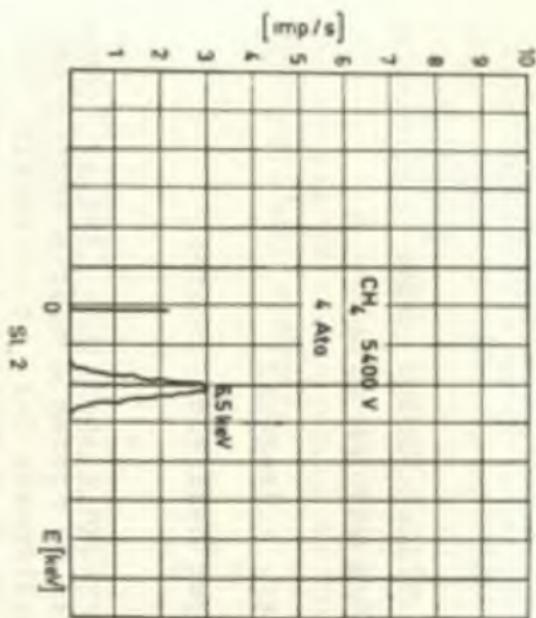


SL.1

Sl. 3



II



ELEKTRONIČKI SISTEM NISKOG ŠUMA
ZA MJERENJE METODOM C-14

B.Breyer, A.Gregoran

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Uredjaj koji je napravljen u Institutu "Rudjer Bošković", a koji ćemo opisati, služi za mjerjenje niskih aktivnosti - tačnije, mjerjenje prirodne aktivnosti C-14 iz prirodnih organskih uzoraka (drvo, kosti i sl.). U sadašnjoj fazi uredjaj služi za mjerjenje starosti pomoću C-14 metode (mjerimo rimske iskopine i sl.), međutim, isti uredjaj bez ikakvih izmjena može se upotrijebiti za mjerjenje količine radioaktivnog ugljika u kostima živih bića i to korelirati sa atomskim pokusima koji povećavaju koncentraciju C-14 u zraku, što je u vezi s tematikom koja zanima ovaj skup.

Problemi koji se susreću u vezi s tim su trojaki: kemijski, problemi proporcionalnog brojača i problem elektronike. Ovdje će biti gorova o elektroničkom dijelu.

Organski uzorak koji se mjeri pretvara se kemijskim putem u metan koji sadrži originalnu koncentraciju C-14. Problem se sastoji u tome, da je potrebno detektirati što manje signale iz proporcionalnog brojača. U brojač treba staviti što veću količinu uzorka, pa se ide na tlakove 2 - 5 atp. Goraju granicu tlaka određuje maksimalni napon koji je praktičan za svakodnevnu upotrebu i minimalni signal koji može detektirati elektronika. Dieethornovom formulom (I₁) može se odrediti plinsko pojačanje, pa je s te strane moguće dosta tako procijeniti promjene amplitude signala promjenom tlaka i ostalih fizičkih parametara brojača. Signali iz brojača pojavljuju se i broje u aparaturi po blok shemi sl.1).

Osnovni problem je usklajivanje diskriminatora (donjem pragu analizatora), šuma pojačala i postotka raspada u plinu brojača koji želim obuhvatiti mjerenjima (I₁) (sl.2).

Površina ispod krivulje ρ predstavlja broj raspada C-14 (integralni spektar), a onaj ispod N broj impulsa šuma, koji budući da je šum slučajni proces, prijedju prag V_p .

Krivulju β moguće je izmjeriti višekanalnim analizatorom (sl.3), dok se broj prijelaza šuma može egzaktno izračunati uz poznatu snagu šuma (RMS)² i uz definirani način oblikovanja impulsa, a to je u ovom slučaju jedna RC derivacija i dvostruka RC integracija impulsa (L4).

Proračun glasi ovako: Šum na ulazu u linearno pojačalo potječe iz predpojačala sa field effect tranzistorom i ima frekvencijski spektar.

$$W(\omega) = W_s + \frac{W_p}{T_p^2 \omega^2}$$

Ovakav šum može se pretvoriti u bijeli šum RC derivatorom sa RC konstantom T.

$$T = \left(\frac{W_s}{W_p} \right)^{1/2} \cdot T$$

Budući da je broj prolaza kroz nivo nula u jedinici vremena određen formulom (L4)

$$\lambda = \frac{1}{\pi F} \left(- \frac{R''(0)}{R(0)} \right)^{1/2} \quad 1.$$

uz $R(\zeta)$ – autokorelaciona funkcija šuma (Fourier-ova transformacija spektra snage) na izlazu iz dvostrukog RC integratora, koja slijedi RC derivaciju ("izbjeljivanje").

Za prijelaz u pozitivnom smjeru, koji nas zanima, dobivamo:

$$\lambda_+ = \frac{1}{2 \pi F RC}$$

Želi li se naći broj prelaza kroz nivo X, dobiva se vjerojatnost

$$P = \lambda \exp \left(- \frac{X^2}{2 R(0)} \right)$$

Ova formula je dovoljna da se nadje vjerojatnost, jer se $(R(0))^{1/2}$ može mjeriti kao $\frac{W_p}{2,35}$ uz poznate kalibracione impulse (L3).

Pri tome treba uzeti u obzir da optimalni odnos signal - šum daje vremenska konstanta koja je za 1,73 puta manja

od navedene i da je njena upotreba pogodnija za slučajevе kada je prag iznad $3,3 \sqrt{R(O)}$.

Uz ovaj račun postoje svi elementi koji omogućuju mjerjenje vrlo niskih aktivnosti.

Broj impulsa P od šuma koji prelaze nivo praga diskriminатора (V_d) rasporedjen je u vremenu po Poissonovoj razdoblji isto kao i kozmičko zračenje koje se ne može potpuno izbjegći antikoincidentnim prstenom. Prema tome se dio impulsa šuma iznad V_d uračunava u nesigurnost mjerjenja.

Kod mjerjenja broja impulsa n standardna devijacija je \sqrt{n} . Isto tako poznat je i red veličine backgrounda (osnovnog zračenja) (B), pa se može unaprijed odrediti koliko će se povećati standardna devijacija čitavog mjerjenja, ako se uzme do datni broj impulsa šuma s time, da se taj broj impulsa može tačno dozirati u skladu sa prije izvedenom formulom.

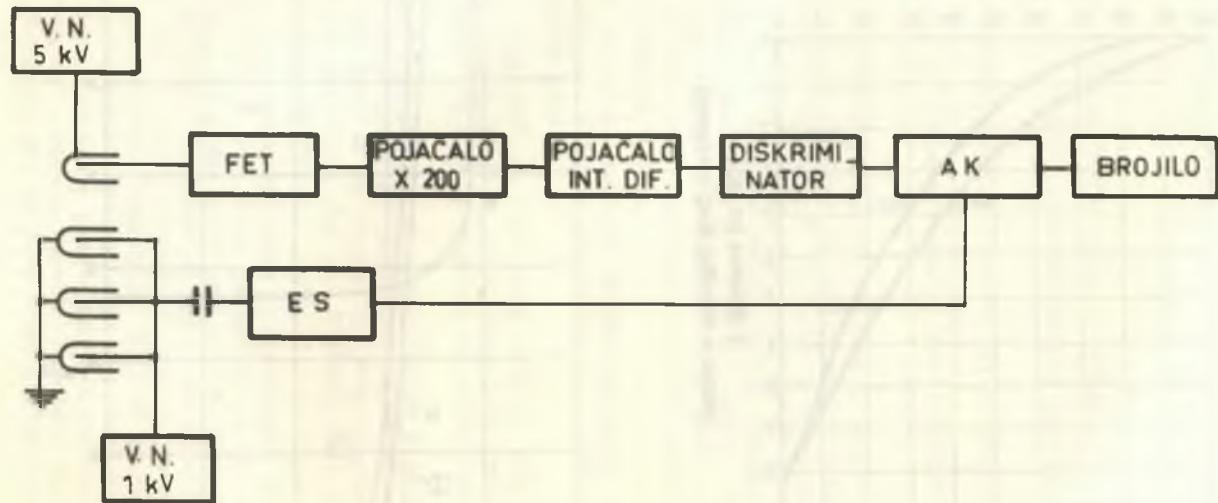
Praktički se ovo razmatranje primjenjuje na uredjaju prema blok shemi (sl.1). Pretpojačalo je smješteno direktno na anodi i s njom je istosmјerno vezano. Ovo je omogućeno time što se upotrebljava negativni visoki napon za proporcionalni brojač, koji se dovodi direktno na katoru. Pretpojačalo je integrator sa FET-om (ENC = 250 parova) (L2), a pojačalo linearno, proizvedeno u IRB-u. Koincidentni sklop ima kašnjenje i paralizu potrebnu za usklajivanje impulsa iz centralnog brojača. Izvori visokog napona su tranzistorizirani, s tim da je visoki napon od 5000 V stabiliziran povratnom vezom sa prvog stupnja COCROFT-WALTON-ovog sklopa. Cijelokupna aparatura je tranzistorizirana.

Na kraju još želim napomenuti da su u postavljanju i izvedbi ovog rada imali važnu ulogu savjeti i direktne učestvovanje dr D.Srdoča i dr V.Radeke.

LITERATURA

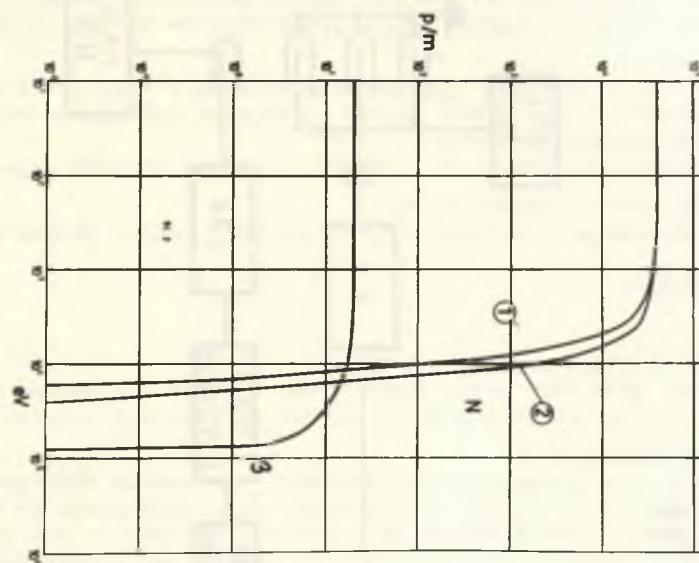
1. Diethorn W.: "A Methane Proportional Counter System for Radiocarbon Measurements".
2. Radeka V.: "Low-Noise Preamplifiers for Nuclear Detectors" Nucleonics, July 1965.
Radeka V.: The Field Effect Transistor its Characteristics and Applications", IRE Trans.on Nucl.Sci., NS 11, p.358, 1964.
3. Blalock T.V., Pierce J.F.: "Applications of FET in Low-Noise Wideband Voltage and Charge Sensitive Preamplifiers".

199

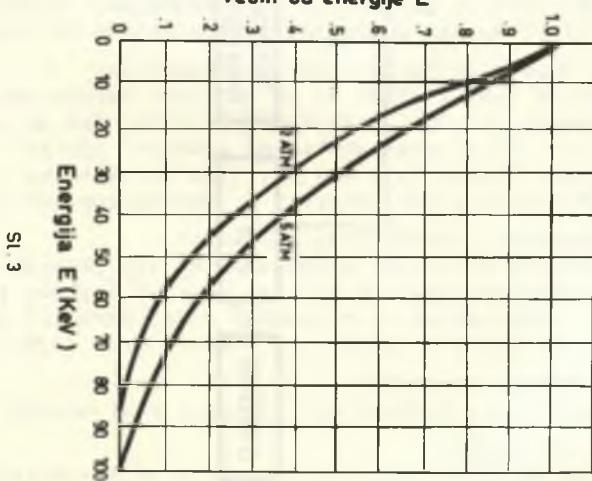


SL, 1

SL. 2



Relativni broj impulsa u minuti
većih od energije E



SL. 3

ODREĐIVANJE ENERGETSKOG PRAGA ZA DETEKCIJU BETA ČESTICA
KOD GASNOG PROPORCIONALNOG BROJAČA

B.M.Kamal, A.B.Milojević, Dj.N.Bek-Uzarov

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Jedan od najvažnijih faktora u zaštiti od ionizujućeg zračenja jeste otkrivanje kontaminacije ljudskog tela i drugih materijala detekcijom nuklearnog zračenja pogodnim detektorima. Detekcija niskoenergetskog beta zračenja, zbog svojih specifičnosti, zahteva detektore sa visokom efikasnošću kako energetskom tako i geometrijskom, kao i dobro definisanje uslova rada detektora. Visoka efikasnost detekcije (98%) postiže se obično upotrebo 4-pi proporcionalnih gasnih brojača kao detektora.

Da bi se energetska efikasnost mogla odrediti mora se naći energetski prag za detekciju koji jako zavisi od unutrašnjeg gasnog pojačanja.

Iz tog razloga cilj ovog rada je bio ispitivanje procesa gasnog pojačanja u proporcionalnom gasnom brojaču kao i ispitivanje uticaja ovih procesa na energetski prag.

Postavka metode za određivanje energetskog praga.
Obično se unutrašnje gasno pojačanje određuje praćenjem promene amplitude impulsa na izlazu brojača (upotrebljavajući monoenergetske elektrone /1/ ili X zrake /2/) u funkciji применjenog visokog napona.

U ovim eksperimentima upotrebljeno je beta zračenje izotopa ^{14}C , ^{60}Co i ^{32}P . Iako je spektar beta zračenja kontinuiran, on se može posmatrati kao zbir monoenergetskih elektrona čije se energije kreću od nulte do maksimalne energije karakteristične za svaki izotop. Uzimajući srednju vrednost maksimuma u spektralnoj raspodeli impulsa na izlazu 4 - pi brojača kao referentni impuls, može se izračunati faktor unutrašnjeg gasnog pojačanja praćenjem promene amplitude ovog impulsa u funkciji visokog napona. Za niske napone (oblast jonizacione komore) gde se zbog male jonizacione moći beta

čestica ne može dobiti detektabilan impuls, korišćen je alfa emiter ^{239}Pu .

Merenja i rezultati: Sva merenja su izvedena na 4-pi gasnom proporcionalnom brojaču sa protokom tehničkog metana [3]. Prethodno je proverena linearnost sistema predpojačavač - pojačavač i radjeno je pri odnosu šum/signal manjim od 10%. Pojačanje pojačavačkog sistema bilo je reda 10^4 .

Promena amplitude referentnog impulsa posmatrana je u funkciji tri nezavisne promenljive: visokog napona, nivoa diferencijalnog kanala i spoljnog elektronskog pojačanja. Promenom visokog napona menjano je unutrašnje pojačanje, nivo diferencijalnog kanala je bio mjerilo visine amplitude impulsa, dok je spolnjim elektronskim pojačanjem regulisana visina amplitude u potrebnom intervalu.

Na ovaj način su dobijeni podaci za niz krivih koje daju zavisnost odbroja u funkciji anodnog napona kod raznih visina nivoa diferencijalnog kanala za tri korišćena izotopa (^{14}C , ^{60}Co , ^{32}P). Sl.1. predstavlja ovaj niz za ^{32}P .

Iz niza krivih za svaki izotop, dobijaju se podaci za druge krive, koje daju zavisnost visine amplitude referentnog impulsa od anodnog napona (Sl.2). Pri tome, za vrednosti anodnog napona uzimane su one vrednosti koje odgovaraju maksimumu u raspodeli impulsa (tzv. referentni impuls) na izlazu brojača za svaku krivu niza tj. za svaki nivo diferencijalnog kanala (visina amplitude referentnog impulsa). Praćenjem visine amplitude impulsa alfa čestica ^{239}Pu u funkciji visokog napona dobijena je ova zavisnost za oblast jonizacione komore i početak dela proporcionalne oblasti.

Uzimajući odnos eksperimentalnih vrednosti visine amplitude za ^{239}Pu i tri korišćena beta emitera za isti visoki napon (pošto amplituda impulsa u ovoj oblasti zavisi od primarne ionizacije, ovaj odnos je konstantan) dobijena su tri faktora iz kojih, koristeći i eksperimentalnu krivu za ^{239}Pu , ekstrapolacijom su krive za beta emitera kompletirane (deo Sl.2. dat crticama). Normalizacijom krivih sa Sl.2. dobija se kriva (Sl.3) koja daje apsolutnu vrednost faktora unutrašnjeg gasnog pojačanja u funkciji napona.

Praćenje promene maksimuma raspodele impulsa i uimanje ovog maksimuma za referentni impuls je korektno u oblasti jonizacione komore i u proporcionalnoj oblasti gde je relativni odnos visina impulsa spektralne raspodele konstantan. U oblasti ograničene proporcionalnosti (zbog pojave prostornog

naelektrisanja) ovaj tretman nije sasvim ispravan, pošto se sa porastom napona, amplitude manjih impulsa brže povećavaju, pa je i amplituda merenog referentnog impulsa veća od stvarne amplitude koja bi se dobila kada prostorno nanelektrisanje ne bi usporavalo porast amplituda velikih impulsa. Ovo se ogleda u većim strminama krivih u intervalu od 2000 do 2600V. Iz tog razloga, u ovom intervalu eksperimentalne krive su ekstrapolisane.

Poznавајући faktor unutrašnjeg gasnog pojačanja, može se izračunati minimalni broj primarnih jonskih parova N koji daju minimalni detektabilni impuls pomoću formule:

$$N = \frac{C V}{k e M A} \quad (1)$$

gde je C - kapacitet brojač-ulaz predpojačavača u Farad-ima; V - minimalni nivo diskriminacije u voltima; k - kolektorski faktor za pozitivne jone; e - nanelektrisanje elektrona u kumanutrašnjeg gasnog pojačanja; M - faktor

Iz nadjene vrednosti za N , srednja vrednost za energetski prag E nalazi se iz relacije $\bar{E} = N\bar{W}$, gde je \bar{W} srednja energija u eV, potrebna za formiranje jednog jonskog para u metanu /4, 5/.

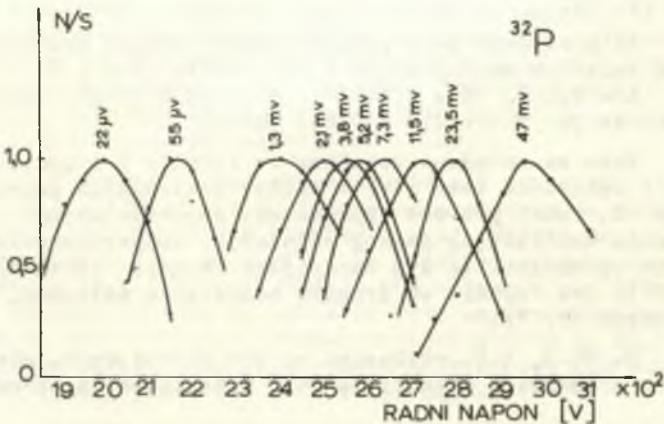
Za korišćeni 4-pi proporcionalni brojač vrednosti pojedinih veličina su: $C = (35 \pm 1) 10^{-12} F$; $V = 6 V$; $k = 0,5$; $A = 2 \times 10^4$; $M = 2,2 \times 10^4$; $\bar{W} = (30 \pm 2) eV$, odakle je nadjeno da je $E = (0,18 \pm 0,03) KeV-a$.

Kako se navedene veličine iz formule 1 mogu dosta precizno i relativno lako meriti izuzev unutrašnjeg gasnog pojačanja M , radi provere ispravnosti postavke metode za određivanje unutrašnjeg gasnog pojačanja, eksperimentalni rezultati su uporedjeni sa dve empirijske formule (Diethorn i Rose-Korff). Ove formule su drugim, nezavisnim metodama, bile već proverene /6, 7/.

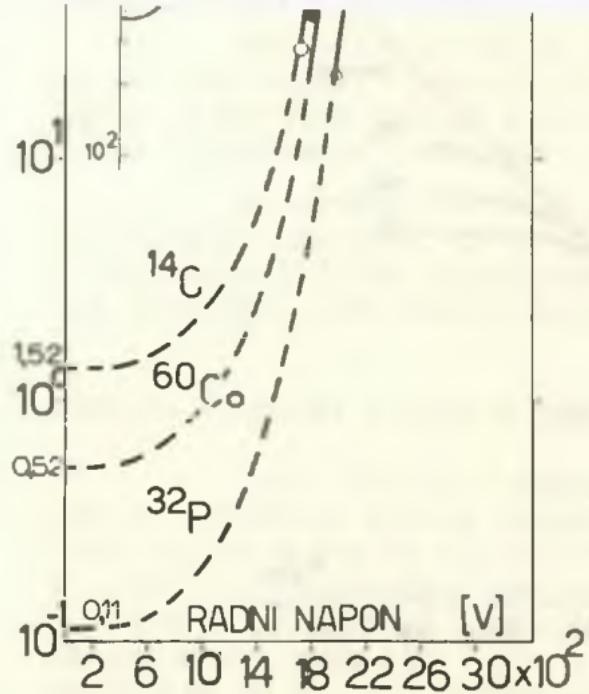
Na Sl. 4. i 5. prikazana su ova upoređenja, gde se vidi dobro slaganje u oblasti za koju važe pomenute formule.

LITERATURA

1. R.Touzin: Contribution à la mesure absolute des solutions radioactives. Réalisation d'un amplificateur non saturable; A la Faculté des Sciences de l'université de Paris (1964): Intern.Doc.
2. R.Gold and F.F.Bennett, Phys.Rev. 147. 201 (1966).
3. Dj.Bek-Uzarov et al.; Tehnika, Radioaktivni izotopi i zračenja, br.11, 2051 (1962).
4. W.T.Price, Nuclear Radiation Detection; McGraw Hill Book Company, New York - San Francisco - Toronto - London (1954).
5. S.A.Korff, Electron and Nuclear Counters; D.Van Nostrand Company, Inc.; Toronto - New York - London (1955).
6. H.J.Specht and P.Armbrust, Nukleonik 7, 8 (1965).
7. G.E.Kocharov and G.A.Korolev, Bull.Acad.Sci. USSR, Phys. Ser. 27, 308 (1963).

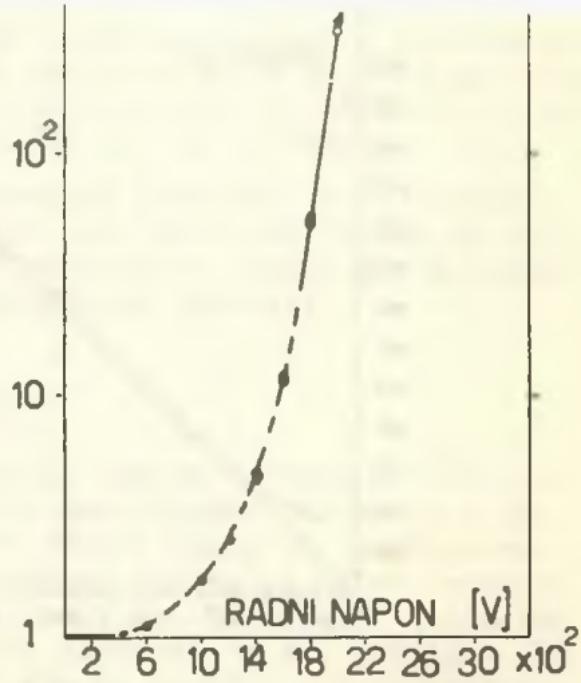


SL.4



SL. 2

205



SL. 3

10^2

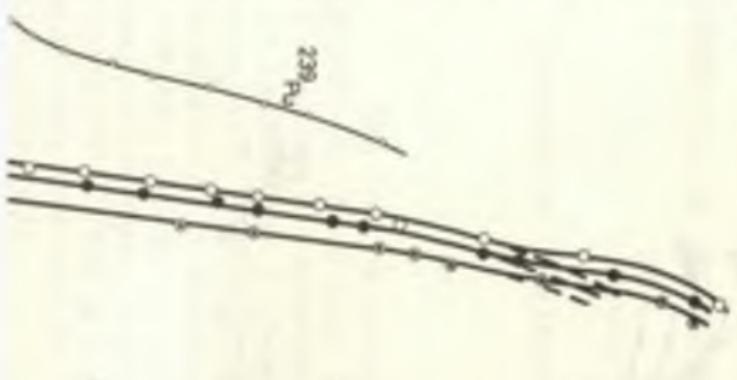
10^3

10^4

10^5

AMPLITUDA IMPULSA [μ V]

^{239}Pu



10^3

10^4

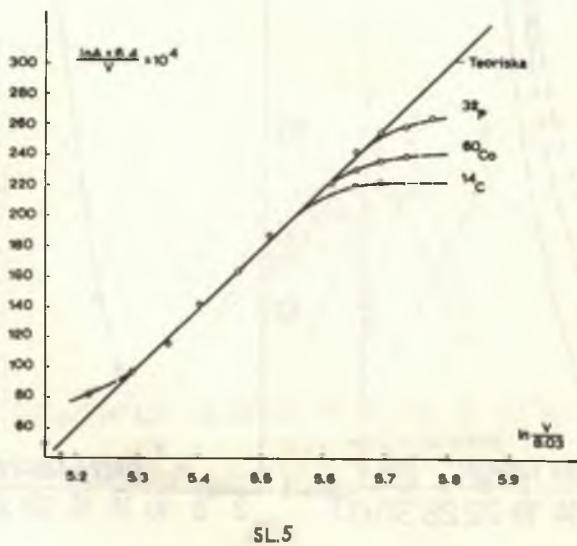
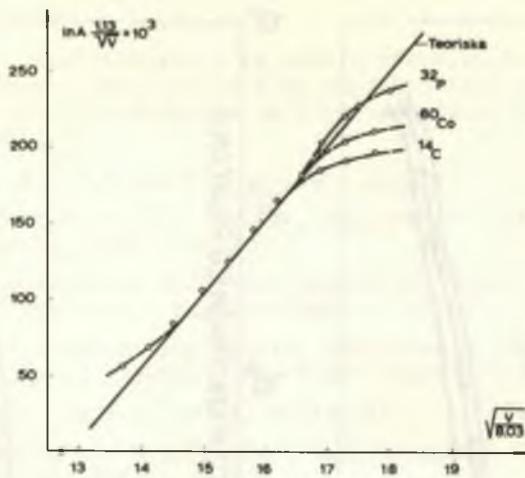
10^5

10^6

FAKTOR UNUTRAŠNJE POJAČANJA

^{32}P





ODREDJIVANJE KARAKTERISTIKA GRAFITNE JONIZACIONE KOMORE NAMENJENE ZA APSOLUTNO MERENJE DOZA X I GAMA ZRAČENJA

P.Mirić, I.Mirić i M.Prokić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

UVOD

Kao što je poznato, u našoj zemlji nije definisan nacionalni standard koji određuje jedinicu za izlaganje dejstvujućih zračenja. U takvoj situaciji ovlašćene ustanove za baždarenje i atestiranje instrumenata koji se koriste za dozimetriju jonizujućih zračenja moraju da obezbede sopstvene standarde i metode za standardizaciju. Ovakvi standardi u periodu dok se ne usvoji Državni standard obezbeđuju jedinstven način rada, a po usvajanju Državnog standarda dovode se u referentnu vezu s njim. Na taj način se reguliše i pitanje apsolutne greške, jer postoji potpuni uvid u stanje ranije obavljenog rada.

Naš cilj je bio da se u okviru potreba i obaveza koje ima IBK napravi ionizaciona komora koja bi služila kao standard za merenje jačina ekspozicije od oko 100 mR/h do 10.000 R/h u energetskom intervalu od 0,2 MeV do 2,0 MeV.

Na osnovu izvršene analize podataka iz literaturе došlo se do zaključka da ionizaciona komora načinjena od grafita, sa osetljivom zapreminom napunjeno vazduhom pod normalnim uslovima, predstavlja najpogodnije rešenje.

OSNOVNI TEHNIČKI PODACI O KOMORI

Izbor oblika i dimenzija komore izvršen je (1) na osnovu potrebnog mernog opsega i energetskog intervala u kojima komora treba da se koristi. Merni opseg je uslovljavao da osetljiva zapremina bude dovoljno velika da bi se struja ionizacije pri jačini ekspozicije od $0,1 \text{ R/h}$ mogla lako meriti (najmanje reda 10^{-15} A), a da istovremeno pri jačinama ekspozicije od 10^4 R/h korekcija struje zasićenja bude zanemarljiva.

Na osnovu izvršenih proračuna i analiza (1), (2) odlučeno je da se napravi cilindrična komora sa kvadratnim aksijalnim presekom. Konstruktivni podaci za komoru su sledeći:

Prečnik osetljive zapreme	20 mm
Dužina osetljive zapreme	20 mm
Prečnik centralne elektrode	4 mm
Dužina centralne elektrode	16 mm
Osetljiva zapremina	6,08 cm ³

Komora ima zaštitni prsten da bi se dobilo homogenije polje i smanjilo površinsko curenje na izolatoru.

Telo komore i centralna elektroda izradjeni su od nuklearno čistog grafita gustine $1,70 \text{ gr/cm}^3$. S obzirom na naše mogućnosti obrade grafita, minimalna debljina zida komore nije mogla da bude manja od 1 mm, što odgovara efektivnoj debljini od 1,6 mm ili 272 mg/cm^2 , ako je maksimalni ugao elektronske emisije $\Theta = 85^\circ$.

Za postizanje elektronske ravnoteže u celom predviđenom opsegu energija gama zračenja, odnosno za određivanje struje komore pri nultoj debljini zida, predviđen je skup kapica od grafita koje navlačenjem na telo komore povećavaju debljinu zida do potrebnih granica.

RADNI NAPON KOMORE

Napajanje komore se vrši iz stabilisanog izvora jednosmernog napona preko potenciometra koji omogućava kontinualnu promenu od 0 V do 350 V. Za merenje struje koristi se elektrometar sa dinamičkim kondenzatorom proizvodnje Electro-nic Instruments (EIL).

Da bi se odredili uslovi rada za ceo predviđen opseg, izvršena su merenja u poljima sa jačinama ekspozicije reda $0,1 \text{ R/h} - 10^4 \text{ R/h}$. Iz dobijenih rezultata sledi da je za jačine ekspozicije do $5 \cdot 10^3 \text{ R/h}$ radni napon od 150 V dovoljan da obezbedi dobar režim rada komore, odnosno da uticaj rekonstrukcije bude potpuno zanemarljiv (ispod 0,1%).

Provera usvojene vrednosti za radni napon je izvršena merenjem struje ionizacije u funkciji jačine ekspozicije pri konstantnom radnom napunu od 150 V. Eksperimentalni podaci su prikazani na slici 1. Očigledno je da postoji potpuna

linearnost izmedju struje ionizacije u komori i jačine ekspozicije, što potvrđuje da je pod navedenim uslovima rekombinacija zanemarljiva.

FON I STABILNOST RADA KOMORE

U periodu od 15 meseci eksperimentalnog rada sa komorom sistematski je proveravana struja fona i stabilnost, odnosno reproducibilnost rada komore za različite jačine ekspozicije. Obradom dobijenih podataka ustanovljeno je da struja fona komore iznosi $1-2 \cdot 10^{-15}$ A. Ova vrednost je oko 50 puta manja od struje koja nastaje u komori pod dejstvom jačine ekspozicije od 0,1 R/h. Može se uzeti da dobijeni odnos obezbeđuje dovoljnu preciznost merenja na donjoj granici predviđenog opsega jačina ekspozicija.

Rezultati dobijeni u isto vreme izlaganjem komore odredjenim jačinama ekspozicije pokazuju da je stabilnost i reproducibilnost rada komore bolja od 0,05%.

KOREKCIJE ZA RASEJAVANJE

Usled rasejavanja primarnog zračenja na materijalu nosača komore, kablovima i dr. može da dodje do nepoželjnog povećavanja struje ionizacije u komori. U ovom razmatranju se ne uzima u obzir uticaj rasejanja na okolnim predmetima koji nisu funkcionalno vezani za rad komore, već samo na onom materijalu koji ima uvek isti uticaj na njen rad. Izračunavanje ovog uticaja je vrlo teško i neprecizno, pa je neophodno da se odredi merenjem.

Odredjivanje uticaja prisustva kablova je vršeno na taj način što je u toku eksperimenta povećavana dužina kablova koji povezuju komoru sa elektrometrom i izvorom jednosmernog napona. Celokupna masa kablova je bila u neposrednoj blizini komore i u polju zračenja. Rezultati ovih merenja su pokazali da je uticaj rasejanja na kablovima doprinosio struje ionizacije manje od 0,01%, što znači da se može potpuno zanemariti.

Doprinos struje ionizacije u komori od rasejavanja na nosaču komore odredjivan je na sledeći način (3) (4): komora i nosač su postavljeni u kolimisani snop gama zračenja tako da je osa komore i nosač bila pod pravim uglom u odnosu na osu snopa. Merenje struje ionizacije u komori je vršeeno uz postepeno zaklanjanje snopa pomoću olovnog zaštitnog

bloka debljine 20 cm. Struja ionizacije u funkciji položaja zastora prikazana je krivom na slici 2. Sa krive se vidi da se ekstrapolacijom ne može precizno da odredi traženi doprinos, jer uticaj direktnog snopa na komoru prestaje tek kada se delimično zakloni i nosač komore.

Da bi se izbegao ovaj efekt, napravljen je još jedan nosač koji je bio identičan sa onim koji je nosio komoru. Merenje doprinosa je sada vršeno tako što je prvo izmerena struja komore u određenom polju zračenja, a onda je na čelo komore stavljen drugi nosač i ponovo izmerena struja pod dejstvom istog polja zračenja. Može se prepostaviti da u ovakvim uslovima povećanje struje potiče samo od rasejanja na nosaču komore. Na osnovu dobijenih rezultata, merenjem na oba navedena načina, ustanovljeno je da korekcija za rasejanje na nosaču komore iznosi manje od 0,1%.

ZAKLJUČAK

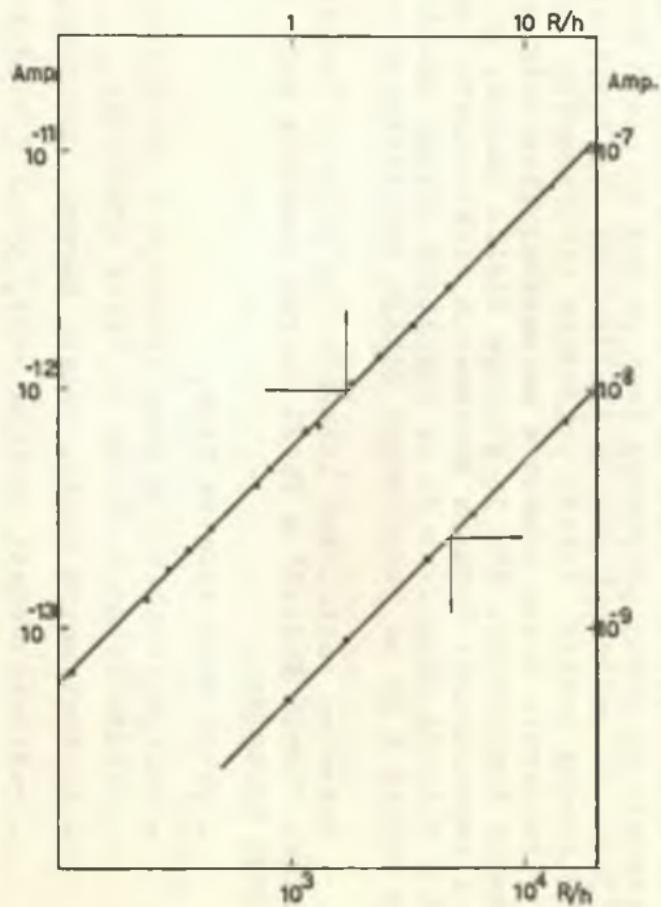
Iz izloženog materijala se može zaključiti da je završen rad na određivanju karakteristika grafitne komore koje ne zavise od uslova merenja.

Da bi komora mogla da se koristi za absolutna merenja ostaje još da se u narednom periodu odrede parametri, koji se odnose na dimenzije izvora, rastojanje izvor-komora, minimalni prečnik snopa u tački merenja i dozimetrijski centar komore.

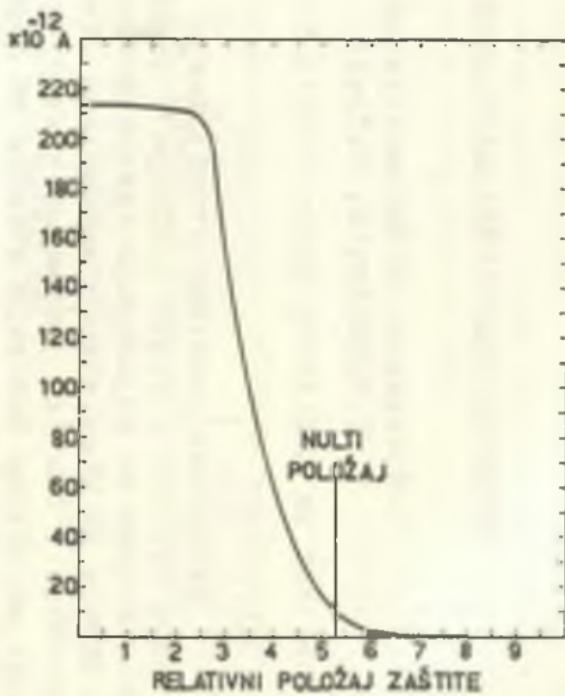
LITERATURA

1. Mirić I., Mirić P., Prokić M., IBK-365, 1965.
2. Mirić I., Mirić P., Prokić M., Izveštaj SKNE 03-1001/14, 1966, prilog 2.
3. Rakow A., Will W., Kernenergie 6, H 9, 496 (1963).
4. Rakow A., Will W., Kernenergie 6, H 10, 546 (1963).

211



SLKKA 1



SLIKA 2

POKRETNA RADILOŠKA LABORATORIJA

S.Muždeka, R.Radosavljević,
P.Frantlović, B.Kovač

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Složenost problema utvrđivanja radiološke opasnosti zbog razlike u vrsti zračenja i mogućnosti agregatnih stanja u kojima se pojavljuju izvori zračenja, zahtevaju niz uređaja za kompletiranje potpunog sistema za otkrivanje, merenje i analizu jonizujućih zračenja. Ovakvi sistemima, koji se obično nazivaju stanice za kontrolu zračenja, grade se za stacionarne uslove uz nuklearna postrojenja ili kao pokretnе laboratorije koje mogu da se koriste u mirnodopskim i u ratnim uslovima.

Uslovi koje treba da zadovolji pokretna stanica znatno su složeniji, jer treba da se obezbede merenja radioaktivnosti od nivoa prirodnog fona pa sve do nivoa koji se javljaju pri većim nuklearnim akcidentima ili eksplozijama nuklearnog oružja. Izrada pokretnih laboratorijskih skora je zahtevala dosta prostora za smeštaj klasičnih elektronskih komponenti, što je stanice činilo skupim, gromaznim i nepouzdanim. Primena savremenih elektronskih komponenti i rešenja omogućava da se kompletanoprema smesti u manja vozila a da se istovremeno dobiju kvalitetnija merenja.

Pokretna radiološka laboratorijska koja je izrađena u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči sadrži uređaje koji obezbeđuju merenje:

- primljenih doza za lica,
- radijacionih polja gama zračenja i određivanje orijentacije u odnosu na izvor zračenja,
- kontaminacije ljudi, odeće, terena, površina,
- radioaktivnosti uzoraka vode, hrane i vazduha.

Pored ovih uređaja laboratorijska sadrži komplete za medicinsku intervenciju i humanu dekontaminaciju.

Svi elektronski uredjaji koji ulaze u sastav pokretne laboratorije, izradjeni su u poluprovodničkoj tehnici, a za napajanje se koristi samo jedan akumulator od 12 volta. Instrumenti koji se koriste i van laboratorije imaju ugradjen sopstveni akumulator. Ovakav sistem napajanja, sa potrošnjom oko 20 Watt-a ima prednost jer je laboratorija nezavisna od blizine mrežnog napajanja.

Opšti pregled instrumenata koji ulaze u sastav pokretne radiološke laboratorije prikazan je u sledećoj tablici:

Kontrola radijacionih polja	Kontrola radioaktivne kontaminacije	Kontrola radioaktivnih uzoraka
Lični dozimetri	Uredjaj za merenje kontaminacije	Merenje uzoraka niskih beta aktivnosti
Lovac zračenja	- beta/gama	Merenje uzoraka scintilacioni gama (tečni, čvrsti)
Alarmni uredjaj	- alfa	
LOGAL Uredjaj za merenje gama zračenja		

Za merenje individualnih doza koriste se lični dozimetri sa direktnim očitavanjem i to:

sa opsegom 0 - 200 mR

0 - 50 R

Brza indikacija porasta intenziteta gama zračenja postiže se alarmnim uredjajem LOGAL koji je mogućno realizovati u dve izvedbe sa različitim osetljivostima

LOGAL - 10 0,1 - 1 - 10 mR/čas

LOGAL - 100 1 - 10 - 100 mR/čas

Oba detektora kalibrisana su sa Co^{60} . Pored akustične i optičke indikacije u alarmnom stanju može se očitavati intenzitet gama zračenja na mernom instrumentu sa logaritamskom skalom. Indikatorski i alarmni deo smešten je u samom vozilu, a detektor se može smestiti na spoljnjem delu vozila ili udaljiti od vozila kablom dužine 10 do 100 metara. Pored ove namene LOGAL-10 S je snabdeven sa dve sonde, što mu omogućava određivanje orijentacije u polju zračenja.

Uredjaj za merenje radijacionih polja visokog intenziteta omogućava merenja do 500 R/čas. Umesto ovog uređaja u drugoj varijanti predviđa se ugradnja usavršenog DR-M 1 ili novo razvijenog pištanj dozimetra PD-3F.

Za merenje kontaminacije površina, odeće, obuće i ljudstva služi prenosni monitor zračenja KOMO-T. Merenje alfa zračenja vrši se pomoću proporcionalnog brojača, a za beta/gama zračenja koriste se sonde sa halogenim GM-brojačima. Opsezi merenja su:

$$10 - 100 - 1000 \text{ imp/sek.}$$

Aktivan rad monitora sa napajanjem iz sopstvenog akumulatora iznosi 30 časova.

U radiološkoj kontroli potrebno je vršiti merenja niza različitih uzoraka (vodeni talog, hrana, tlo, biološki i medicinski uzorci, aerosoli i sl.).

Za merenje niske beta aktivnosti predviđena je aparatura LOLA-4 koja ima fon manji od 2 imp/min, što daje mogućnost merenja uzoraka aktivnosti veće od 10^{-12} Ci. Kao detektori koriste se halogeni GM brojači tipa 18516/18518 u antikoincidentnoj vezi a smešteni su u olovnom oklopu. Aparatura je podesna za merenja u laboratorijskim i terenskim uslovima, a napaja se iz akumulatora od 12 volta.

Za merenje gama aktivnosti koristi se scintilacioni brojački komplet sa dve sonde:

- minijaturna sonda predviđena za medicinske svrhe sa mogućnošću merenja pojedinih delova tela i rana (sonda je uvozna)
- sonda sa kristalom sa rupom za merenje tečnih i čvrstih uzoraka.

Elektronski deo aparature radjen je u najmodernijoj tehnici uz korišćenje linearnih integrisanih i mikrologičkih kola. Uz postojeće instrumente može se dobiti integralni spektar gama zračenja a dopunom aparature može se postići automatsko dobijanje gama spektara.

Laboratorija može da meri beta ili gama aktivnost uzoraka: vazduha, padavina (suvih i mokrih), vode, zemlje, rastinje, poljoprivrednih prehrambenih artikala, hrane (tečne i čvrste), bioloških uzoraka, stočne hrane i drugih.

Autonomne jedinice za uzimanje uzoraka prilagodene su potpuno terenskim uslovima, pri čemu se maksimalno

koristi postojeći priručni materijal. Postoji mogućnost obrade pojedinih uzoraka (tečnih ili prehrabbenih), a napravljeni su i propisi za pripremu i merenje uzoraka. Postupci za merenje radioaktivnosti uzoraka su prosti, jednostavni i brzi.

U vozilu se nalazi "voki-toki" uredaj sa dometom do 5 km za vezu sa vozilom koje ima radio vezu. U slučaju potrebe može se ugraditi i drugi primopredajnik.

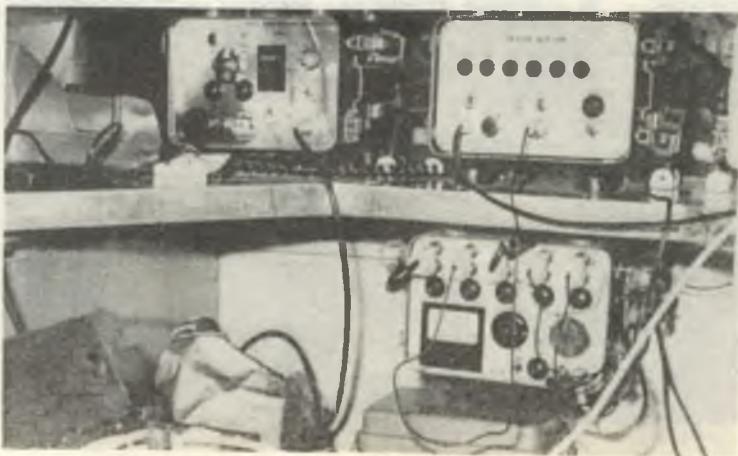
Posadu laboratorije sačinjavaju dva lica. Jedno od lica treba da bude iz dozimetrijske struke i zaduženo je za rad u laboratoriji, a drugo lice je tehničar-elektroničar koji je vozač laboratorije a zadužen je za održavanje i bažđarenje instrumenata.



Pokretna radiološka laboratorija



Scintilaciona sonda za merenje čvrstih i tečnih uzoraka



Brojački komplet za merenje uzoraka LOLA-4 sa skalerom

SCINTILACIONI MERNI KOMPLET
ZA POKRETNU RADILOŠKU LABORATORIJU

P.Frantlović, D. Spasojević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. U V O D

U sklopu rutinskih merenja koja se vrše u radiološkoj i civilnoj zaštiti u normalnim i akcidentalnim uslovima, važno mesto ima merenje bioloških, medicinskih i drugih uzoraka u cilju određivanja njihovog totalnog aktiviteta, a prema potrebi i preciznije identifikacije prisutnih radioaktivnih izotopa. Ovakva merenja najčešće je pogodno vršiti direktno na terenu. Imajući to u vidu, dolazi se do zaključaka da je u sastavu jedne pokretne radiološke laboratorije neophodno imati aparaturu kojom se uzorci uzeti na terenu mogu neposredno meriti, a koja bi bila dovoljno univerzalna da pokrije što veći dijapazon u pogledu mogućnosti merenja uzoraka različitih po agregatnom stanju, aktivitetu i vrsti radioaktivnog zračenja. Ovim zahtevima najbolje odgovara aparatura sa scintilacionim detektorom, s obzirom da se ista mehanička i elektronska konfiguracija može koristiti, u зависности od potrebe konkretnog merenja, sa nizom najrazličitijih scintilatora.

U ovom referatu biće prikazan jedan scintilacioni merni komplet namenjen korišćenju u realizovanoj pokretnoj radiološkoj laboratoriji.

2. KONSTRUKCIJA REALIZOVANE APARATURE

Konstrukcija aparature diktirana je s jedne strane funkcionalnim zahtevima, a s druge strane specifičnim zahtevima rada u terenskim uslovima.

U cilju postizanja što veće pouzdanosti, kao aktivi-vni elektronski elementi primenjene su isključivo savremene silicijumske poluprovodničke komponente - planarni tranzis-

tori i linearne integrisane kola - koje se mogu koristiti u širokom temperaturnom opsegu (-55°C - 125°C).

U funkcionalnom pogledu aparatura se sastoji iz tri osnovne jedinice: detektorskog dela, mernog dela i izvo-va visokog naponu za detektor.

2.1. Detektorski deo

U detektorskom delu, koji je izведен u posebnoj jedinici, nalazi se scintilacioni detektor - scintilator sa fotomultiplikatorom 53 AVP (La Radiotechnique) - i tranzis-torski stepen sa uzemljenim kolektorom koji služi kao trans-formator impedance. Uz fotomultiplikator se mogu koristiti cilindrični scintilatori prečnika 25 - 45 mm.

2.2. Merni deo aparature

Merni deo realizovane aparature predstavlja line-arni merač srednje brzine brojanja, koji ima četiri linearne opsega: 0 - 100, 0 - 1000, 0 - 10000, 0 - 1 00000 imp/s. Ulagano kolo je diskriminator, čija se osjetljivost može re-gulisati pomoću kalibriranog helikoidalnog potenciometra u granicama 5-200 mV. Diskriminator se priključuje direktno na izlaz detektorske jedinice, bez potrebe za prethodnim po-jačanjem signala. Ostvaren je primenom linearne integrira-nog diferencijalnog komparatora μ A 710 (SGS - Fairchild). Signal iz diskriminatora ubličava se monostabilnim kolom, realizovanim takodje pomoću integrisanog diferencijalnog komparatora μ A 710. Promenom vremenske konstante u ovom ko-lu vrši se prebacivanje mernih opsega merača srednje brzine brojanja. Izlazni stepen merača srednje brzine brojanja čini tranzistor 2N 1711, u čijem se detektorskom kolu nalazi indikatorski instrument (250 μ A). Linearnost merača brzine brojanja merena za periodične impulse iznosi oko 2%, a maksimalni gubici usled statističke raspodele impulsa su oko 13% na svim opsezima.

Principijelna šema merača brzine brojanja prikaza-na je na slici 1.

2.3. Napajanje aparature

S obzirom da je aparatura namenjena za korišćenje na terenu, u sastavu pokretne laboratorije u vozilu, svi potrebni naponi napajanja dobijaju se iz akumulatora u vozilu

kao primarnog izvora. Ovaj akumulator se pri radu motora u vozilu automatski dopunjuje. Primena savremenih poluprovodničkih i integrisanih komponenata dala je mogućnost da se ukupna potrošnja snage aparature svede na oko 6 W.

2.3.1. Izvor niskog napona

Za napajanje elektronskih kola aparature potrebni su jednosmerni nestabilisani naponi +12V i -6V. Pozitivni napon +12V dobija se direktno iz akumulatora ugradjenog u vozilu, a negativni napon -6V iz istog akumulatora posredstvom tranzistorског pretvarača, koji je izведен kao posebna jedinica i napaja sve aparature u vozilu koje zahtevaju napon -6V.

2.3.2. Izvor visokog napona za detektor

Stabilisani izvor visokog napona za detektor izведен je na principu tranzistorског pretvarača sa stabilizacijom u niskonaponskom delu. Izlazni napon je kontinualno promenljiv od 950 V do 1800 V, a maksimalna opterećenost je 200 μ A. Veličina izlaznog napona kontroliše se indikatorskim instrumentom. Pretvarač se napaja iz akumulatora 12 V ugradjenog u vozilu.

3. MOGUĆNOST MERENJA

3.1. Merenje aktiviteta uzoraka

Aparatura se može koristiti (sa scintilatorima raznih vrsta, oblika i veličina) za merenje aktiviteta najrazličitijih čvrstih i tečnih uzoraka (bioloških, medicinskih itd.). Pogodnim izborom scintilatora mogu se postići optimálni merni uslovi za svako konkretno merenje.

3.2. Identifikacija izotopa

S obzirom na činjenicu da je amplituda impulsa iz scintilacionog detektora direktno proporcionalna energiji merenog zračenja, aparatuру je moguće koristiti i u svojstvu integralnog analizatora. Promenom nivoa diskriminacije ulaznog diskriminatora merača srednje brzine brojanja, koja se vrši kalibriranim helikoidalnim potenciometrom, može se snimiti kriva zavisnosti broja impulsa u jedinici vremena od

nivoa diskriminacije. Geometrijskim ili računskim putem dobija se zatim diferencijalna kriva, koja odgovara energetskom spektru merenog uzorka. Ako se raspolaže poznatim izvorom - etalonom, dijagram se može kalibrirati u energijama, i na taj način identifikovati radioaktivni izotopi prisutni u mernom uzorku.

Na slici 2. dat je dijagram snimljen pomoću realizovane aparature sa izvorom Cs^{137} . Direktno je dobijena integralna kriva 1, a iz nje je izvedena diferencijalna kriva 2. Merenje je vršeno sa šupljim scintilatorom SKW-1 (Tesla, ČSR). Dobijeno je energetsко razlaganje od 17% (garantovano razlaganje za upotrebljeni scintilator pod optimalnim uslovima je oko 11,5%).

3.3. Merenje sa medicinskom sondom DS-8-1

Na merni deo aparature se umesto scintilacione sonda sa fotomultiplikatorom 53 AVP može priključiti specijalna medicinska sonda DS-8-1 (Nuclear Chicago), koja se može koristiti za ispitivanje gama-kontaminacije rana i telesnih šupljina, kao i za druga specifična medicinska merenja.

4. MEHANIČKA KONSTRUKCIJA APARATURE

U mehaničkom pogledu, aparatura se sastoji iz dve posebne jedinice:

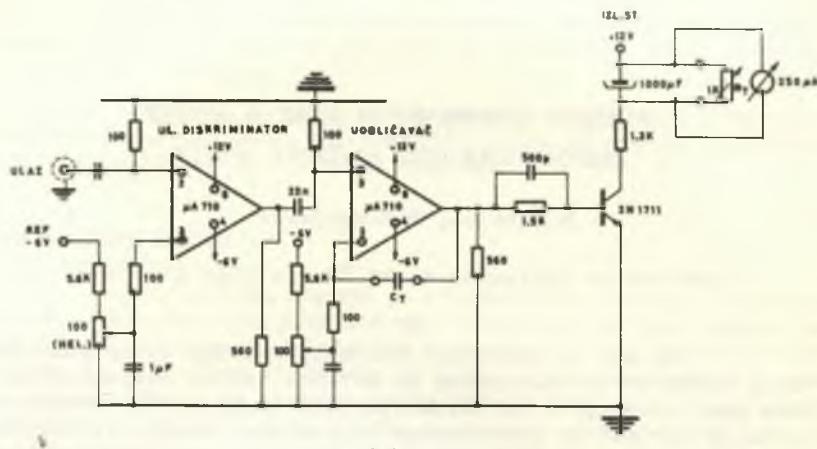
1. Scintilaciona sonda USS-M1 sa fotomultiplikatorom 53 AVP;

2. Merač srednje brzine brojanja REMS sa izvorom visokog napona za detektor.

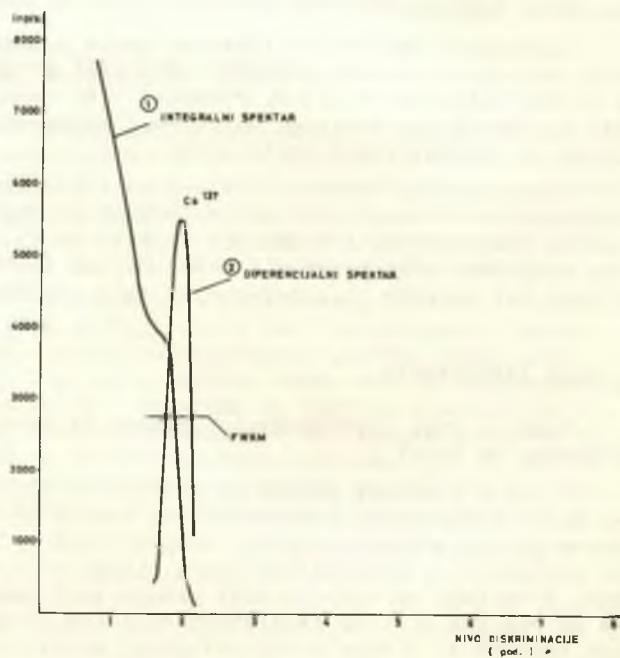
Obe jedinice realizovane su u identičnim standardnim kutijama dimenzija 285x235x165 mm, snabdevenim poklopцима kojima se mogu hermetički zatvoriti kada nisu u radu.

Elektronska kola u aparaturi izradjena su u tehniči štampanih pločica.

Posebna pažnja prilikom realizacije posvećena je postizanju mehaničke čvrstine i otpornosti na vibracije. Po završenoj montaži aparatura je bila podvrgнутa ispitivanju na vibracije ekvivalentne ubrzanzu od 5G, na učestanostima 0-60 Hz u trajanju od 10 min.



SL. 1



SL. 2

**PRENOSNI INSTRUMENT ZA MERENJE JAČINE
EKSPONCIJONE DOZE ZRAČENJA PD-3F**

M. Šobajić, R. Blagojević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Opisan je razvijeni prototip potpuno tranzistorizovanog instrumenta namenjenog za merenje jačine eksponacione doze gama zračenja i za detekciju beta čestica. Kao detektor zračenja koristi se jednosmerna ionizaciona komora cilindričnog oblika sa posebnim prozorom od tanke aluminijumske folije za prolaz beta čestica.

Instrument ima četiri linearne merna opsega koji omogućavaju merenja u širokom području od 1 mR/h do 10 R/h. Napaja se iz dve baterije od 1,5 V. Potrebni viši naponi za jednosmerni pojačavač kao i visoki napon za ionizacionu komoru dobijaju se iz tranzistorskog pretvarača.

Odgovarajućim tehničkim rešenjima i primenom savremenih komponenata - tranzistora sa izolovanim gejtom ostvarena je visoka temperaturna i vremenska stabilnost izlaznog napona. Ovo omogućava duga merenja u kontinualnom ili diskontinualnom radu bez potrebe za podešavanjem nule instrumenta.

PRINCIP RADA INSTRUMENTA

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

U polju zračenja dolazi do ionizacije vazduha i pod uticajem električnog polja u ionizacionoj komori do stvaranja jednosmerne struje srazmerne jačini eksponacione doze zračenja. Ove struje su za predvidjene merne opsege vrlo malog intenziteta. Zbog toga se merenje vrši pomoću jednosmernog pojačavača sa velikom ulaznom impedancijom koji ima ulogu transformatora impedance. U negativnoj povratnoj sprezi pojačavača na visokoomskom otporu R_p stvara se pad napona proporcionalan struji iz ionizacione komore. Ovaj napon se meri na

niskoj impedanci mikroampermetrom postavljenim na izlazu pojačavača. Skretanje mikroampermeta je srazmerno jačini ekspozicione doze zračenja.

Instrument se napaja iz dve baterije koje posredstvom pretvarača napona daju odgovarajuće niske napone za pojačavač i visoki napon za ionizacionu komoru.

JONIZACIONA KOMORA

Ionizaciona komora je cilindričnog oblika. Izrađena je od pertinaksa debljine 1,5 mm. Unutrašnja strana komore je učinjena provodnom prevlačenjem akvadagom. U osi komore postavljena je centralna elektroda od aluminijuma. Na prednjoj strani komore nalazi se aluminijumski prozor debljine 20 mikrona namenjen da omogući prolaz beta česticama. Predviđena je i posebna zaštita - poklopac od aluminijuma kojim se zatvara ovaj prolaz kada se meri samo gama zračenje.

JEDNOSMERNI POJAČAVAČ

Merenje malih jednosmernih struja zahteva upotrebu jednosmernog pojačavača sa visokom ulaznom impedancijom. Kao aktivni elementi u ulaznom kolu pojačavača u instrumentima u komercijalnoj proizvodnji koriste se isključivo elektrometarske cevi. Pored toga oni se odlikuju malom potrošnjom, malim dimenzijama i nultim temperaturnim koeficijentom.

U ulaznom kolu pojačavača, slika 2, u prvom diferencijalnom stepenu koji služi kao transformator impedance koriste se tranzistori sa izolovanim gejtom. Radni režim oba tranzistora je izabran u okolini tačke nultog temperaturnog koeficijenta. Kolo $V_1 - R_7$ služi za zaštitu tranzistora T_1 , a otpornik R_9 za zaštitu tranzistora T_2 . Drugim diferencijalnim stepenom koji je izведен sa tranzistorima T_3 i T_4 dobija se naponsko pojačanje. Ukupno pojačanje pojačavača je veće od 500. Potenciometrom P_1 reguliše se nula izlaza pojačavača.

Ceo pojačavač, sa visokošumskim otporima i releima, smešten je u posebnoj dobro oklopljenoj i dihtovanoj kutiji. Deo uokviren crticama je izvučen van ove kutije zbog potrebe da se vrši regulacija nule pojačavača potenciometrom na prednjoj strani instrumenta.

IZBOR OPSEGA MERENJA I KALIBRACIJA

Opseg merenja je odredjen vrednošću visokoomskog otpora u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača i naponskom osetljivošću mernog instrumenta vezanog na izlazu pojačavača na način prikazan na slici 3.

U negativnoj povratnoj sprezi stalno je vezan otpornik $3 \cdot 10^{11}$ Ohma. On se koristi za opsege merenja 10 mR/h i 100 mR/h . Prebacivanje izmedju ova dva opsega vrši se na izlazu pojačavača promenom za faktor 10 napomske osetljivosti mernog instrumenta. Opsezi 1 R/h i 10 R/h se dobijaju na analogan način vezivanjem preko kontakata relea R_{L2} otpornika $3 \cdot 10^9$ Ohma paralelno otporniku $3 \cdot 10^{11}$ Ohma. Releom R_{L1} uključuje se otpornik od 10^4 Ohma pri regulaciji nule pojačavača.

Kalibracija instrumenta se vrši za opsege 10 mR/h potenciometrom P_1 a za opseg 100 mR/h potenciometrom P_2 . Na ostalim opsezima kalibracija se samo proverava.

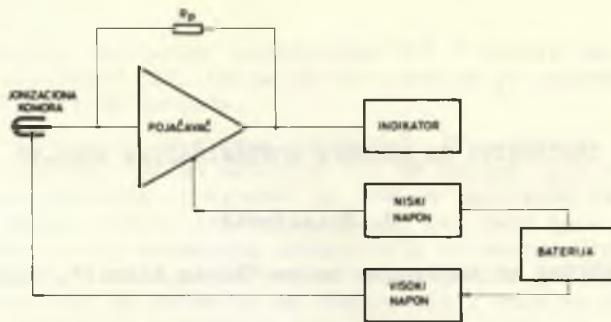
NAPAJANJE

Instrument koristi dve baterije od $1,5 \text{ V}$. Pojačavač i ionizaciona komora se napajaju iz pretvarača napona. Ovo je ostvareno pomoću bloking oscilatora u čijem se sekundaru vrši stabilizacija i ispravljanje napona. Za pojačavač se koriste naponi od -6 V i $+12 \text{ V}$, a za ionizacionu komoru napon od -260 V .

Relea za kontrolu nule i prebacivanje opsega direktno se napajaju iz baterije.

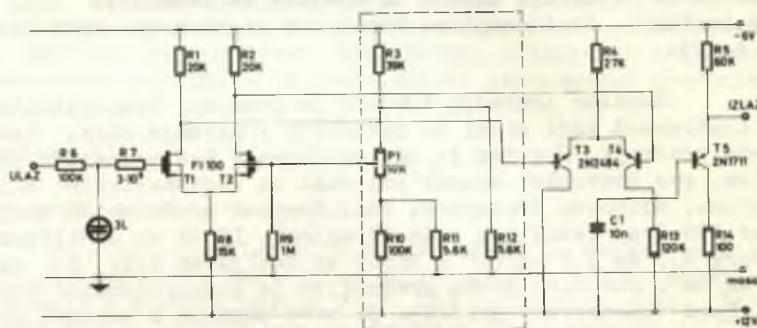
KARAKTERISTIKE

Opsezi merenja	10 mR/h , 100 mR/h , 1 R/h i 10 R/h
Ionizaciona komora	pertinaks, cilindar 1600 cm^3
Debljina prozora	aluminijum 20 mikrona
Napajanje	baterije $2 \times 1,5 \text{ V}$
Dužina trajanja baterija	preko 40 časova
Linearnost	bolja od 1%
Tačnost	bolja od 10% na svim opsezima merenja



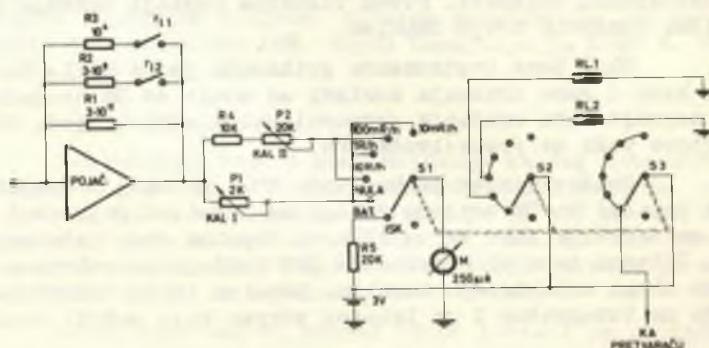
BLOK ŠEMA

SL. 1



ŠEMA POJAČAVACA

SL. 2



ŠEMA VEZA

SL. 3

INSTRUMENT ZA MERENJE KONTAMINACIJE KOMO-T2

D. Spasojević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Opisani instrument KOMO-T2 služi za otkrivanje i merenje alfa, beta i gama zračenja. Poseduje proporcionalni alfa detektor za detekciju alfa i GM brojač za detekciju beta i gama zračenja. Instrument se napaja iz sopstvenih akumulatora ili spolja.

Monitor zračenja KOMO-T2 je prenosni tranzistorizovan instrument koji služi za detekciju i merenje alfa, beta i gama zračenja. Pogodan je za ispitivanje kontaminacije površina, kao kontrolni aparat pri radu sa radioaktivnim supstancama, njihovom transportu itd. Koristi sonde sa GM brojačima: STS-6 sa debljinom zida 50 mg/cm^2 , 18506 sa debljinom prozora 2,5 do $3,5 \text{ mg/cm}^2$ i 18509 sa debljinom zida 80 do 100 mg/cm^2 . Kao alfa sonda predviđen je proporcionalni brojač. Mera intenziteta zračenja je broj impulsa u sekundi pročitan na skali indikatorskog instrumenta. Uz svaku sondu date su tabele veze broja impulsa i jedinice za merenje kontaminacije $\mu\text{Ci/cm}^2$ za odredjene vrste izvora i odredjene grupe kontaminiranih objekata. Pored vizuelne postoji takođe i akustička kontrola broja impulsa.

Blok šema instrumenta prikazana je na sl.1. Za merenje beta i gama zračenja koristi se sonda sa GM brojačem, a za merenje alfa zračenja proporcionalni alfa brojač. Izbor detektora vrši se prebacivačem Pb.

Postavljanjem prebacivača Pb u položaj B omogućeno je da impulsi iz GM brojača deluju na impulsni pojačavač IP2 koji se zasićuje tako da su izlazni impulsi uvek iste amplitude. Izlazni impulsi pojačavača IP2 okidaju univibrator koji ima ulogu uboličavača impulsa. Impulsi iz univibratora deluju na integrator i na izlazni stepen koji sadrži zvučnik Z.

Pri merenju alfa zračenja prebacivač Pb postavlja se u položaj A. Impulsi iz proporcionalnog detektora pojača-

vaju se najpre impulsnim pojačavačem IP1 i dovode na ulaz u impulsni pojačavač IP2. Dalja obrada impulsa je analogna obradi impulsa iz GM brojača.

Paralelno impulsnom pojačavaču IP2 vezan je jednosmerni pojačavač. On se aktivira kad GM brojač, pri velikom intenzitetu zračenja, prestane da radi u impulsnom režimu i predje u stanje stalne ionizacije gasa, pri čemu daje stalnu jednosmernu struju srazmernu intenzitetu zračenja. Ova struja integrirana u integracionom kolu i pojačana jednosmernim pojačavačem vodi se direktno na instrument I tako da je obezbedjena indikacija prekomernog intenziteta zračenja.

Kompletanu šemu instrumenta prikazana je na sl.2.

Realizacija je izvršena na tri štampane ploče. Prva sadrži impulsni predpojačavač IP1, druga impulsni pojačavač IP2, jednosmerni pojačavač, uobičajeni integrator i izlazni stepen zvučnog signala, i treća sadrži jednosmerni pretvarač.

1. DETEKTORI

Proporcionalni alfa brojač

Proporcionalni alfa brojač služi za merenje aktivnosti alfa emitera. Sastoji se iz polukomora malih prečnika obradjenih u aluminijumskom telu. Duž polukomora preko teflonskih držača postavljena je tungsten žica prečnika $12,7\mu$, koja predstavlja kolektorsku elektrodu brojača. Brojač je sa vazduhom i zatvoren je dvostrukom aluminiziranim "Mylar"-om debljine $6,35\mu$ da bi se sprečilo prodiranje prašine i vlage u osjetljivu zapremenu brojača. Aktivna površina je 122 cm^2 , a efikasnost detekcije oko 16%. Napon napajanja je 1740 V. Težina sonde je 450 gr.

Sonda sa GM brojačima

Pri merenju beta i gama zračenja manjeg intenziteta koristi se sonda sa GM brojačem STS-6. Plato brojača je 360 do 440 V. Radna temperatura brojača je od -40 do +50°C. Mrtvo vreme brojača sa radnim otporom 5M iznosi 0,5 msek. Debljina zida brojača je 50 mg/cm^2 . Pokretljiv zastor na metalnom kućištu služi za selekciju beta zračenja.

Sonda koja sadrži brojač 18506 koristi se za detekciju mekog beta zračenja i alfa zračenja veće energije. Plato brojača je od 425 do 650 V. Maksimalno trajanje mrtvog vremena je 100 msek. Debljina prozora je 2,5 do $3,5 \text{ mg/cm}^2$.

Za veće intenzitete gama zračenja data je sonda sa GM brojačem 18509. Plato brojača je od 375 do 550 V. Mrtvo vreme brojača je 60 μsek. Debljina zida je 80 do 100 mg/cm².

2. IMPULSNI POJAČAVAČ IP1

Negativni impulsi amplitude od oko 1 mV do reda 10 mV iz proporcionalnog detektora dovode se na ulaz impulsnog pojačavača IP1. Impulsni pojačavač sadrži tri kaskadno vezana tranzistorška stepena sa uzemljenim emitorom. Ukupno pojačanje pojačavača je 500, tako da se na izlazu dobijaju pozitivni impulsi amplitude od 0,5 do 5 V. Pojačavač je oklopljen da bi se izbegao uticaj smetnji.

3. IMPULSNI POJAČAVAČ IP2, UOBLIČAVAČ I INTEGRATOR

Pozitivni impulsi iz GM brojača ili iz impulsnog pojačavača IP1 deluju na impulsni pojačavač IP2 koji sadrži stepen sa uzemljenim emitorom T6 i stepen sa uzemljenim kolektorom T7.

Negativni impulsi iz impulsnog pojačavača IP2 okidaju univibrator koji služi kao uobičavač impulsa. U kolektoru tranzistora T10, koji radi kao prekidač, nalazi se kolo za integriranje i instrument za indikaciju. Struјa integratora sa odredjenom linearnošću raste sa brojem impulsa, tako da je ostvaren jednostavan merač srednje brzine brojanja.

4. IZLAZNI STEPEN I ZVUČNIK

Impulsi sa kolektora tranzistora T10 deluju na bazu izlaznog tranzistora T11. U kolektoru tranzistora T11 nalazi se zvučnik (0,2 W). Napajanje izlaznog stepena vrši se direktno iz akumulatora, tako da je izbegnuto prigušenje blocking oscilatora pri velikom broju impulsa.

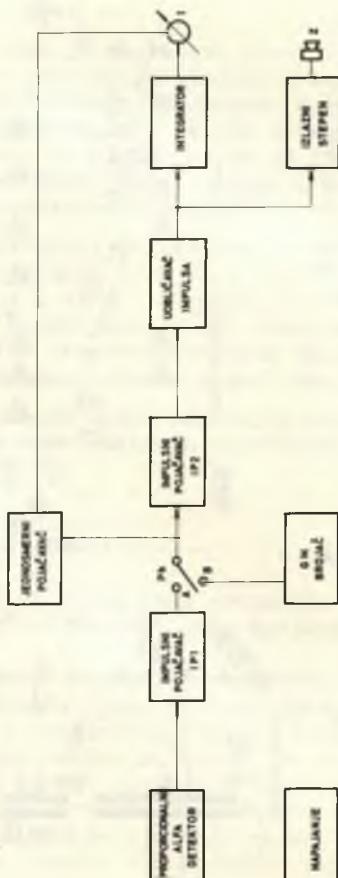
5. NAPAJANJE

Dva čelična akumulatora od po 1,2 V upotrebljena su kao osnovni izvor napajanja instrumenta. Kapacitet akumulatora je 2,5 Ah.

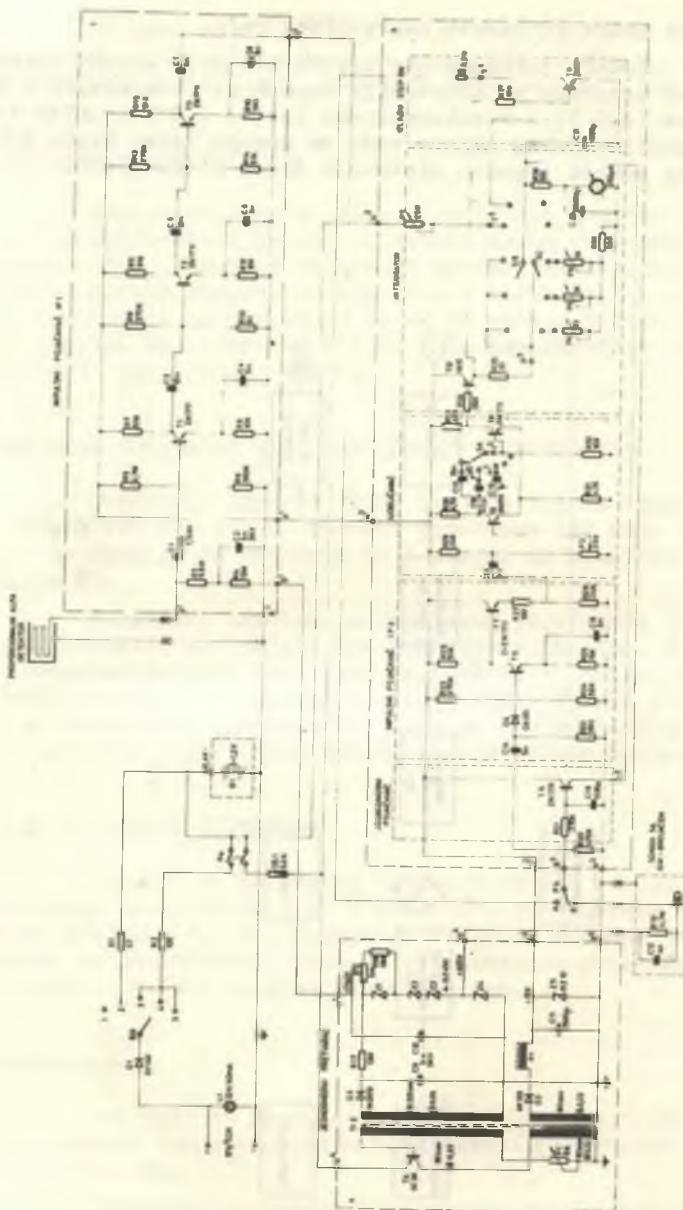
Celokupna potrošnja instrumenta je oko 100 mA, što

omogućava preko 20 časova neprekidnog rada.

Pomoću jednosmernog pretvarača koji sadrži bloking oscilator izvršena je konverzija napona iz akumulatora u niski napon (+10 V) i visokonaponski deo (+ 430 V i +1740 V). Stabilizacija niskog napona vrši se pomoću Zener diode BZ10, a visokog pomoću pogodno odabranih Zener dioda BZ450.



Sl. 1



UREDJAJ ZA KONTINUALNO MERENJE JAČINE
EKSPozICIONE DOZE GAMA ZRAČENJA LIDO-20F

M. Šobajić, R. Blagojević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Opisan je razvijeni prototip stacionarnog uredjaja namenjenog za precizna kontinualna merenja jačine ekspozicione doze gama zračenja. Primenom, neposredno uz detektor zračenja, transformatora velike ulazne u malu izlaznu impedancu ostvarena je mogućnost da se preko običnog višežilnog kabla vrši napajanje, izbor opsega i merenje na velikoj udaljenosti od detektora zračenja.

Instrument je baždaren u amperima. Sa ugradnjem ionizacionom komorom tipa BK-3 pokriva linearne merne opseg od 3 mR/h, 30 mR/h, 300 mR/h, 3 R/h i 30 R/h. Predviđena je svetlosna signalizacija pri premašenju odredjene unapred izabrane jačine ekspozicione doze zračenja. Postoji mogućnost priključenja i zvučne signalizacije.

Primenom najsvremenijih komponenata iz MOS i planarne tehnike instrument je napravljen u potpuno tranzistorскоj verziji.

PRINCIP RADA UREDJAJA

Osnovna blok šema prikazana je na slici 1. Uređaj se sastoji iz dva posebna dela spojena dugim višežilnim kablom.

Detektorsko-pojačavački deo sadrži jednosmernu ionizacionu komoru, jednosmerni pojačavač, visokoomske mere otprornike i visokoomska releja. Struja iz ionizacione komore, srazmerna zračenju, stvara na otporniku R_x u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača određen pad napona. Ovaj napon se dobija na izlazu pojačavača na niskoj impedanci pa se može preneti običnim kablom na veliku udaljenost. Za svaki merni opseg pomoći visokoomskih releja uključuje se drugi odgovarajući merni otpor u povratnu spregu pojačavača.

Komandno-merni deo sadrži indikator, komparator naponu, alarmno kolo i stabilizatore naponu. Izlaz iz pojačavača se vodi na indikator i na komparator naponu. Kada izlaz predje jednu odredjenu unapred predvidjenu granicu komparator stavlja u dejstvo alarmno kolo i dobija se svetlosna signalizacija. Promena opsega se vrši u ovom delu uređaja ručno uključivanjem preko releja visokoomskih mernih otpora u negativnu povratnu spregu pojačavača.

Uređaj se napaja iz mrežnog naponu. Ima sopstvene stabilizatore niskog i visokog naponu.

JONIZACIONA KOMORA

Upotrebljena je jonizaciona komora punjena vazduhom pod normalnim atmosferskim pritiskom tipa BK-3. Komora je u obliku cilindra sa aksijalnom elektrodom. Zidovi su izradjeni od bakelita metalizovanog sa unutrašnje strane. Osetljivost komore je $3 \cdot 10^{-10} \text{ A/R/h}$. Radni napon 200 V.

ELEKTRIČNA ŠEMA

Kompletan električna šema uređaja, sa stabilizatora niskog i visokog naponu, prikazana je na slici 2.

Pojačavač /1/ se sastoji od diferencijalnog stepena i integrisanog pojačavačkog kola. Diferencijalni stepen je izведен sa tranzistorima sa izolovanim gejtom tipa FI-100 koji ima visoku ulaznu otpornost. Izbor radnih tačaka je izvršen tako da obe tranzistora rade u blizini tačke nultog temperaturnog koeficijenta. Podešavanje nule pojačavača postiže se promenom napona na gejtu tranzistora T₂ pomoću potenciometra P₁ koji se nalazi u komandno-mernom delu uređaja. Izlazni napon se može očitati na instrumentu M ili priključenjem posebnog mernog instrumenta na priključku "IZLAZ".

Preklopnikom S vrši se izbor opsega merenja uključivanjem u pojačavačkom delu uređaja, posredstvom kontakata visokoomskih releja R_{L1} - R_{L7}, odgovarajućeg mernog otpora R₁ - R₇ u povratnu spregu pojačavača.

Merni otpor (Ohma)	Struja (A)	Opseg merenja
10^{12}	10^{-12}	3 mR/h
10^{11}	10^{-11}	30 mR/h
10^{10}	10^{-10}	300 mR/h
10^9	10^{-9}	3 R/h
10^8	10^{-8}	30 R/h

Strujni opseg od 10^{-7} A ne može se iskoristiti jer primenjena ionizaciona komora BK-3 za velike jačine ekspozicione doze gama zračenja ne radi na platou.

Komparator napona izведен je sa integrisanim kolom tipa uA 710. Veličina napona pri kome komparator stupiti u dejstvo može se podesiti potenciometrom P_2 izmedju 20% i 100% pune vrednosti skale svakog mernog opsega. Preko tranzistora T_1 komparator pobudjuje rele R_L . Jedan par kontakata uključujući svetlosnu signalizaciju a drugi par je slobodan i može se iskoristiti za zvučni alarm.

IZVORI NAPAJANJA

Uredaj se napaja iz mrežnog napona 220 V, 50 Hz. Ima sopstvene stabilizatore napona od + 12 V i - 6 V stabilnosti bolje od 1% za 10% promene mrežnog napona. Primenom referentnih Zener dioda ostvarena je visoka temperaturna stabilnost ovih napona. Iz stabilizatora niskog napona napajaju se sva elektronska kola uključujući i stabilizator visokog napona.

Stabilizator visokog napona ima izlaze od 100 V, 200 V, 300 V i 400 V čime je omogućeno korišćenje različitih tipova ionizacionih komora.

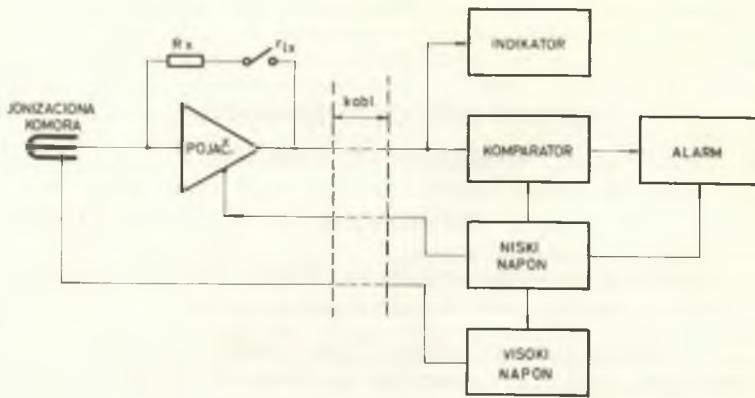
KARAKTERISTIKE

Opsezi merenja	3 mR/h, 30 mR/h, 300 mR/h, 3 R/h i 30 R/h
Tačnost	2% na svim opsezima
Izlazni napon	1 V na svim opsezima

Stabilnost vremenska dva časa posle uključenja	bolja od 1%/nedelji
Alarmni signal	svetlosni
Dužina kabla	100 metara

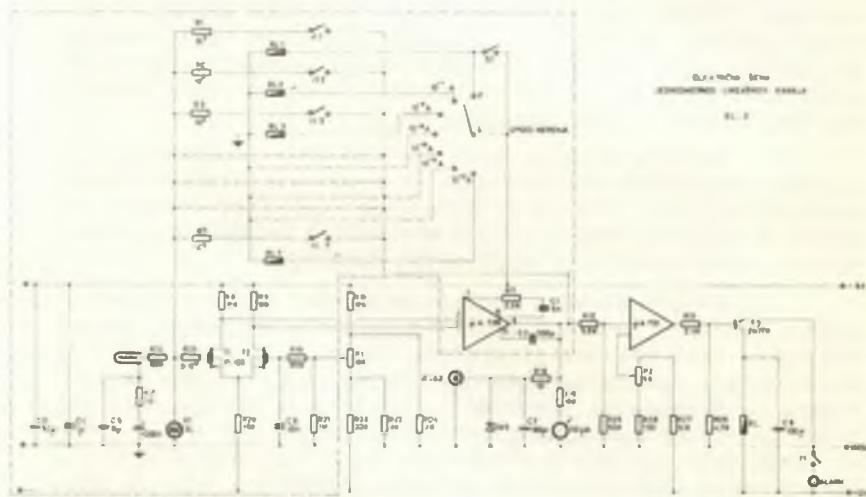
LITERATURA

1. M. Šobajić, R. Blagojević: Primena tranzistora sa izolovanim gejtom u jednosmernim pojačavačima velike ulazne impedanse, XI konferencija ETAN-a, Niš, juni 1967.



BLOK ŠEMA UREĐAJA

51. 1



SISTEMI MODULARNIH ELEKTRONSKIH NUKLEARNIH INSTRUMENATA

Mirko Vojinović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Elektronska nuklearna instrumentacija, čija je uloga merenje, analiza i akumulacija podataka o radioaktivnom zračenju, doživela je tokom poslednje decenije velike promene. Razvoj u nuklearnoj oblasti zahtevao je usavršavanje pojedinih instrumenata i mogućnost da instrumenti obavljaju sve složenije funkcije, u velikom broju slučajeva automatski. Usled toga su instrumenti postajali sve skuplji a vreme potrebno za njihovo dobijanje sve duže. Brzi razvoj je, međutim, doveo i do zastarevanja opreme, stvarajući istovremeno zahteve za skraćivanjem rokova za njenu nabavku, uz što manja potrebna sredstva.

Rešenje ovih kontradiktornih zahteva pružili su sistemi modularnih elektronskih instrumenata odnosno instrumenti-moduli koji obavljaju odredjene funkcije, a mogu se smestiti u zajedničku šasiju i električki medjusobno povezati u cilju obavljanja složenijih funkcija.

Ovakvi sistemi pružaju mogućnost za brzo i jednostavno menjanje funkcija složenijih mernih kompleta, obezbeđujući instrumentaciji upotrebljivost i pri promenama u-slova rada i načina korišćenja. Zastarevanje opreme se izbegava usavršavanjem postojećih modula a upotrebljivost pri novim zahtevima razvojem pojedinih funkcionalno novih modula, koji mogu da rade u sklopovima sa starijim modulima i tako prošire funkcionalne mogućnosti sklopova. Time je vreme neophodno za obezbeđenje novih sklopova skraćeno u najvećoj mogućoj meri, uz smanjenje sredstava potrebnih za nabavku.

MODULARNI SISTEM

Prednosti modularnog sistema mogu doći do punog

izražaja samo ako su svi moduli projektovani na odgovarajući način za predvidjenu primenu i ako su ostvareni potpuno u skladu sa neophodnim mehaničkim i električnim standardima. Nepostojanje potrebnih standarda u smislu početku dovelo je do nastajanja velikog broja različitih sistema. Očigledne prednosti međusobne zamenljivosti i zajedničke upotrebljivosti modula bile su razlog za pokušaje uskladjivanja, što je kao značajniji rezultat dalo formulisanje evropskih (ESONE) i američkih (NIMS) standarda.

Instrumenti modularnog sistema koji se koristi u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" su razvijani u skladu sa evropskim standardima. U ovom sistemu šasija, prikazana na sl.1, može da primi osam osnovnih modula širine 54 mm. Umesto bilo koja dva susedna osnovna modula u šasiju se može staviti jedan modul dvostrukе širine, umesto tri susedna osnovna modula modul trostrukе širine itd.

U zadnjem delu šasije nalazi se sistem za razvod napajanja i stavljanjem bilo kojeg modula na bilo koje mesto u šasiji, svaki modul dobija sve potrebne napone napajanja neophodne za rad. Izvori napajanja se mogu nalaziti u jednom od modula ili u zadnjem delu šasije, koja u tom slučaju mora imati veću dubinu.

Spoljašnje dimenzije šasije-nosača modula odgovaraju dimenzijama šasija ranijih cevnih instrumenata širine 19". Time je omogućeno da se složeniji sklopovi, sa većim brojem modula-instrumenata, ostvare u većem broju šasija-nosača, stavljenih u već postojeće "rekove"-nosače, koji su mogli da prime samo manji broj cevnih instrumenata.

ELEMENTI MODULARNOG SISTEMA

Moduli jednog sistema instrumenata se međusobno mogu razlikovati samo širinom. Na sl.2. prikazani su najmanji, osnovni moduli, širine 54 mm. S obzirom na dimenzije tranzistora i drugih sastavnih delova, većina analognih i digitalnih nuklearnih instrumenata se može ostvariti u zavremenini koju obezbeđuje osnovni modul.

U slučaju da se neki od instrumenata ne može smestiti u osnovni modul, mogu se koristiti moduli čija je širina dva, tri ili više puta veća od širine osnovnog modula. Na sl.3. prikazan je modul dvostrukе širine u kome se nalaze četiri izvora napajanja. Korišćenje integrisanih kola za obavljanje analognih ili digitalnih funkcija čini često

zapreminu osnovnih modula nedovoljno iskorisćenom, ali razlog za korišćenje većih modula može biti nedovoljna čeona površina na koju treba smestiti komande ili indikatore.

Karakteristike izvora napajanja moraju biti takve da omoguće paralelno priključenje i ispravan rad većeg broja instrumenata. U skladu sa propisima IEC naponi su standardizovani na 6, 12 i 24 volta. Na sl.4. su prikazani izvori napajanja, čije su dimenzije takve da se mogu smeštiti po dva u modul osnovne širine, četiri u modul dvostruke širine itd. U cilju racionalnijeg korišćenja šasija - nosača modula izvori napajanja se mogu nalaziti u zadnjem delu šasije, iza modula i razvoda napajanja. Grupa izvora napajanja koja daje sve standardizovane pozitivne i negativne napone, podešna za takvo korišćenje, prikazana je na sl.5, gde je smeštena u posebnu kutiju, čime je omogućeno i njeno korišćenje van šasije-nosača modula.

Na sl.6. prikazan je izvor napajanja promenljivog napona od 0 do 30 V, sa strujom do 1 A i obezbeđenjem za slučaj prekoračenja opsega, podešan za ispitivanje, održavanje i popravke modula.

TIPIČNI MERNI SKLOPOVI

Korišćenjem raznih modula-instrumenata može se staviti veoma veliki broj različitih mernih sklopova, prema potrebama merenja.

Jedan od često korišćenih sklopova koji se može koristiti za merenje spektara radioaktivnog zračenja, sa predodredjenim vremenom ili brojem impulsa, prikazan je na sl.7a. Impulsi iz detektora radioaktivnog zračenja se pojavljuju u pojačavaču P, zatim analiziraju u analizatoru A i odbrojavaju na skaleru SK2. Sat S šalje impulse konstantne učestanosti u skaler SK1. Pri merenju sa predodredjenim временom skaler SK1 upravlja radom skalera SK2, odnosno zaustavlja brojanje po prijemu odredjenog broja impulsa iz sata S. Pri merenju sa predodredjenim brojem skaler SK2 upravlja radom odnosno zaustavlja brojanje po prijemu predodredjenog broja impulsa iz analizatora A, pri čemu skaler SK1 pokazuje vreme merenja. U cilju obavljanja predviđene funkcije moduli-instrumenti se međusobno povezuju sa čeone ili sa zadnje strane, pomoću kablova. Preostali prostor u šasiji može se koristiti za smeštaj izvora napajanja visokog ili niskog napona.

Korišćenjem samo nekih modula prikazanih na sl.7a ostvaruju se jednostavniji merni sklopovi. Ako se ne vrši analiza po amplitudama može se izostaviti analizator A, a u slučaju da detektor ili sonda daje impulse dovoljne amplitude u odnosu na ulaznu osetljivost skalera SK2, može se izostaviti i pojačavač P. Ukoliko se ne zahteva elektronsko merenje vremena mogu se izostaviti sat S i skaler SK1.

Umesto modula koji se ne koriste, u šasiju-nosač se mogu staviti drugi moduli, čime se mogućnosti sklopa proširuju. Na primer, dodavanjem skalera SK3 i SK4, kao što je prikazano na sl.7b, može se vreme merenja proizvoljno povećati vezivanjem na red sa skalerom SK1 ili kapacitet brojanja povećati vezivanjem na red sa skalerom SK2. Korišćenjem skalera SK2, SK3 i SK4 nezavisno, može se raditi istovremeno sa većim brojem detektora, pri čemu je vreme merenja određeno pomoću sata S i skalera SK1 koji upravlja ostalim skalerima. Vezivanjem skalera SK1 i SK2 na taj način da se uzajamno naizmenično puštaju u rad i zaustavljaju, ostvaruje se sklop sa periodičnim ponavljanjem merenja i određenim trajanjem pauze, pošto se bilo koji od ovih skalera može koristiti za upravljanje radom ostalih skalera. Priključenjem štampača sa odgovarajućim komandama se rezultati ovega malog kompleta mogu automatski i štampati.

Koincidentni/antikoincidentni modul K/AK u sklopu, kao što je prikazano na primer na slici 7c, omogućuje određivanje istovremenosti odnosno neistovremenosti impulsa u pojedinim detektorskim kanalima, u kojima se nalaze bilo analizatori A ili integralni diskriminatori ID.

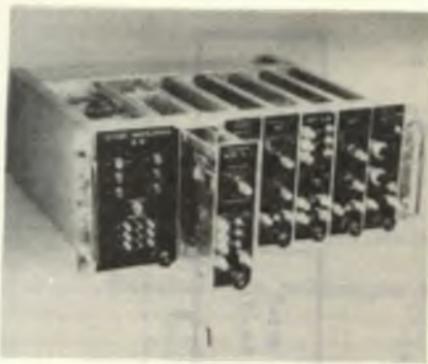
Korišćenjem merača srednje brzine brojanja mogu se ostvariti veoma različiti sklopovi. Na sl.7d. prikazan je kanal sa pojačavačem P, analizatorom A i linearnim meračem srednje brzine brojanja RM-lin. Ovaj sklop se može koristiti za automatsko snimanje spektara zračenja ako se pomerenje nivoa kanala na analizatoru vrši pomoću motor-potencijometra MP koji obezbeđuje vremensku bazu i ako se izlaz merača priključi na pisač, na kome se u tom slučaju dobija dijagram koji pokazuje raspodelu broja impulsa u zavisnosti od njihove amplitude. Korišćenjem logaritamskog merača RM-log umesto linearног mogu se spektri dobijati sa logaritamskom skalom. Isti sklop se može, vezivanjem pojačavača P za integralni diskriminator ID a njegovog izlaza za linearni ili logaritamski merač brzine brojanja čiji je izlaz priključen za pisač, koristiti za kontinualno merenje intenziteta zračenja, sa rezultatom zapisanim u vidu linearног ili

logaritamskog dijagrama.

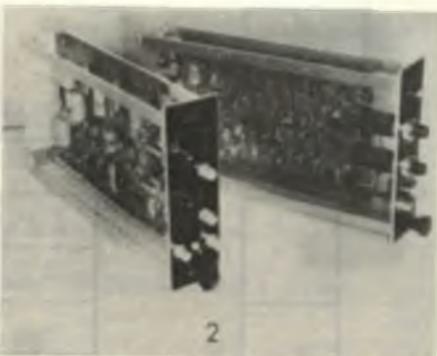
Na sl.7e. je prikazana šasija sa dva kanala koji sadrže pojačavače P, integralne diskriminatore ID i linearne merače srednje brzine brojanja RM-lin. Izlazi merača RM-lin su priključeni na pisače čime je omogućeno dobijanje dijagrama i na zajednički modul NA na kome se mogu postaviti nezavisni nivoi alarma za oba kanala. Izlazi integralnih diskriminatora mogu biti vezani i za logaritamski merač RM-log, čiji je izlaz vezan na poseban pisač u cilju omogućenja praćenja nivoa u slučaju prekoračenja opsega linearног merača RM-lin.

ZAKLJUČAK

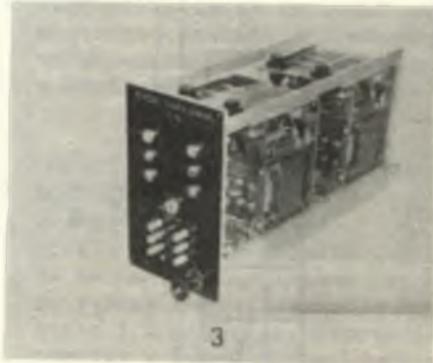
Modularni sistem omogućuje brzo i jednostavno sastavljanje različitih mernih sklopova veće ili manje složenosti. Pri sastavljanju se mogu koristiti moduli raznih proizvodjača, uključujući i strane, ukoliko su radjeni prema odgovarajućim standardima, u našem slučaju evropskim ESONE. Veoma je značajno da se u slučaju prestanka rada sa bilo kojim kompletom postojeći moduli mogu koristiti za sastavljanje novih mernih sklopova. Prednost predstavlja olakšano održavanje i nalaženje kvarova u sklopovima i modulima, kao i mogućnost brzog osposobljavanja sklopa u slučaju kvara, zamenom neispravnog modula. Usavršavanje karakteristika sklopa omogućeno je usavršavanjem karakteristika pojedinih modula. Značajnu prednost predstavlja činjenica da se, u slučaju nepostojanja nekog modula-instrumenta, potrebnog za ostvarenje neke nove funkcije, ovaj može razviti i ostvariti u odgovarajućem praznom modulu i time u najkraćem roku i uz najmanje investicije proširiti mogućnost sistema instrumenata.



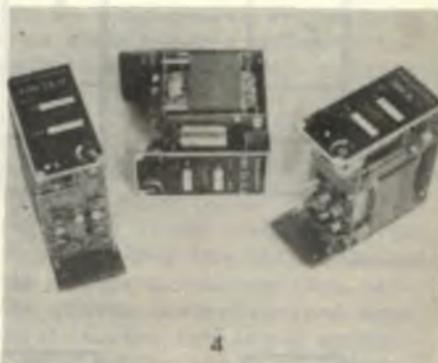
1



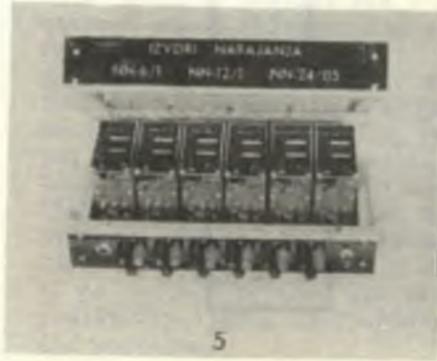
2



3



4



5



6

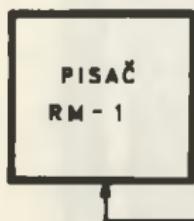
SK 1	S	SK 2	A	P	VN NN
---------	---	---------	---	---	----------

(a)

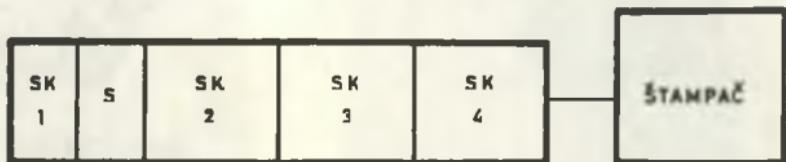
SK 1	S	SK 2	K AK	ID (A) 1	ID (A) 2	ID (A) 3
---------	---	---------	---------	----------------	----------------	----------------

(c)

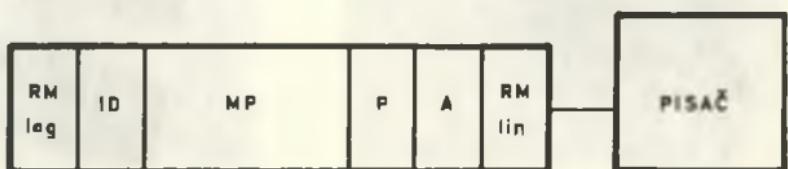
242



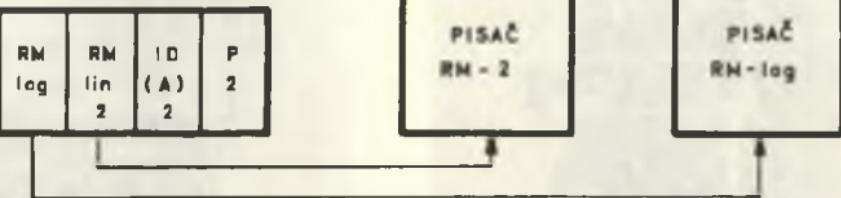
P 1	ID (A) 1	RM lin 1	NA 1,2
--------	----------------	----------------	-----------



(b)



(d)



(e)

SISTEMI ZA SAKUPLJANJE PODATAKA
U RADILOŠKOJ ZAŠTITI I KONTROLI

Aleksandar Koturović, Milena Ćulafić, Predrag Frantlović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Pokazano je mesto i potreba za višekanalnim merenjima u radiološkoj zaštiti i kontroli. Iznete su karakteristike i mogućnosti višekanalnih mernih sistema. Na osnovu toga analizirani su merni uslovi za višekanalni sistem u radio loškoj zaštiti i ukazano je na moguće merne sklopove koji bi mogli da zadovoljavaju potrebe u radio loškoj zaštiti i kontroli.

Savremene koncepcije radio loške i civilne zaštite nameću potrebu za praćenjem nivoa radioaktivnog zračenja i kontaminacije u većem broju tačaka. Komercijalna nuklearna energetska postrojenja, npr. zahtevaju obimnu radio lošku kontrolu na samom objektu i u njegovoj široj okolini. Pokazuje se da je za efikasno praćenje stanja u tako velikom broju tačaka najcelishodnije uvesti sistem centralizovane kontrole i indikacije. Konvencionalni sistem ove vrste sadrži posebne potpune merne lance za svako merno mesto, a centralizacija se sastoji u tome što se rezultati ovih merenja dovode na jedno mesto i tu centralizovano pregledno prikazuju. Ovim se postiže brz i pregledan uvid u situaciju na kontrolisanom objektu, što se nije moglo jednostavno ostvariti autonomnim merenjima. Pri tome se, znači, dobija u manipulativnosti, ali ne i u ekonomičnosti. Da bi se uz centralizaciju ostvarila i ekonomska ušteda, ne uvodi se samo centralizovana indikacija, već se teži da se centralizacijom obuhvati i sam proces merenja. Signali sa svih mernih tačaka dovode se na jedno merno mesto, gde se zatim vrši njihova sukcesivna obrada, što omogućuje višestruko iskorijenje jednih istih elemenata mernog sistema za jednorodno merenje prikupljenih signala. Na ovaj način se dolazi do centralizovanog višekanalnog mernog sistema, koji predstavlja jednu varijantu savremenih sistema za sakupljanje podataka.

OPŠTE KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI VIŠEKANALNIH MERNIH SISTEMA

Signalni sa mernih mesta tj. informacije koje može da primi višekanalni merni sistem mogu biti dvojake prirode: kontinualne ili impulsne. Broj ulaza koje sistem ima kreće se u vrlo širokim granicama od deset pa do više hiljada. Vezivanje ovih signala za zajedničke merne elemente obavlja se skanerom, koji obezbeđuje da se merenje vrši uvek samo sa jednog mernog mesta, a da su smetnje koje potiču od drugih signala prisutnih na ulazu skanera, minimalne. Skaner poseduje posebne grupe ulaza za signale kontinualne i signale impulsne prirode, a takodje i dva posebna izlaza za ove dve grupe signala. Signali kontinualne prirode se analogno-digitalnim konvertorima prevode u digitalni oblik, a signali impulsne prirode se vode na sistem za brojanje impulsa koji takodje daje informaciju u digitalnom obliku.

Analogno-digitalnim konvertorom i brojačkim sistemom završava se lanac sakupljanja i merenja podataka sa mernih mesta. Ova dva bloka zajedno sa skanerom čine osnovne elemente jednog višekanalnog mernog sistema. Komandni blok, koji takodje ulazi u okvir sistema, koordinira rad ovih funkcionalnih elemenata. Međutim, da bi se iskoristili sakupljeni podaci i da bi se proširio tretman sakupljenih informacija, osnovnim blokovima, koje sistem mora da sadrži, pridodaju se drugi različiti blokovi.

Komandni blok određuje brzine i redosled skaniranja kao i način rada sistema. U okviru njega programira se proizvoljan skup mernih mesta na kojima se vrši merenje. Sistem može da radi automatski, kad se skanerski kanali uključuju unutrašnjim impulsima, i ručno kad se ovo uključivanje obavlja spoljašnjom ručnom komandom manipulanta. Varijante automatskog rada su: kontinualan, jednocikličan i repetitivan rad. Prvi omogućuje kontinualno ciklično merenje programiranih mernih mesta. Pri jednocikličnom radu na komandu "start" obavi se samo jedan ciklus merenja sa predviđenog skupa mernih mesta. Ako se ciklusi merenja ponavljaju sa određenim vremenskim razmakom, način rada je repetitivan.

Izlaznu informaciju sistema, datu u digitalnom obliku, čine adresa kanala i podatak o mernoj veličini. Najjednostavniji vid korišćenja sakupljenih informacija je njihovo optičko prikazivanje i štampanje. Obradu sakupljenih informacija, u prvom redu njihovu kontrolu, u tom slučaju

vrši manipulant.

Dodavanjem bloka digitalne komparacije osnovnim blokovima omogućuje se kompariranje izmerene veličine sa unapred postavljenim graničnim veličinama i dobijanje alarmnog signala pri prelasku kroz ove granične nivoe. Alarmni anuncijator, dodat komparatoru, daje uvid koji se kanali ili grupe kanala nalaze u alarmnom stanju. U kompleksnom procesu važno je uočiti i alarmnu situaciju kad skup određenih mernih mesta dodje u alarmno stanje. Alarmne situacije se predviđaju programom i signališe se pojava odredjene alarmne situacije.

Postojanje memorije uz sistem, u koju se smeštaju podaci sakupljeni u nekoliko uzastopnih ciklusa, omogućuje da se na zahtev operatora, na pojavu alarmnog signala i postojanja alarmne situacije, dobije predistorija posmatranog procesa.

Ukoliko je potrebno sa prikupljenim podacima izvršiti složene operacije blokovi dodati osnovnom sistemu za sakupljanje podataka prerastaju u računar.

Iz strukture sistema uočava se da svaki blok predstavlja zasebnu funkcionalnu celinu i to sugerira konstrukciju sistema u modularnom vidu što je veoma pogodno, jer dozvoljava jednostavno uobičavanje sistema po funkcionalnim mogućnostima i njegovo proširivanje.

KRITERIJUMI ZA PRIMENU VIŠEKANALNIH MERNIH SISTEMA

Kada se posmatra primena višekanalnih mernih sistema u radiološkoj zaštiti, mora se voditi računa da pri tome budu zadovoljene norme koje se postavljaju uslovima sigurnosti. To je pre svega zahtev da se informacija o nastanku accidentalne situacije u nekoj mernoj tački dobije blagovremeno, kako bi se mogla preduzeti odgovarajuća akcija.

Višekanalni merni sistem po prirodi diskretno uzima informacije sa mernih tačaka i na njih se periodično vraća, sa učestanostu ciklusa skaniranja. Minimalno vreme ciklusa skaniranja diktirano je brzinom odgovora senzora (detektora), i vremenskom konstantom pojave.

U skupu kontrolisanih pojava može se izvršiti kategorizacija prema potrebnom minimalnom vremenu ciklusa skaniranja. Na osnovu ove kategorizacije može se doći do optimalnih ciklusa skaniranja za odredjene grupe mernih mesta.

Fleksibilnost savremenog sistema za višekanalna merenja omogućuje da se putem komandno-programskog bloka uvede više različitih vremena ciklusa skaniranja koji odgovaraju ovako dobijenim grupama. U praksi je obično dovoljno imati dva bitno različita vremena ciklusa skaniranja. Grupa mernih mesta koja zahteva znatno kraće vreme ciklusa skaniranja predstavlja tzv. prioritetnu grupu mernih mesta.

Vreme zadržavanja skanera na određenom mernom mestu zavisi od prirode signala iz detektora, a ujedno i od karakteristika elemenata sistema.

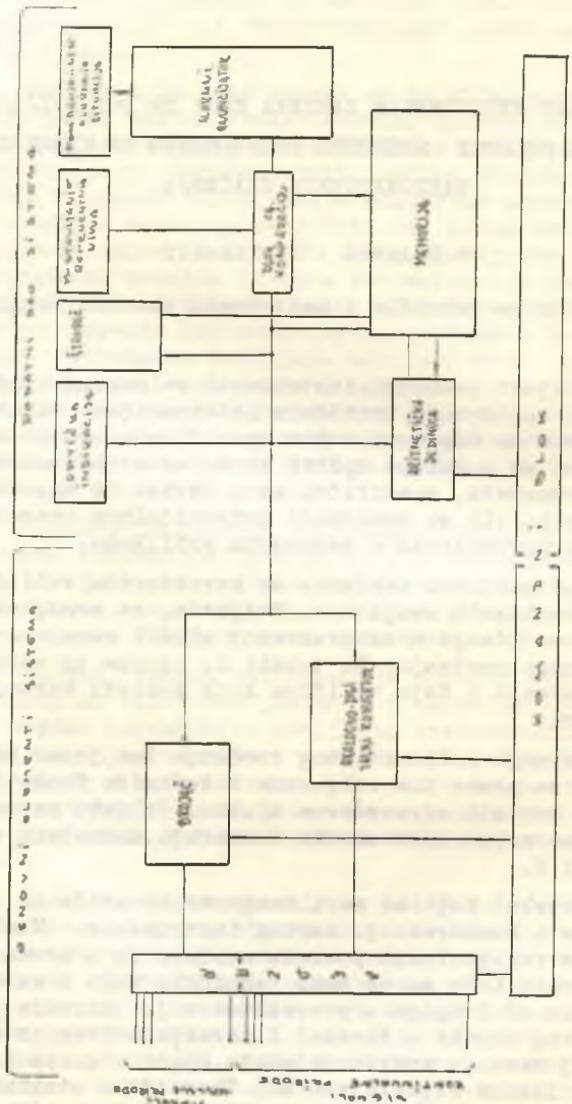
Sam sistem za sakupljanje podataka obično dozvoljava maksimalne brzine skaniranja do 20 000 mernih mesta u sekundi, te se može očekivati da će priroda kontrolisane pojave, priroda signala itd., tj. elementi koji su spoljašnji u odnosu na sistem biti elementi koji će diktirati brzinu skaniranja.

Razmatrane veličine: Minimalno vreme ciklusa skaniranja i minimalno vreme zadržavanja skanera na određenom mernom mestu su bitne početne veličine u projektovanju višekanalnog mernog sistema u radiološkoj zaštiti, pošto od njih može da zavisi da li će biti ispunjene potrebne norme koje propisi radiološke zaštite postavljaju.

Sistem ne postavlja ograničenja u pogledu složnosti obrade sakupljenih informacija, već samo kompleksnost dodatnih blokova osnovnom mernom sistemu zavisi od toga. Znači, svaka moguća potrebna obrada u okviru programa radio-loške zaštite i kontrole može biti izvršena.

Najčešće dovoljna obrada je komparacija merenih veličina sa unapred postavljenim graničnim nivoima, i davanje alarma. Ova obrada, uz mogućnost programiranja alarmnih situacija, čini sistem veoma efikasnim i fleksibilnim, što omogućuje da se ostvare veoma pregledni i pogodni sistemi za praćenje stanja na kontrolisanim objektima. Pri tome se u odlučivanju o nastajanju alarmnog stanja isključuje ljudski faktor, čime se sprečavaju eventualne greške koje bi mogле dovesti do neželjenih posledica.

Izložene karakteristike i mogućnosti sistema za višekanalna merenja i sakupljanje podataka ukazuju na dobre perspektive njihove primenljivosti u radiološkoj i civilnoj zaštiti u slučajevima gde je potrebno pratiti stanja u velikom broju mesta.



PREGLED MEDICINSKIH ZAHTEVA KOJI SE POSTAVLJAJU
PRED POLJSKE PRENOSNE INSTRUMENTE ZA MERENJE
RADIOAKTIVNIH ZRAČENJA

M. Radotić i V. Mikulić

Institut za tehničku i medicinsku zaštitu, Beograd

Poljski prenosni instrumenti za merenje radioaktivnog zračenja snabdevaju kritičnim informacijama zdravstvenu službu i treba da odgovore nekim specifičnim zahtevima. Ovi zahtevi, iako su u sklopu opštih karakteristika savremenih mernih instrumenata, specifični su i zavise od masovne pojave povredjenih, ili su nametnuti potencijalnom opasnošću masovne pojave povredjenih u vanrednim prilikama.

Radioaktivna zračenja se karakterišu velikim brojem fizičkih i hemijskih svojstava. Medjutim, za sredjivanje i organizovano korišćenje u zdravstvenoj službi nemaju sva svojstva podjednako značenje. Na tabeli 1. iznose se neka važnija svojstva zračenja i daju veličine koje podležu merenju, kao i jedinice mere.

Merenje radioaktivnog zračenja ima jasno odredjene ciljeve, pa se prema tim ciljevima i definišu funkcije instrumenata koje koristi zdravstvena služba. Ciljevi merenja i funkcije kojima merni instrumenti ostvaruju naznačeni cilj dati su na tabeli 2.

Objekat koji se meri mnogostruko utiče na radne karakteristike i konstrukciju mernog instrumenta. Medicinsko zbrinjavanje radiacionih povreda suočava se s dvema velikim grupama uzoraka koje se ne samo tehnički, nego i metodski razlikuju jedan od drugoga u procesu merenja: merenje in vivo (merenje živog uzorka - čoveka) i merenje mrtvog predmeta. Najveći broj merenja mrtvih objekata spada u grupu koja se zajedničkim imenom objedinjava kao "merenje u staklu" (in vitro), iako nisu ni svi postupci pripreme uzorka, ni sve posudice za merenje od stakla. Neka merenja mrtvih predmeta svode se na merenje radioaktivnosti površina (zapremina) i predmeta koji okružuju čoveka i koji se ne mogu preneti "u

"staklo", odnosno u posudice za merenje. Ovakvo merenje naziva se "merenje in situ" ili "monitorovanje", pošto se instrument donosi do objekta.

Merenjem in vivo dolazi se do vitalno važnih informacija, na prvom mestu o radioaktivnoj kontaminaciji čoveka. Kontrolom radioaktivnosti štitne žljezde dobijaju se podaci o stepenu vezivanja radioaktivnih izotopa joda koji se već odmah posle radjanja nalaze među nuklidima smese. Da bi se stepen fiksacije mogao uporedjivati kod većeg broja ljudi, što je osnovni uslov za trijažu prema odredjenom kriteriju kvantitativne procene interne kontaminacije na osnovu merenja joda u štitnoj žljezdi, moraju se poistovetiti na neki način uslovi merenja kod svih ispitanih ljudi. Zato se na univerzalne instrumente stavljuju adapteri koji respektuju geometriju merenja (rastojanje i ugao merenja, veličinu polja i prostornu distribuciju zračenja) pa se opšta variabilnost rezultata merenja znatno umanjuje i praktično svodi na biološke razlike medju pojedinim ljudima (veličina, položaj i funkcija štitne žljezde).

Geometrija merenja se posebno rešava u slučaju merenja interne kontaminacije kada se u cilju diferencijalne dijagnoze moraju dobro razlikovati beta od gama zraka: na primer, merenjem radioaktivnosti trbuha s određenog rastojanja, ili upotreba filtrova odn. apsorbera.

Najzad, namena instrumenata ponekad zahteva da se udvajaju potpuno identične jedinice i ograničavaju tehnički povoljno rešeni univerzalni kvaliteti instrumenta. Takav je slučaj kod merenja lučevina i sekreta, povraćene mase, krvi, mokraće i gnoja s jedne strane, i merenje istim instrumentima i istom metodom vode za piće, hrane, sanitetskih sredstava i lekova s druge strane. Pregled ovih zahteva dat je na tabeli 3.

Instrumenti za merenje se podešavaju prema određenim doznim nivoima i predodređuju za uspešno merenje u jednoj oblasti arbitarnih (konvencionalnih) veličina. Dozne veličine koje su od značaja za zdravstvenu službu često se ne određuju potrebama ove službe, već se ili definišu nekim nemedicinskim pretpostavkama, ili se daju kao funkcija univerzalnosti instrumenta (tj. mere sve opsege). Dozni nivoi zavise od namene instrumenta, naime od kriterijuma koji se bira kao merilo radiobiološkog efekta. Za merenje integralne komulisane doze spoljašnjeg gama zračenja mogu se dati dva ekstremna nivoa ozračenja: ono koje za posledicu ima smrt ozračenoga, i ono koje za posledicu ima neku jasno definisanu

poznu posledicu kao što je na primer skraćene dužine života (u poređenju sa dužinom života nezračenih jedinki istih bioloških osobina). Prilagodjavanje instrumenta na određeni, unapred s razlogom zadati nivo zračenja u jedinicama veličine koja se meri ima i drugi važan aspekt kojim se bavi teorija grešaka. Ovo pitanje utiče na kriterijum dozvoljene varijabilnosti izmerene veličine pri ponavljanju konstantnih uslova merenja istog uzorka. Na slici 1. pokazuje se dozna zavisnost smrtnosti (prema Alpenu), gde je isprekidanom linijom data "granica poverljivosti" sa intervalom odstupanja od 95% svih slučajeva. Na slici 2. data je pozna posledica zračenja - dozna zavisnost skraćenja života kod miševa (prema Hursh-u i saradnicima). U manjem kvadratu je ponovljen početak koordinatnog sistema i dijagrama sa dovoljnim uvećanjem razmara da se zapazi dimenzija doze od 31 R, koliko se može pretpostaviti da je maksimalna doza "multog efekta", dok je njena standardna greška manja od 1 R. Neki najvažniji nivoi ozračenosti dati su, sa njihovim srednjim kvadratnim odstupanjima (posle dovodenja distribucije na normalnu gustinu) na tabeli 4. Očigledno je da su zahtevi u pogledu tačnosti neuporedivo veći kod merenja doze za još suptilnije radiobiološke efekte.

ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da za sada nema opšte prihvaćene konvencije o definiciji poljskih van laboratorijskih prenosnih instrumenata za rad u vanrednim prilikama, konstatujemo sledeće:

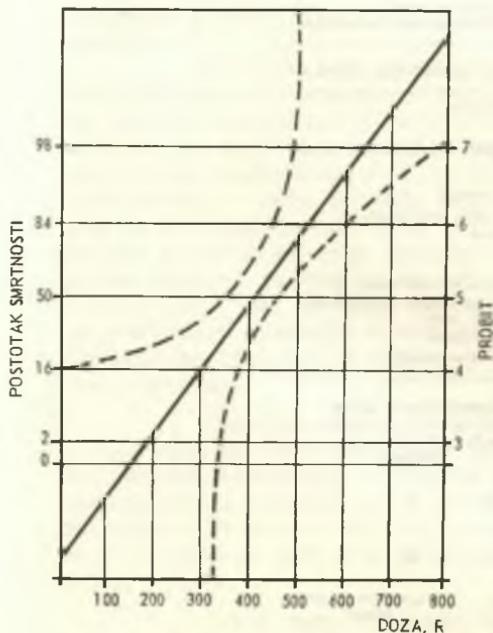
1. Postoje specifični medicinski zahtevi koji se postavljaju pred ovu vrstu instrumenata. Ovo ujedno ukazuje na činjenicu da univerzalni instrumenti nisu uvek pogodno rešenje, i da njihova univerzalnost ide na uštrbu specifičnosti mernih funkcija.

2. Prenosni poljski instrumenti treba da su maksimalno osetljivi za pojedine nivoje ozračenosti. Neki od tih nivoa pomenuuti su u tekstu, a za druge bi trebalo angažovati radiobiološke laboratorije kako bi se zahtevi kvantitativno precizirali.

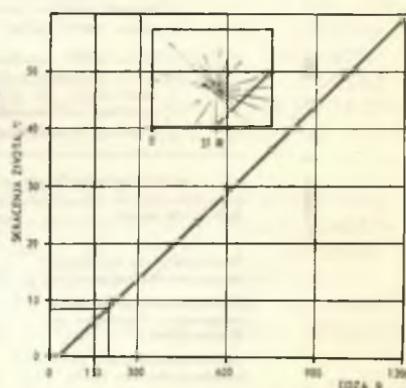
3. Treba organizovati skup u pogodnom obliku s ciljem da se doneše konvencija o kvalitetu radiobioloških efekata čije dimenzije se predviđaju merenjem kauzalnog zračenja.

LITERATURA

1. Claus W.C., Radiation Biology and Medicine. Addison-Wesley, 1958.
2. Petrov V.R. et al., Zaščita od radioaktivnih osadkov. Moskva, Medgiz, 1963.
3. Saenger E.L., Medical Aspects of Radiation Accidents. USAEC, 1963.
4. Hearings, 86th Congress of the US, Gov. Printing Off., 1959.
5. Matveev V.V. i Hazanov B.I., Pribori dlja izmerenija ionizirajućih izlučenij. Atomizdat, 1967.
6. M. Radotić, Vojno-sanitetski pregled, 1968 (u štampi, br. 2).



Sl.1.



Sl.2.

PARAMETAR KOJI SE ODREĐUJE	VELIČINA (KVALITET) KOJI SE MERI	JEDINICA MERE
karakteristika izvora zračenja	radioaktivnost izvora y	rasp/min
karakteristika sedišća- noga polja	kratina (intenzitet) doze	R/t
radiobiološki efekti zračenja	gustina (stopen) kontaminacije	rosp/min/sm ²

CILJ MERENJA	FUNKCIJE INSTRUMENTA
Merenje radioaktivnosti izvora zračenja	1. Merenje radioaktivnosti preporice 2. Merenje površinske specifične aktivnosti 3. Merenje zaporinske specifične aktivnos- ti tehnosil 4. Merenje gustine kontaminacije (stopena kontaminacija)
Merenje neke veličine ko- je karakteriše energiju zra- čenja preneta u objekat	1. Merenje brzine doze (intenziteta zračenja) 2. Merenje integralne ekspozicione doze 3. Merenje integralne apsorbovane doze
Merenje distribucije zrače- nja po zadanom parametru	1. Distribuciju po energiji 2. Distribuciju po masi i neelektrisaju

OSOBINE INSTRUMENTA KOJE ZAVISE OD UZORKA

- A. Merenje živog objekta ("in vivo" merenje)
- kontaktno
 - kontaktno s gasečkim adapterom (rastojanje, ugao, filter)
 - s rastojanju
- B. Merenje mrtvog objekta ("in vitro" merenje)
- agregatna stanje (gasovi, tečan, čvrst uzorak)
 - neekrana specifična aktivnost
 - veličina i oblik uzorka
 - da li se unosi u organizam živuka (voda, hrana)
 - da li se upotrebljava a ne uvaži direktno u organizam (ku- himski posude, lični predmeti, delo)
 - defekti koji nisu bakteriološki opasni
 - defekti koji su bakteriološki opasni (gaaji)

NIVOI INTEGRALNE EKSPOZICIONE DOZE			
Radiobiološki efekti	Dоза R	Standardna devijacija	
Najviša jednokratna doza koja ne prouzrokuje nijedan smrtni slučaj	175	7	
Najviša jednokratna doza koja ne prouzrokuje ni u koga ekstremne dijacione bolesti	76	3	
Najviša akumulisana doza koja ne prouzrokuje skraćenje života	31	Vredna zavisi od pola i starosti	

KONTROLA RADIOAKTIVNOSTI TROPOSFERE
I DONJE STRATOSFERE

D. Vukmirović

Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije, Beograd

1. UVOD

Kontrola radioaktivnosti u atmosferi vrši se merenjem intenziteta radioaktivnog zračenja na zemljinoj površini i na raznim visinama u vazduhu. Metodika merenja radioaktivnosti u slobodnoj atmosferi predstavlja posebnu stručnu problematiku i u ovom radu se razmatraju metodi koji bi se u stručnom i tehničkom pogledu mogli uspešno primeniti u našoj zemlji.

U cilju dobijanja najopštijih podataka o stepenu radioaktivnosti vazduha na raznim visinama u poslednje vreme se koriste relativno jednostavni radiosondažni sistemi. Ovi sistemi se sastoje od balona napunjenog vodonikom koji nosi specijalne radiosonde. Za razliku od običnih meteoroloških radiosondi, u ovom slučaju radiosonda je snabdevena detektrom za merenje intenziteta radioaktivnog zračenja, i ona izmerene podatke emituje radiopredajnikom. Emitovane podatke prima uredaj na zemlji za prijem i registrovanje radiosondažnih podataka, uz koji se često nalazi i radarski uredaj za dobijanje podataka o visinskom vetrusu. U tom slučaju jednovremeno se dobijaju i podaci o pravcu i brzini vetra na raznim visinama.

Osnovna odlika ovog metoda je mogućnost preciznog i operativnog dobijanja osnovnih informacija o stanju radioaktivnosti atmosfere do visine 25-35 km. Ideja o upotrebi radiosondi u merenju radioaktivnosti atmosfere, specijalno za potrebe civilne zaštite, potiče od same prirode procesa koji se odvija prilikom eksplozije nuklearnog oružja (Jäger-malm, 1964).

Tako, npr. radioaktivni oblak koji se širi vertikalno (sl.1) od donjih slojeva troposfere do stratosfere kretiće se većom brzinom u svom gornjem delu nego u donjem.

To pruža mogućnost da se ukaže na prisustvo radioaktivnog o-blaka, odnosno prisustvo radioaktivnog aerosola, prvo na vi-sini, a zatim u donjim slojevima.

Pri tome značajnu ulogu ima tropopauza, prelazni sloj između troposfere i stratosfere, koja sprečava razmenu masa između gornje troposfere i stratosfere. To ima za pos-ledicu veću i dugotrajniju kontaminaciju stratosfere. Ova se može rasprostrati i na tako velikim površinama da primi kara-kter globalne kontaminacije.

Kao što je poznato, u izvesnim vremenskim situaci-jama dolazi do mestimičnog kidanja tropopauze i kontaminaci-je troposfere odozgo sa postepenim spuštanjem radioaktivnih materija ka zemljinoj površini. Kada se u ovakvim slučajevi-ma vrše redovne sondaže radioaktivnog zračenja u višim slo-jevima atmosfere, može se dati odredjena prognoza kontamina-cije u prizemnim slojevima.

Uopšte, ako je izmereno naglo povećanje zračenja u stratosferi bez odgovarajućeg porasta zračenja u prizemnim slojevima, može se zaključiti sa velikim stepenom verovatno-će da je u pitanju povećanje radioaktivnog zračenja veštač-kog porekla.

Poredjenjem ovakvih informacija o stepenu radioak-tivnosti dobijenih sa više bliskih meteoroloških stanica i analizom visinskih vetrova moguće je odrediti putanju konta-minirane vazdušne mase i prognozirati njeno dalje kretanje.

Podacima ovih radiosondi jednovremeno se omogućava izučavanje kosmičkih zrakova, a naročito promenljivosti njihovog intenziteta.

Izučavanje rasprostiranja prirodnih i veštačkih ra-dioaktivnih materija (aerosoli) koristi se i za čisto meteo-rološke ciljeve. Tako, npr. podaci o brzini iščezavanja aero-sola iz atmosfere mogu se koristiti za proučavanje raznih po-java iz oblasti fizike atmosfere, za ocenu koeficijenta ver-tikalne turbulentne razmene toplove, zatim obima razmene ma-sa između severne i južne hemisfere kao i između troposfere i stratosfere.

Razvoj standardne radiosondažne tehnike pruža mo-gućnost da se svakodnevno vrše merenja zračenja u atmosferi od Zemljine površine do visine prskanja balona. Ova visina je viša od uobičajenih visina koje dostižu avioni.

Prema Jägermalmu, Peltonenu i Wilskoj (1963) prva merenja sa radiosondama snabdevenim Gajgerovim brojačima

osetljivim na gama zračenje izvršena su u SAD 1958. godine. O merenjima radioaktivne prašine iznad Japana dao je prikaz Isi Siriro na Ženevskoj konferenciji o mirnodopskoj primeni atomske energije 1955.g. Zatim se u radovima Jägermalma(1964) i Kuzenkova (1965) razmatra primena ovakvih metoda merenja u SSSR-u i Italiji.

U 1961. godini Finci su objavili podatke o njihovoј sondi za merenje radioaktivnog zračenja (Nuclear Radiation Detection in the upper air, Vaisala News, No 11, 1965), kao i rezultate merenja izvršenih u 1962. g. Na osnovu radova Jägermalma, Peltonena i Wilske, 1963; Jägermalma 1964. i R. Vaisale 1965. godine daćemo ovde kratak opis finske radiosonde za merenje radioaktivnog zračenja tipa NS 11.

2. FINSKA SONDA NS 11

Sonda za merenje radioaktivnosti NS 11 (sl.2) predstavlja u principu Gajgerov brojač osetljiv na gama zračenje ili na gama i beta zračenje, koji moduliše UKT radiopredajnik sa nosećim talasom učestanosti 152 MHz. Signali sonde registruju se na zemlji specijalnim prijemnim uređajem (sl.3), koji ima dva registratora: automatski pisač na papirnu traku za grafičko beleženje vrednosti radioaktivnog zračenja i digitalni brojač impulsa. Pisač sa trakom funkcioniše kao merač frekvencije, zapisujući neposredno srednju frekvenciju primljenih impulsa od sonde u funkciji vremena. Frekvenciju signala na listi registracije moguće je odmah neposredno pročitati u mR/h, pomoću skale koja je podešena prema vrednosti osnovnog baždarenja prijemnika i sonde.

Prijemnik ima i osciloskop za vizuelnu kontrolu registracije, a signali sonde mogu se čuti preko zvučnika. Za prijem i obradu podataka dovoljan je jedan operator. Da bi prijem signala bio što bolji i da bi se izbegao uticaj smetnji prilikom prijema, služi specijalna antena (sl.4), koja ima funkciju pojačanja signala primljenih od sonde. Ovom antenom može se u grubom proceniti pravac u koji je otišla sonda, odnosno pravac strujanja u pojedinim slučajevima atmosfere.

3. ADAPTACIJA RADIOSONDE AMT-4

Na američkoj radiosondi AMT-4 (sl.5), koja se kod nas koristi, vršeni su pokušaji u inostranstvu adaptacije u

cilju merenja intenziteta radioaktivnog zračenja.

U Republičkom hidrometeorološkom zavodu u Beogradu u toku je rad na ovakvoj jednoj adaptaciji. Adaptirana radiosonda davaće bi podatke o ukupnom gama ili ukupnom gama i beta zračenju, temperaturi vazduha, vazdušnom pritisku i visinskom vetrusu. Iz podataka temperature vazduha i vazdušnog pritiska dobijaju se posredno podaci o visini radiosonde u funkciji vremena. Iz podataka o visini radiosonde i vrednosti uglova elevacije i azimuta izračunavaju se podaci o visinskom vetrusu. Podatke o uglovnim koordinatama balonda (sonde) daje specijalni uredjaj, elektronski teodolit (sl.6), koji automatski prati kretanje radiosonde kroz vazduh.

Adaptacija se sastoji u zamjeni elemenata za merenje vlažnosti vazduha ove standardne radiosonde sa Gajgerovim brojačem uz odgovarajući izvor napajanja. U cilju smanjenja težine radiosonde predviđen je tranzistorski pretvarač za napajanje brojača. Sve ostale komponente radiosonde ostaju iste kao i prijemni uredjaji. Slika 7. pokazuje uprošćen blok-diagram sonde za merenje radioaktivnog zračenja.

4. PROCENA TAČNOSTI I OSETLJIVOSTI METODE

Konačni podaci o tačnosti merenja dobijeće se posle izvršenih eksperimenata. Radio smetnje će biti otklonjene izborom santimetarskih talasnih dužina.

Tačnost merenja zavisiće od čestine merenja (beleženja signala u jednom minuti, za koje vreme radiosonda pređe kroz sloj vazduha debljine 300-350 m. Može se očekivati da tačnost registracije neće biti manja od 6%.

Dalji izvor grešaka je inercija baroprekidača, radiopredajnika i registratora na zemlji, kao i greška usled mrtvog vremena detektora. Usled inercije broj registrovanih impulsa biće nešto manji od njihovog stvarnog broja. Ova greška će biti veća u slojevima sa anomalnim povećanjem radioaktivnosti.

Prema Kuzenkovi (1965) sovjetska radiosonda omogućava da se izmeri do 3000 impulsa/sek sa greškom koja ne prelazi 20%. Međutim, ova greška ima uvek isti znak i može se uzeti u obzir prilikom obrade podataka merenja.

S druge strane, pak, sonda će beležiti jako gama zračenje nešto pre ulaska u oblast povišene aktivnosti, kao i posle izlaska iz nje. Stoga će vrhovi biti razvučeni. Me-

djutim, očigledno je da će maksimalni broj impulsa odgovarati položaju najveće koncentracije produkata radioaktivnog raspadanja.

Ako se osetljivost sonde za merenje radioaktivnosti, definisane kao njena sposobnost da izmeri količinu raspada radioaktivnih produkata, $n = \frac{1}{10} n_0$, gde je n_0 intenzitet osnovnog zračenja, onda tačnost sondi za merenje ovako određene količine radioaktivnosti iznosi 30% (Kuzenkov, 1965).

5. PRINCIP ANALIZE REZULTATA MERENJA I NEKI REZULTATI MERENJA IZVRŠENIH U FINSKOJ I SSSR-u

Princip analize podataka registrovanih od sonde za merenje radioaktivnog zračenja sastoji se u tome da se nadje razlika, tj. odstupanje u intenzitetu radioaktivnog zračenja od neke "normalne" krive raspodele koja potiče od prirodne, osnovne radioaktivnosti u raznim slojevima atmosfere. Ovo osnovno zračenje na većim visinama posledica je dejstva kosmičkog zračenja.

Takva jedna normalna kriva (sl.8) pokazuje, po pravilu, porast intenziteta radioaktivnosti vazduha sa visinom. Pri tome se nešto veći porast često primećuje oko tropopauze, sa maksimalnim intenzitetom u sloju izmedju 19 i 23 km, a najčešće oko 20 km.

Sloj maksimalne koncentracije radioaktivnog zračenja obično je dosta izražen. Njegov postanak tumači se transformacijom primarnog kosmičkog zračenja visoke energije u gušćim slojevima atmosfere. Sem toga, na ovoj visini se javlja i sloj maksimalne koncentracije neradioaktivnih aerosola u donjoj stratosferi.

Dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da raspodela radioaktivnih zona sa visinom ima slojevit karakter. Takođe je utvrđeno da postoji visok stepen korelacije između intenziteta zračenja i brzine visinskog vетра, što je uslovljeno konvergencijom radioaktivnih aerosola vazdušnim strujama.

Slika 8. prikazuje maksimalnu koncentraciju na visini 20 km od približno 0.65 mR/h. Ovakva kriva smatra se da pokazuje tipične uslove zračenja u atmosferi, a dobijena je merenjima u Finskoj.

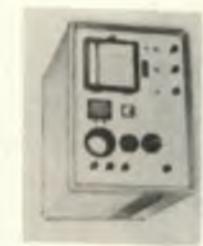
Srednja vrednost iz 28 merenja izvršenih u Finskoj sa maksimumom zračenja na 20 km, intenziteta od 0.55 mR/h, prikazana je na slici 9.

Na slici 10. prikazani su rezultati merenja i povećanje radioaktivnog zračenja sa visinom na osnovu merenja izvršenih 1962. godine u SSSR-u (Kuzenkov, 1965).

Slika 11. predstavlja slučaj anomalne raspodele radioaktivnosti vazduha izmerene u Finskoj. Intenzitet zračenja poraste do oko 0.68 mR/h već na visini od 17 km, zatim opada na 0.60 mR/h na 18-19 km, kada ponovo počinje da raste dostižući vrednost od 0.90 mR/h na 25 km. Kako je malo verovatno da je naglo povećanje radioaktivnog zračenja izazvano pljuskovima kosmičkih zrakova u ova dva sloja sa izrazitim porastom zračenja, to se može zaključiti da se u ovom slučaju radi o povećanju veštačkog radioaktivnog zračenja. Sonda je i prilikom spuštanja pokazala povećanje radioaktivnog zračenja u istim slojevima, pa je tim očiglednije da je malo verovatno da bi se tu radilo o pljuskovima kosmičkih zrakova.

LITERATURA

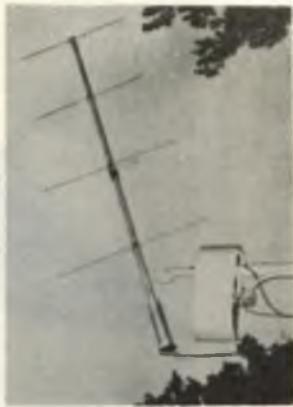
- Jägermalm, O., Peltonen, P., Wilska, M., 1963: Equipment for radioactivity measurements in the upper air. Vaisala News, No.17.
- Jägermalm, O., 1964: Radioactivity sonde. Vaisala News, No.22.
- Kuzenkov, A.F., 1965: Metod izmerenija radioaktivnovo izlučenija v svobodnoj atmosferi. Trudi CAO, vip.67.
- Nuclear Radiation Detection in the upper air. 1961. Vaisala News, No.11.
- Vaisala, R., 1965: Receiving antenna set, type NA 11 for use with the radioactivity sonde. Vaisala News, No.25.



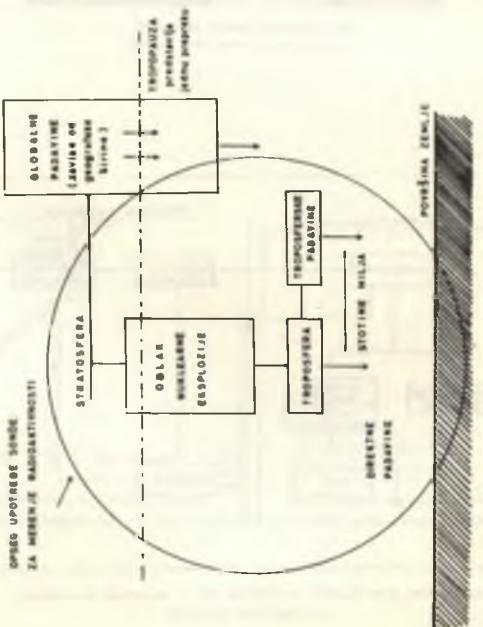
Sl. 1. Preporučeni uređaj za merenje
radiacije (radiometar), tip M 11



Sl. 2. Sonda za merenje
radiacije (radiometar), tip M 11

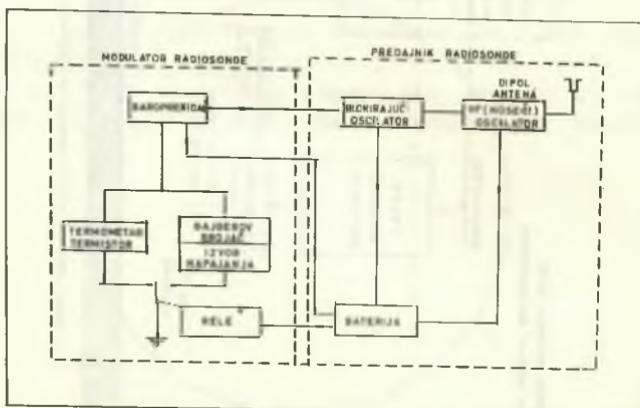


Sl. 3. Antena, tip M 11

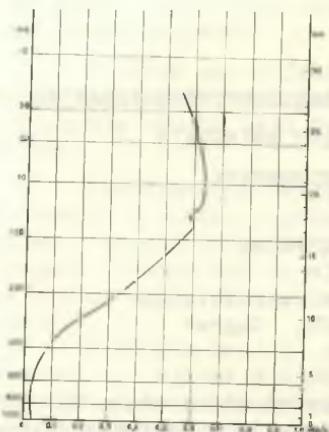




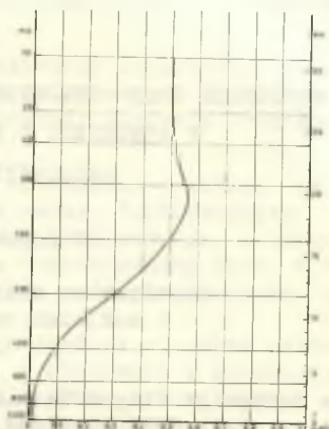
Sl. 6. Elektronski landelet za praćenje
kreiranja radioaktivnosti kroz vazduh



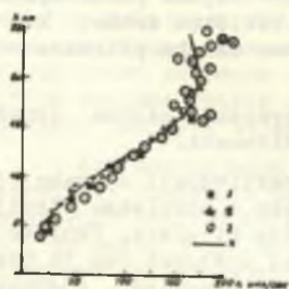
Sl. 7. UPROSCEN BLOK DIJAGRAM RADIOSONDE AMT 4 ADAPTIRAN ZA MERENJE
RADIOAKTIVNOG ZRAĆENJA



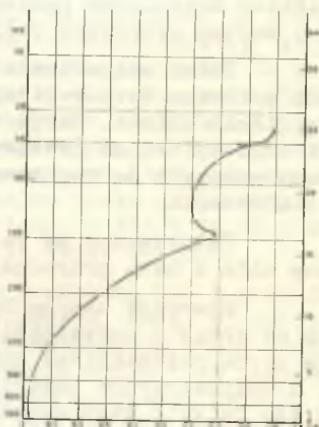
Sl. 8. Dijagram zračenja pokazuje intenzitet zračenja u mR/h u zavisnosti od nadmorske visine



Sl. 9. Upravljena kriva zračenja dobijena na osnovu 28 osmatranja



Sl. 10. Rezultati merenja povećanja radioaktivnog zračenja sa visinom



Sl. 11. Dijagram zračenja pokazuje intenzitet zračenja u mR/h u zavisnosti od nadmorské visine

MOGUĆNOST BRZE REGISTRACIJE RADIOAKTIVNIH PADAVINA
U ATMOSFERI U PRISUSTVU PRIRODNIH
RADIOAKTIVNIH ELEMENATA

V.Popović i M.Picer

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

Brza detekcija ukupne beta-radioaktivnosti u zraku kao posljedica nuklearnih eksplozija otežana je prisustvom prirodnih radioaktivnih elemenata u zraku. Da bi se iskoristile postojeće aparature i instrumenti, nastojali smo naći prikladnu metodu za detekciju beta-aktivnosti (posljedica nuklearne eksplozije) u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata u atmosferi. Sama metoda trebala bi se temeljiti na različitim krivuljama raspada za smjese radioaktivnih pada-vina i smjese prirodnih radioaktivnih elemenata.

Tokom eksperimenata mjerene su dnevne varijacije ukupne prirodne beta-radioaktivnosti, kao i utjecaj meteo i zemljjišnih uslova. Dalje je praćeno vrijeme poluraspada, kao i utjecaj brzine protoka zraka, količine zraka, kao i vremena pumpanja na registraciji nivoa ukupne prirodne beta-radioaktivnosti.

Istovremeno se radi i na praćenju odnosa izmedju ukupne alfa i beta prirodne radioaktivnosti.

Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u zraku je jedan od prvih i najvažnijih postupaka u kompleksu odredjivanja nivoa radioaktivne kontaminacije biosfere. Ukoliko se radi o radioaktivnim padavinama, ovaj postupak ima tu prednost što je vrlo jednostavan - ne samo u pogledu postupka nego i aparatura, - no ima i krupan nedostatak, jer se za određivanje nivoa radioaktivnosti u zraku mora sačekati 120 sati da bi se raspali prirodni radioaktivni elementi, koji se uvijek u manjoj ili većoj mjeri nalaze u atmosferi.

Kada se radi o veoma velikim koncentracijama radioaktivnih padavina u atmosferi nije potrebno voditi računa o nivoima prirodne radioaktivnosti, no to će rijedje biti slučaj,

jer je sasvim logično da se očekuju dugotrajnije kontaminacije, no manjeg stepena.

U prvom smo dijelu istraživanja ispitivali nivoje prirodne radioaktivnosti pod istim uslovima pod kojima se kod nas određuje ukupna beta radioaktivnost fisionih produkata u atmosferi.

Prosisavanje je trajalo 90 minuta, a vršeno je tri puta dnevno: u jutro, u podne i na večer. Filtrir-papir je stavljen u brojač dvije minute nakon prosisavanja, a brojanje je trajalo 10 min. Ova su mjerjenja vršena svakog dana u toku jedne godine u Zagrebu, a povremeno i u drugim mjestima po 3-4 dana.

Grafikon broj 1. pokazuje srednje mjesecne aktivnosti za sva tri mjerjenja u Zagrebu, u usporedbi s mjerenjima u Washingtonu i Yokosuki (prosisavanje zraka u Washingtonu i Yokosuki je trajalo duže, pa su i aktivnosti na filtrir-papiru niže).

Razlika između maksimalne i minimalne aktivnosti iznosila je 1525 pCi/m³, odnosno maksimalna je aktivnost bila veća od minimalne za faktor 170. U ostalim je mjestima maksimalna aktivnost bila 238 pCi/m³, a minimalna 1 pCi/m³.

Istovremeno s ovim mjerjenjima proučavan je i utjecaj meteo faktora na nivoje prirodne radioaktivnosti, koje zbog kratkoga vremena možemo samo ukratko iznijeti. Na grafikonima 2., 3. i 4. prikazani su nivoi prirodne radioaktivnosti atmosfere u toku avgusta, septembra i oktobra 1966.god. u odnosu na relativnu vlažnost, temperaturu i tlak zraka u vrijeme sakupljanja uzorka. Prikazani rezultati odnose se na uzorke zrakā dobivene prosisavanjem zraka od 12 do 13.30 sati i za vrijeme vedrih i mirnih dana, u želji da se u što većoj mjeri isključi utjecaj ostalih meteo faktora.

Kod sakupljanja fisionih produkata kao i prirodnih radioaktivnih elemenata na filtrir-papiru, zbog njihovih radioaktivnih osobina dolazi do superponiranja dva procesa, tj. do sakupljanja zbog filtriranja zraka i do raspada zraka zbog radioaktivnosti. S obzirom da se raspad jednih i drugih znatno razlikuje, upravo tu razliku smo nastojali iskoristiti da bismo dobili što brži odgovor o koncentraciji fisionih produkata u zraku.

Poznato je da se smjesa fisionih produkata raspada - grubo uzevši - tako da se kod povećanja vremena od 7 puta aktivnost smanji za faktor 10. Vrijeme poluraspada smjesi prirodnih radioaktivnih elemenata (beta) je 30 min. Na

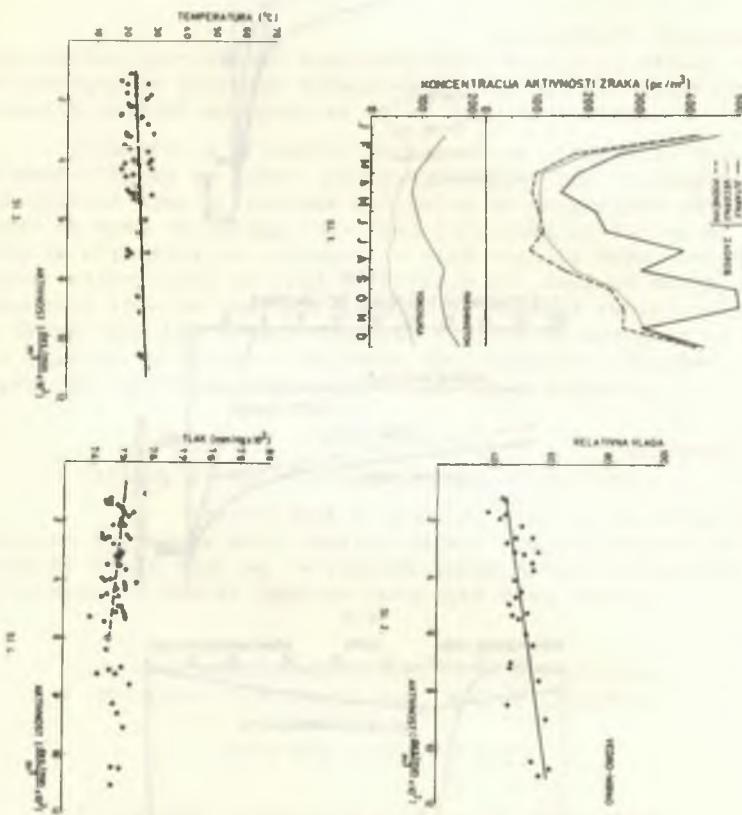
grafikonu 5. vidi se porast i opadanje ukupne prirodne beta radioaktivnosti na filtracionom sistemu za vrijeme sakupljanja i poslije svršetka sakupljanja. Na grafikonu 6. prikazan je dio krivulje beta-raspada radionuklida koji su se sakupili za vrijeme filtracije zraka. Iz analize raspadne krivulje vidljivo je da se ukuna beta-radioaktivnost sastoji od potomaka ^{222}Rn i ^{220}Rn te fisionih produkata. Doprinos beta-radioaktivnosti fisionih produkata ukupnoj prirodnoj beta-radioaktivnosti atmosfere može se jednostavno izračunati poznавајуći brzine raspada potomaka ^{222}Rn i ^{220}Rn te fisionih produkata. Na taj se način mjerjenjem brzine raspada uzorka zraka kod dva vremena iza svršetka prosisavanja može izračunati sama beta-radioaktivnost fisionih produkata.

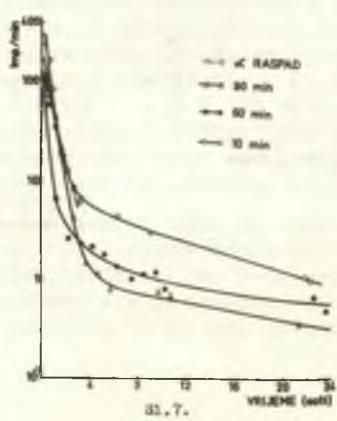
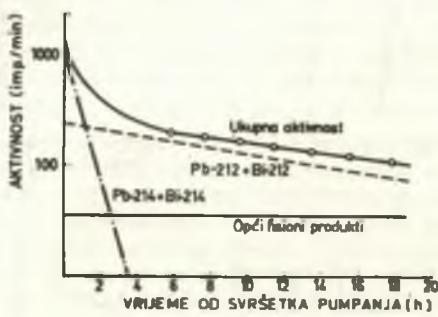
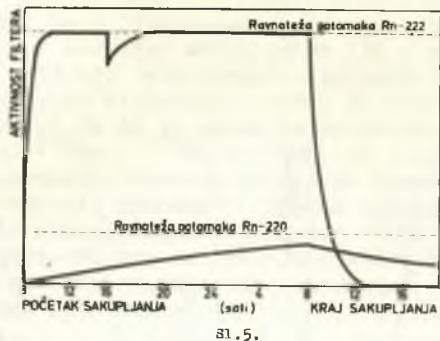
Grafikon 7. pokazuje krivulje beta-raspada prirodne radioaktivnosti kod vremena prosisavanja zraka od 10, 60 i 90 minuta. Krivulje raspada pogotovo su identične u vremenskom intervalu neposredno nakon prosisavanja, što je i najvažnije. Tačkasta linija pokazuje alfa-raspad.

Koliko bi trajao postupak mjerjenja, što je u ovom slučaju neobično važno, zavisi u prvom redu o tome koliko se tačni rezultati traže. Iako su istraživanja još u toku, kao npr. ispitivanje efikasnosti filtrir-papira kod raznih uvjeta, utjecaj brzine protoka zraka, dužina prosisavanja itd, može se reći da bi se prema dosadašnjim rezultatima mogao dobiti rezultat s dovoljnom tačnošću za oko 15-20 minuta.

Mjerenjem alfa-raspada došli smo na ideju da pokušamo iskoristiti prisutnost te komponente za brzo određivanje fisionih produkata. U nizu mjerjenja, koja još nisu završena, mjerili smo odnos alfa i beta-emitera kod prirodnih radioaktivnih elemenata u atmosferi. U 27 mjerjenja dobili smo odnos od 2.96 ± 0.20 ($r = 6.9\%$) beta prema alfa. Ukoliko bi dobivena konstantnost odnosa bila dovoljna, jer varijacije utječu na rezultat, može se sa sigurnošću reći da bi se odgovor mogao dobiti za nekoliko minuta.

Iz svega iznesenog, iako su eksperimenti još u toku, vidi se da bi se obje metode mogle vrlo korisno upotrijebiti za brzo određivanje ukupne beta-radioaktivnosti fisionih produkata u zraku i u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata, ne čekajući da se oni potpuno raspadnu.





KRITIČKI OSVRT NA PROCJENU NIVOA RADIOAKTIVNIH AEROSOLA
PORIJEKLOM OD SVJEŽIH NUKLEARNIH EKSPLOZIJA

Ž.Petrović i S.Elazar

Institut za higijenu i socijalnu medicinu
Medicinskog fakulteta Univerziteta, Sarajevo

Ukupna beta aktivnost uzoraka aerosola prezentuje se vrijednostima 5 dana nakon kaptacije. Na primjerima je ukazano koliku grešku povlači ovakav pristup kada se radi o uzorcima porijeklom od svježih nuklearnih eksplozija.

Procjena greške i korekcija rezultata data je u vidu nomograma.

Decembra 1960. godine usvojena je zajednička metoda o praćenju radioaktivnog zagajdenja atmosfere za SFRJ po kojoj bi se mjerjenja uzorka aerosola vršila pet dana nakon kaptacije. Ovakav pristup je prihvativ, ako se radi o uzorcima porijeklom od starijih eksplozija gdje su zastupljeni radioelementi dugog života, gdje u intervalu od kaptacije do mjerjenja ne dolazi do znatnijih promjena. Međutim, kada se radi o uzorcima porijeklom od svježih eksplozija radi prisutnosti kratkoživećih radioelemenata dolazi naglo do velikih promjena u nivou aktivnosti za period od kaptacije do mjerjenja.

Cilj ovoga rada je da se ukaže na potrebu korekcije aktivnosti uzorka, tj. prikazivanja stvarnih vrijednosti, kao i da iznese praktičan način procjene korigovanih vrijednosti izradjenih nomogramima.

METODA RADA

U radu smo se služili podacima mjerjenja ukupne beta aktivnosti aerosola porijeklom od svježih nuklearnih eksplozija počev od 1961. godine (3, 4).

Procjenu starosti uzorka vršili smo grafičkom metodom (2).

Stvarnu vrijednost aktivnosti uzoraka mjerениh n dana nakon kaptacije dobivali smo služeći se jednačinom radioaktivnog raspada:

$$A_t = A_0 t^{-x}$$

gdje je x pretežno 1,2 za starije uzorke, dok se za svježe uzorke grubo uzima da je jednak 1 (za uzorke starosti do mjesec dana).

Da bi izvršili brzu procjenu greške kao i nivo korigovane stvarne vrijednosti sastavili smo nomograme. Procentualnu grešku koja je funkcija starosti uzoraka dobili smo dijeljenjem jednačina:

$$\frac{A_t}{A_{t+n}} = \frac{A_0 t^{-1}}{A_0 (t+n)^{-1}} \quad 1$$

$$\frac{A_t}{A_{t+n}} = \frac{1}{1 + \frac{\ln n}{t}} \quad 2$$

$$\frac{A_t}{A_{t+n}} = 1 + \frac{\ln n}{t} \cdot \frac{1}{100} \quad 3$$

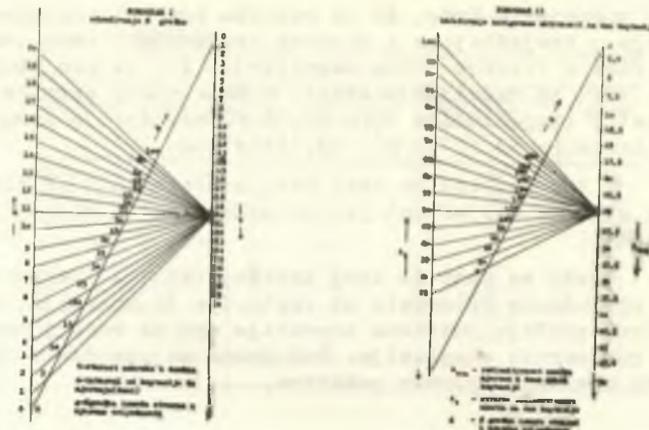
Uvodjenjem % greške ($g = \frac{\ln n}{t}$) dobili smo

$$\frac{A_t}{A_{t+n}} = 1 + \frac{g}{100} \quad 4$$

Odatle proizilazi da je:

$$f_n(t) = \frac{\ln n}{t} = g \quad 5$$

Izvodjenje "Z"-ta nomograma I išlo je preko relacije 5, a nomograma II preko relacije 4.



n - interval u danima izmedju kaptacije i mjerena,
 t - starost uzorka u danima, tj. vrijeme od eksplozije do kaptacije uzorka,
 g - greška izmedju aktivnosti mjerene i kaptiranog uzorka,
 A_t - radioaktivnost uzorka pC/m^3 zraka korigovana na dan kaptacije,
 A_{t+n} - radioaktivnost uzorka pC/m^2 zraka mjerena n dana nakon kaptacije.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na tabeli 1. prikazani su uzorci aerosola porijeklom od 5 kineskih nuklearnih eksplozija kaptiranih u Sarajevu 1964.-1966. godine (3, 4) sa procentualnom greškom (g) i sa korigovanim vrijednostima (A_t). Iz rezultata prikazanih na tabeli 1. vidi se da se greška kod navedenih uzorka kretala od 16-38%. S obzirom na niske aktivnosti i vrijeme stizanja zagadjenja do naše teritorije (starosti uzorka), koje je bilo iznad 9 dana ni korigovane vrijednosti takodjer nisu bile visoke. Kod snažnijih eksplozija čije je stizanje zagadjenja na našu teritoriju bilo brže, a nivo aktivnosti viši, korekcija je bila značajnija (tabela 2).

Iz rezultata prikazanih tabelom 2. se vidi da što je

stizanje zagadjenja brže, da je razlika izmedji vrijednosti koja se daje u izvještajima i stvarne vrijednosti veća, naročito kada se radi o visokom nivou zagadjenja, što je bio slučaj 27. 09.1961. kada je zagadjenje stiglo 5 dana nakon eksplozije, a vrijednost u izvještajima bila $27,08 \text{ pC/m}^3$, dok je stvarna vrijednost iznosila $54,16 \text{ pC/m}^3$, tj. dvostruko.

U tom periodu za veći broj uzoraka koji je bio oko 3 pC/m^3 , stvarna vrijednost je iznosila preko 4 pC/m^3 , tj. bila je iznad MDK.

Često se desi da zbog zakašnjavanja u transportu dolazi do produženog intervala od kaptacije do mjerena, tako da su i u ovom slučaju potrebne korekcije ako se radi o uzorcima svježih nuklearnih eksplozija. Nomogrami su pogodni i za korekcije kod mjerena uzorka padavina.

ZAKLJUČCI

1. Iz rezultata se vidi da je korekcija neophodna za uzorke visoke vrijednosti i kod male greške.

2. Da je greška kod niskih vrijednosti velika, ako se radi o uzorcima svježih nuklearnih eksplozija i da korekciju treba svakako vršiti za uzorke male aktivnosti, starosti do 1 mjesec dana.

3. Pomoću konstruisanih nomograma vrši se procjena greške i procjena nivoa aktivnosti. Za precizna određivanja potrebno je vršiti matematička izračunavanja prema priloženim jednačinama, uzimajući u obzir sve ostale greške.

LITERATURA

1. Elazar, S. (1966) Nomografija, Tehnička knjiga, Zagreb.
2. Petrović, Ž. (1963) Neke metode određivanja nuklearnih eksplozija u atmosferi, I jugoslovenski simpozijum o radio-loškoj zaštiti, Portorož (u štampi).
3. Izvještaji o kontroli radioaktivnih aerosola u atmosferi Sarajeva od 1961-1966, Institut za higijenu i socijalnu medicinu Sarajevo (nije publikovano).
4. Žarković, G., Čustović, F., Petrović, Ž., Leovac, A.: Radioaktivnost životne sredine u SR Bosni i Hercegovini i nekim mjestima SR Crne Gore i SR Hrvatske, Publikacija br.40, Sarajevo, 1967, Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta u Sarajevu.

Tabela 1.

Uzorci radioaktivnih aerosola (Sarajevo) porijeklom od kinесkih eksplozija

Datum eksplozije	Datum kaptacije uzorka	Starost uzorka u danima (t)	Beta aktivnost u $\mu\text{C}/\text{m}^3$		% greška (g)
			5 dana nakon kaptacije $A(t+n)$	korigovana stvarna vrijednost $A(t)$	
16.10.1964	30.10.1964	14	1,39	1,88	35
16.10. *	31.10. *	15	1,11	1,48	33
16.10. *	1.11. *	16	1,68	2,20	31
14.5. 1965	27.5.1965	13	2,20	3,06	38
9.5. 1966	6.6. *	28	0,90	1,05	17
9.5. *	14.6. *	35	1,77	2,01	14
26.10. *	15.11. *	21	0,88	1,08	23
26.10. *	16.11.1966	22	0,80	0,98	22
26.12. *	28.1. 1967	30	1,17	1,35	16

Tabela 2.

Uzorek radioaktivnih aerosola porijeklom od nuklearnih eksplozija tokom 1961-1962 godine kaptiranih u Sarajevu

Datum eksplozije	Datum kaptacije uzorka	Starost uzorka u danima (t)	Beta aktivnost u $\mu\text{C}/\text{m}^3$		% greška (g)
			5 dana nakon kaptacije $A(t+n)$	korigovana stvarna vrijednost $A(t)$	
14.9.1961.	3.10.1961	19	3,16	3,95	25
22.9. *	27.9. *	5	27,08	54,16	100
22.9. *	28.9. *	6	9,44	17,27	83
22.9. *	29.9. *	7	3,92	6,70	71
22.9. *	11.10. *	19	6,24	7,80	25
30.10. *	11.11. *	12	57,26	80,74	41
3.4.1962	18.5.1962	18	7,04	8,97	22
12.5. *	19.5. *	7	6,94	11,86	71
15.9. *	27.9. *	12	6,00	8,46	41
27.8. *	7.9. *	10	3,22	4,83	50
27.8. *	9.9. *	12	6,13	8,64	41

MJERENJE I IDENTIFIKACIJA ${}^7\text{Be}$ U RADIOAKTIVNIM PADAVINAMA

A. Bauman

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

Posljednjih godina, procesi prenosa radioaktivne kontaminacije u atmosferi uspješno se izučava pomoću kosmogenih radionuklida. U uzorcima radioaktivnih padavina identificiran je ${}^7\text{Be}$ gama-spektrometrijom, i to bilo kemijski izdvojen, bilo praćenjem $T_{1/2}$ direktno na uzorku. Utvrđen je $T_{1/2} = 53$ dana. Navedeni su podaci za padavine u periodu od 1965-1967. Izračunata je količina ${}^7\text{Be}/\text{km}^2$ i broj atoma/l kiše. Navedene su neke primjene dobivenih podataka.

UVOD

Svrha ovog rada bila je prikupljanje kvantitativnih podataka o količini ${}^7\text{Be}$ u padavinama tokom duljeg vremenskog perioda. Na temelju dobivenih podataka može se ${}^7\text{Be}$ upotrebiti kao prirodni obelježivač za proučavanje atmosferske cirkulacije. Zbog svoje lagane detekcije ${}^7\text{Be}$ je od svih produkata kozmičkog zračenja najprikladniji za takvu vrstu ispitivanja.

Nastaje interakcijom kozmičkog zračenja sa jezgra dušika i kisika (at.tež. 14 i 16) /1/. Nastajanje kozmogenih radionuklida (${}^7\text{Be}$, ${}^{32}\text{P}$, ${}^{33}\text{P}$, ${}^{35}\text{S}$) ovisi o različitim fizikalnim parametara, kao što je energetski spektar kozmičkog zračenja, njegove modifikacije unutar atmosfere, itd. Razlog zbog kojeg je još posebno ispitivan ${}^7\text{Be}$ je i taj, što smeta kod određivanja fisionih produkata. 2.5 godine nakon zadnje nuklearne eksplozije može se očekivati da će nestati fisionih produkata s kratkim vremenom poluraspada. Međutim je opaženo da opadanjem količine fisionih produkata raste udio prisutne prirodne nastale aktivnosti kao što je ${}^7\text{Be}$. On smeta kod identifikacije spektra novih nuklearnih eksplozija,

a pokriva spektralno područje gdje se normalno nalaze ^{125}Sb , ^{103}Ru , ^{106}Rh , ^{140}Ba , jer su im fotovrhovi preblizu da bi se dali razdvojiti bez kemijske separacije.

METODA

Ispitivanje količine ^7Be tokom duljeg vremenskog perioda izvršeno je na 1 tački iznad tla, gdje se uzimaju uzorci atmosferskih padavina i aerosola. Metodika i obrada uzimanja uzorka obradjena je u radu A.Bauman, V.Popović /7/. Odredjivanje ^7Be nakon nuklearne eksplozije može se provesti jedino kemijskom separacijom /3/. Spektri ^7Be mjereni su 256-kanalnim analizatorom I.R.B. s kristalom NaJ(Tl) 4" x 4" tt. Harshaw. Duljina mjerena podešena je tako da je kod pojedinih uzoraka dobiveno u maksimumu fotovrhova 500 impulsa netto (100 - 300 minuta). Kod odvajanja uparenog ostatka kišnice ^7Be se nalazi u filtratu s ^{137}Cs što znatno olakšava rad, jer već 6-7 mjeseci nakon nuklearnih eksplozija nije više potrebno kemijsko odvajanje.

Za odredjivanje vremena poluraspada mjerena je jedan te isti uzorak u razmacima od po 15 dana tokom 2 mjeseca (sl. 1). $T_{1/2}$ slaze se s teoretskim i iznosi 53 dana. Dobiveni fotovrh nalazi se na 48 kanalu, što odgovara energiji od 0.48 MeVa (sl.2).

REZULTATI

Praćenjem količine ^7Be od 1965-1967. dobiveni su slijedeći rezultati:

Tablica 1. Količina ^{7}Be i ^{137}Cs u padavinama na području Zagreba 1965. g.

Mjesec	mm kiše	Broj atoma $^{7}\text{Be}/\text{ml}$	$^{7}\text{Be}^{(x)}$ mCi/km 2	^{137}Cs mCi/km 2
Svibanj	138,30	$24,0 \times 10^3$	14,90	2,23
Lipanj	84,90	$21,0 \times 10^3$	7,20	1,89
Srpanj	172,00	$19,2 \times 10^3$	13,50	4,00
Kolovoz	23,50	$8,7 \times 10^3$	3,10	1,38
Studeni	174,24	$1,2 \times 10^3$	0,80	0,73

(x) Svi rezultati u tablici 1, 2. i 3. pomnoženi su s faktorom 0,68 /1,6/ kao korekcija za vrijeme zadržavanja ^{7}Be u atmosferi od časa nastajanja do spuštanja s padavinama.

Tablica 2. Količina ^{7}Be i ^{137}Cs u padavinama na području Zagreba 1966. g.

Mjesec	mm kiše	Broj atoma $^{7}\text{Be}/\text{ml}$	^{7}Be mCi/km 2	^{137}Cs mCi/km 2
Travanj	63,41	$17,6 \times 10^3$	4,55	0,66
Svibanj	93,13	$19,8 \times 10^3$	7,65	0,87
Lipanj	135,38	$5,7 \times 10^3$	3,22	1,01
Srpanj	157,28	$21,4 \times 10^3$	13,90	1,40
Kolovoz	111,19	$8,5 \times 10^3$	3,90	0,60
Rujan	21,85	$4,7 \times 10^3$	0,42	0,18

Tablica 3. Količina ^{7}Be i ^{137}Cs u padavinama na području Zagreba 1967. g.

Mjesec	mm kiše	Broj atoma $^{7}\text{Be}/\text{ml}$	^{7}Be mCi/km 2	^{137}Cs mCi/km 2
Siječanj	50,00	$5,2 \times 10^3$	1,07	0,22
Veljača	22,63	$6,3 \times 10^3$	5,71	0,07
Ožujak	73,65	$26,1 \times 10^3$	9,00	0,16
Travanj	87,56	$9,1 \times 10^3$	3,24	0,31
Svibanj	75,98	$12,3 \times 10^3$	3,78	0,16
Lipanj	94,50	$21,8 \times 10^3$	9,20	0,39
Srpanj	66,36	$10,2 \times 10^3$	2,73	0,03
Kolovoz	40,40	$14,8 \times 10^3$	0,80	0,07

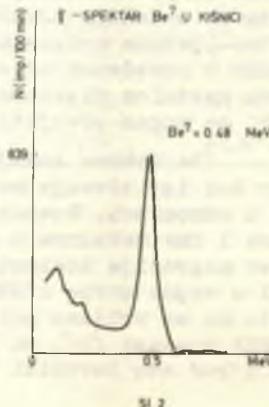
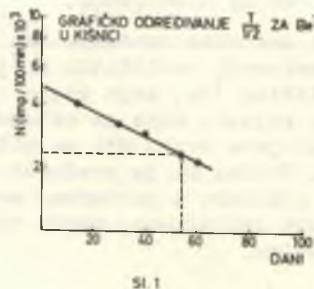
ZAKLJUČAK

Iz dobivenih mjerjenja očita se ljetni maksimum i jesenski minimum, očito ovisan o količini padavina i zadržavanju radioaktivnih aerosola u atmosferi. Uzima se /5,6/ da je srednje vrijeme zadržavanja aerosola u atmosferi od prilike 30 dana, pa su tako i rezultati bili korigirani. Postoji teoretska mogućnost (Kaplan) nastajanja ^{7}Be tokom nuklearnih eksplozija. Međutim se sadašnje povećanje tokom 1965-1967. podudara s proljetno-ljetnim maksimumom, pa je nemoguće utvrditi da li se radi samo o povećanom utjecaju kozmičkog zračenja ili se radi i o novo nastalom fisionom produktu. Potrebno je naći metodu kojom bi se mogao odvojiti fisioni ^{7}Be od kozmogenog.

^{7}Be dobiva zadnjih godina sve veće značenje kao indikator kod ispitivanja masovnih pomicanja različitih slojeva uzduha u atmosferi. Poznavajući količinu ^{7}Be , koja raste od ekvatora i ima maksimum u umjerenom pojasu, može se ustanoviti smjer migracije kontaminiranih slojeva zraka što se obично koristi u vojne svrhe u SSSR i USA. Velika mu je prednost i u tome što mu se vrijeme poluraspada podudara s periodama meteorooloških procesa /2/, pa bi se takva ispitivanja mogla vrlo lagano i kod nas izvršiti u većem obimu.

LITERATURA

1. Junge H., Himičeskij sostav i radioaktivnost atmosferi, Izdateljstvo "Mir" Moskva 1965.
2. Proceedings of the IV International Symposium on Condensation Nuclei, Frankfurt-Main & Heidelberg, 24-28 May (1961) Gidrometeorol.izdat. Leningrad (1964) Ruski prevod.
3. A.Bauman, V.Popović: Separacija ^{7}Be i ^{137}Cs u radioaktivnim padavinama. II kongres za čistu i primjenjenu kemiju, Beograd (1966).
4. Dominici G., Gaglione P., Malvacini A., Vide L.: Identificazione e misura del ^{7}Be nel fallout. Minerva nucleare 5, No 2-3 (1961) 52-54.
5. Anderson et al.: Comparison of fission product and ^{7}Be concentration in the atmosphere, Nature 187, 4737, 550 (1960).
6. Arnold J.R., Al-Salih h.Ali: ^{7}Be produced by cosmic rays. Nature 121, 451 (1955).
7. A.Bauman, V.Popović: Mjerenje gama aktivnosti u radioaktivnim padavinama nakon Kineske eksplozije od 9.V 1966. - Banja Luka, oktobar 1967. III simpozijum J.D.R.Z. Mjerenje i instrumentacija u zaštiti od ionizujućeg zračenja.



ELEMENTI RADILOŠKE KONTROLE TRICIJUMA KOD TEŠKOVOVDNIH NUKLEARNIH REAKTORA

M.M.Ninković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

Na nuklearnim reaktorima koji koriste tešku vodu kao moderator i rashladni medijum, dolazi vrlo često do kontaminacije vazduha gasovitim tricijumom i parama tricirane vode. Radovi odnosno okolnosti pri kojima tricijum može da dospe u spoljnu sredinu su sledeći: radovi pri kojima dolazi do narušavanja hermetičnosti teškovodnog ili gasnog sistema reaktora; radovi sa predmetima koji su bili u kontaktu sa teškom vodom iz reaktora ili parama teške vode; akcidenti pri kojima dolazi do prolivanja teške vode iz reaktorskog sistema.

Količina tricijuma u teškoj vodi u prvih nekoliko godina rada reaktora, približno linearno se povećava sa vremenom, te prema tome i opasnost dospevanja tricijuma u organizam radnog osoblja neprestano se uvećava. Sve to ukazuje na nužnost uspostavljanja efikasne kontrole koncentracije tricijuma u vazduhu, u cilju pravovremenog otkrivanja pojave tricijuma i primene adekvatnih zaštitnih mera.

2. OSNOVI DETEKCIJE I KONTROLE TRICIJUMA U VAZDUHU

Za detekciju tricijuma mogu se u principu koristiti sve standardne metode koje se primenjuju u merenjima ionizujućih zračenja, a u kojima se kao detektori koriste:

- gasni brojači /1, 2/
- ionizacione komore /3, 4/
- scintilacioni brojači /5, 6/
- nuklearne fotoemulzije /7/, itd.

Osnovne teškoće detekcije bilo kojom od ovih metoda potiču otuda što tricijum emituje niskoenergetske beta čestice. Upravo zbog toga u osnovi većine metoda leži pravilo da se tricijum uvodi direktno u radnu zapreminu brojača.

Poseban problem predstavlja detekcija tricijuma, u vazduhu kod teškovodnih nuklearnih reaktora sa aspekta zaštite od zračenja. Po našem mišljenju utvrđivanje stepena opasnosti od tricijuma pored teškovodnih nuklearnih reaktora može biti uspešno ostvareno, samo ako se paralelno vrše tri vrste merenja:

- kontinualna ili diskontinualna merenja aktivnosti tricijuma u vazduhu;
- laboratorijska merenja tečnih i gasovitih uzoraka uzetih sa mesta na kojima se vrše merenja prethodno navedena; i
- merenja koncentracije aktivnosti tricijuma u biomaterijalu osoblja koje je radilo na mestima na kojima je detektovan tricijum jednim od prethodna dva postupka.

Razmatranjem dosadašnjih radova na kontroli tricijuma kod teškovodnih reaktora, moglo se zapaziti da su merenja vršena uglavnom jednostrano, bilo samo prenosnim ili stacionarnim komorama /3, 8/, bilo kombinacijom sa uzimanjem uzoraka i merenjem na laboratorijskoj aparaturi /9/.

3. PRIMERI DETEKCIJE TRICIJUMA U VAZDUHU

KOD REAKTORA RA U VINČI

Za mesta uzimanja uzoraka izabrali smo u širem smislu halu reaktora, odnosno prostoriju koja se nalazi neposredno iznad reaktorskog suda (vidi sl.2). U ovu prostoriju, a preko nje i u celu halu, tricijum dospeva pri operacijama zamene kanala sa gorivom kroz otvore na sudu reaktora, koji povadjenju kanala ostaju izvesno vreme nezапуšени.

Mesta uzimanja uzoraka naznačena su na slici 2.

Uzorci vazduha uzimani su na svim mestima istovremeno u vakumirane kalibrисane balone zapremine oko 140 cm^3 . Uzorci su uzimani jednostavnim otvaranjem balona na mestu uzimanja uzoraka i pošto se pritisak u balonu izjednači sa spoljnjim, balon se zatvori. Tako uzeti uzorci nošeni su, na dajući obradu i analizu u laboratoriju. Merenja su vršena

standardnim postupkom za interno gasno brojanje na aparaturoma koje su napravljene u Institutu "Boris Kidrič" /10/ sa izvesnim modifikacijama koje su za ovu svrhu specijalno učinjene u fazi pripreme i obrade uzorka za merenje.

3.1. Rezultati merenja

Rezultati merenja aktivnosti tricijuma u uzorcima vazduha dati su u Tabeli 1.

Posmatrajući rezultate citirane u Tabeli 1. u celi ni, zapaža se da su izmerene koncentracije u vazduhu veće za 3 do 64 puta od maksimalno dozvoljene za tricijum - $5 \cdot 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$, što očigledno ukazuje na veličinu opasnosti koju predstavlja tricijum za radno osoblje koje učestvuje u ovim operacijama.

Kako se iz Tabele 1. vidi, rezultati merenja na istim mestima u različitim serijama dosta se razlikuju. Na ovo su uticali različiti faktori kao: trenutak uzimanja uzorka u odnosu na početak operacije, obimnost operacije, različiti ventilacioni uslovi u hali, vlažnost i temperatura vazduha, itd. Ipak vidi se da su najmanje varijacije bile na mestu 5, koje je najviše udaljeno od izvora tricijuma, što se i očekivalo.

Tabela 1. Koncentracije tricijuma u vazduhu u hali reaktora RA, izražene u MDK

Mesto uzimanja uzorka	Serijski uzorak	I	II	III	IV	V
1		13	4	4	13	39
2		64	8	29	9	55
3		10	19	10	58	16
4		3	3	5	-	-
5		4	4	5	5	-

Konačno, potrebno je naglasiti da za dobijanje realnije slike topografije tricijuma treba izvršiti znatno veći broj merenja. U okvirima ovog rada bio nam je osnovni cilj da razvijemo postupak merenja i dobijemo prvu makar i grubu topografiju koncentracije tricijuma u reaktorskoj hali.

4. ZAKLJUČAK

Utvrđeno je da kompletna i efikasna kontrola aktivnosti tricijuma, sa aspekta zaštite od zračenja, može biti ostvarena samo ako se vrše paralelno tri vrste merenja:

- merenje aktivnosti tricijuma u vazduhu direktno, prenosnim ili stacionarnim instrumentima;
- uzimanje uzoraka vazduha i merenje aktivnosti na laboratorijskoj aparaturi; i
- merenje aktivnosti tricijuma u biomaterijalu osoblja koje je udisalo vazduh kontaminiran tricijumom.

Izvršena su merenja i dobijeni rezultati o nivou i raspodeli tricijuma u vazduhu pri operaciji zamene kanala sa gorivom na reaktoru RA. Dobijeni rezultati ukazuju na opasnost koju po radno osoblje predstavlja tricijum.

Merenja aktivnosti uzoraka tricijuma vršeno je u Laboratoriji za fizičku hemiju i Odjeljenju za metrologiju IBK, za šta posebnu zahvalnost dugujem drugaricama Zorki Matić-Vukmirović i Muneveri Hadžišehović.

5. LITERATURA

1. R.L.Ely, L.F.Ballard, Trans.Amer.Soc., 4, 2, 249, 1961.
2. J.O.Kanc, Sci.Papera Inst.Phys.Chem.Roc., Jap.56,51, 1962.
3. J.E.Hoy, Health Phys. 6, 203, 1961.
4. G.Soudain, CEA - R - 2841, 1966.
5. M.Tamers et al., IAEA, Vienna, I, 303, 1962.
6. J.A.B.Gibson, Phys.Med.Biol., 6, 55, 1961.
7. K.Becker, Atompraxis, 7, 10, 358, 1961.
8. H.L.Butler, Nuclear, Safety, USA, 4, 3, 79, 1963.
9. W.T.Morecraft, Amer.Ind.Hyg.Assoc.J., 24, 87, 1963.
10. Z.Matić-Vukmirović, M.Hadžišehović, biće publikovano.

DORIVNIH KANALA

ZA

ANALIZU

U

REAKTORSKOG

HALI

ZA

VREME

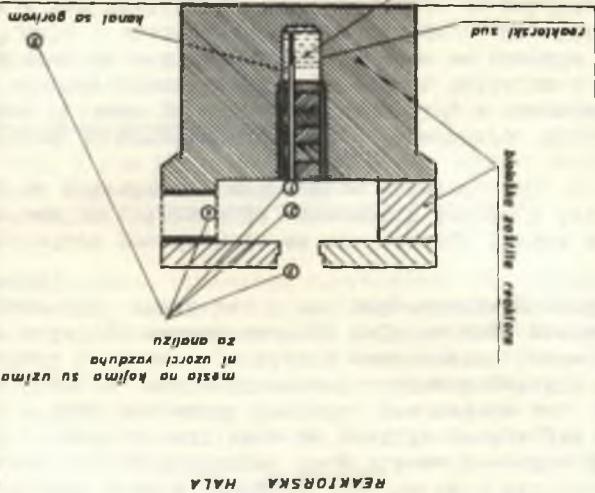
ZAMENE

SL 2 SEMATSKI PRIKAZ MESTA UZIMANJA UZORKA VAZDUHA

oključni zavoj

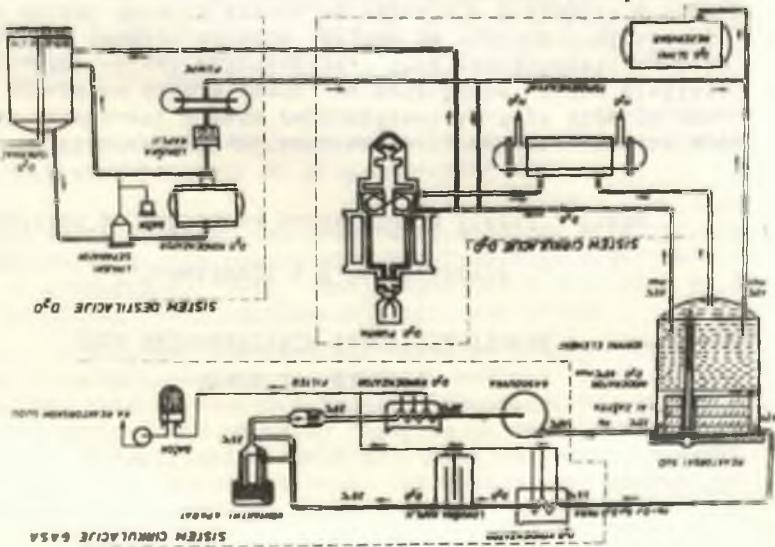
reaktorski sud

mestno mesto uzorkovanja



REAKTORSKA HALA

SL 1 SEMATSKI PRIKAZ OSNOVNIH ELEMENTA REAKTORA I REAKTORSKIH SISTEMA



APSOLUTNO MERENJE
BETA RADIOAKTIVNIH GASOVITIH IZVORA

Z.Vukmirović i M.Hadžišehović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Niskoenergetski beta emiteri, materijali male speficične aktivnosti i beta radioaktivni izotopi čije je stabilno agregatno stanje gasno, sa metrološke tačke gledišta čine posebnu oblast metrologije. Zbog nemogućnosti primene uobičajenih tehnika merenja kojima se radioaktivni izotopi mere u obliku čvrstih izvora, za relativna i apsolutna merenja radioaktivnosti ovih izotopa i radiometrijske analize naročito u oblasti niskih energija (do 50 KeV) koristi se metoda internog gasnog brojanja. Zbog visoke brojačke efikasnosti (98%) i osetljivosti koja se postiže uvođenjem gasovitih izvora u samu zapreminu brojača, ova metoda se, osim za apsolutna merenja radioaktivnosti niskoenergetskih beta emitera, koristi i za merenje niskih aktivnosti (ovde reda 0,04 $\mu\text{Ci}/\text{gr}$ materijala) svih izotopa koji se mogu prevesti u stabilan gasoviti oblik kao i za pripremanje gasovitih etalonih izvora.

Aparatura pomoću koje se ova merenja izvode sastoji se iz sistema za pripremanje gasovitih izvora i brojačkog uredjaja sa potrebnom elektronskom opremom.

Sistem za pripremanje izvora. Aparatura koja je ovde korišćena opisana je u ranijem radu /1/, a namenjena je prvenstveno za prevodjenje vode koja sadrži tritijum u vodonik. To je sistem za rad sa gasovima u kome se postiže vakuum reda 10^{-4} mmHg i sastoјi se iz dve linije, radne linije za pripremanje radioaktivnih izvora i linije za punjenje brojača neaktivnom brojačkom komponentom (radi određivanja osnovne aktivnosti) i radnim gasom. Pomoću aparature se vrši i prečišćavanje drugih brojačkih gasnih komponenti (metana, vodonika), degazacija brojača i kvantitativno odmeravanje gasovitih izvora preciznim merenjem pritiska. Za pripremanje izvora-etalona za kalibraciju ionizacionih komora na apara-

turu se priključe posude poznate zapremine i u zavisnosti od tražene radioaktivnosti etalona u posude se upušta određena količina radioaktivnog gasa, a istovremeno se od iste probe uzima i deo za brojače. Ovako se obezbeđuje direktna kontrola radioaktivnosti svakog etalonog izvora. Ukupna radioaktivnost etalona određuje se na osnovu merenja aktivnosti brojačima i pritiska radioaktivne komponente u posudi.

Ako se gasoviti radioaktivni izvor dobija iz gasovite neaktivne komponente (npr. ^{41}Ar), ozračivanje se vrši u specijalno pripremljenim i oštećenim kvarcnim ampulama. Manipulacija sa ozračenim ampulama je uobičajena tehnika otvaranja ampula u vakuumu.

Polazne supstance čija se specifična aktivnost meri mogu biti u čvrstom, tečnom stanju ili u obliku smeše parne i gasova.

Izdvajanje radioaktivne komponente iz gasne smeše vrši se putem apsorpcije pojedinih komponenti, organska jedinjenja se spaljivanjem prevode u vodu i CO_2 , a voda se redukuje na usijanim metalima do vodonika.

U ovom radu je izabrana redukcija vode na usijanom metalnom uraniju. Pritisak razvijenog vodonika, posle upuštanja u granu aparature gde su priključeni brojači, očitava se na živinom manometru pomoću katetometra čija je preciznost 0,01 mm. Greška odmeravanja najmanje količine vodonika koja se za probe može uzeti (oko 2 mmHg) je 0,4%. Kako tačnost odmeravanja zavisi i od temperaturskih promena okoline, za ukupnu grešku u odmeravanju radioaktivne komponente ispod 1% potrebno je temperaturu održavati konstantnom u granicama $\pm 2^\circ\text{C}$.

Brojači za merenje gasovitih izvora. Brojački uređaj se sastoji iz tri odvojena cilindrična brojača od nerđajućeg čelika istog dijametra (24,9 mm) a različite dužine (240, 180 i 120 mm). Svaki od ovih brojača je smešten u cev od purex-a. Anode brojača su od volframa dijametra 0,2 mm. Na jednom kraju svakog brojača nalaze se izvodi za uzemljenje i visoki napon a na drugom otvor sa slavinom za punjenje radioaktivnim i radnim gasom.

Oblast rada brojača je proporcionalna. Radni gas je smeša metan-argon u odnosu 1:9, totalni pritisak gase je 720–750 mmHg. Elektronska oprema je standardna izuzev predpojačavača. Kako se radi u proporcionalnoj oblasti a uglavnom se mere niskoenergetski beta emiteri, korišćen je nelinearni predpojačavač. Izlazni impulsi iz predpojačavača imaju

amplitudu od 1,2 V za sve impulse iz brojača veće od 4 mV.

Eksperimentalni podaci za izračunavanje specifične aktivnosti vode. Kod merenja radioaktivnosti izvora internim gasnim brojanjem pošto apsorpcija zračenja u podlozi i samoapsorpcija u izvoru ne postoje, eliminisane su i korekcije za ove efekte čije odredjivanje i predstavlja glavnu teškoću pri merenju niskoenergetskih beta emitera drugim uobičajenim metodama.

Ovde se, međutim, javljaju specifični efekti koji smanjuju ili povećavaju odbroj, pa se oni pogodnim eksperimentalnim metodama eliminisu ili se u obliku određenih korekcija uzimaju u obzir /2, 3/. Pošto se sa korisćenim tim brojačem specifična aktivnost može odrediti ne bolje od $\pm 3\%$ korekcije čiji se ideo može zanemariti su izuzete, a uzet je u obzir samo efekat krajeva i sorpcija zračenja na unutrašnjim zidovima brojača. Efekat kraja, koji potiče od različite efikasnosti detekcije usled nejednakne jačine polja u brojaču eliminisan je merenjem iste probe pomoću tri brojača čije su sve karakteristike izuzev dužina identične. Preveći razliku između odbroja i zapremina ovih brojača dobijaju se tri imaginarna brojača koji daju odbroj bez učešća kraja.

Korekcija za sorpciju zračenja na unutrašnjim površinama brojača je za aktivnosti reda $10 \text{ m}/\mu\text{Ci}$ zanemarljiva, dok za aktivnosti reda $0,1/\mu\text{Ci}$ ona iznosi $0,1\%$. Kako se zaostala radioaktivnost ne može lako ukloniti, isti brojači se ne mogu koristiti za merenje niskih i visokih specifičnih aktivnosti polaznih supstanci.

Karakteristike brojačkog uređaja idući redosledom od najdužeg prema najkraćem brojaču za vodonik su sledeće: dužine platoa 250–200 V; nagib ($1-1,5\%$) za 100 V; radna tačka 3000–2900 V; diferencijalni platoi imaginarnih brojača oko 200 V sa nagibom 1% za 100 V; mrtvo vreme $10 \mu\text{sec}$; osnovna aktivnost 250, 150 i $80 \text{ imp}/\text{min}$. Ova osnovna aktivnost se može smanjiti, što bi osetljivost metode povećalo za red veličine (od 10^{-10}Ci do 10^{-11}Ci po celoj zapremini brojačke celine); maksimalni parcijalni pritisak vodonika pri kome platoi brojača ostaju nepromenjeni je 2% od totalnog pritiska gasne smeše (750 mmHg).

Reprodukтивnost odbroja za istu probu i za vreme od mesec dana je $\pm 0,6\%$.

Za izračunavanje specifične aktivnosti vode koja sadrži tritijum izvedena je sledeća relacija u kojoj figurišu

samo merni podaci:

$$A_s = \frac{1.031 \times 10^6 \times N}{P_t \cdot V} \text{ dez/sec gr.H}_2\text{O}$$

gde je:

N - odbroj u imp/sec korigovan na osnovnu aktivnost,
mrtvo vreme i raspad;

P_t - pritisak radioaktivne komponente u mmHg na 22° C;

V - geometrijska zapremina brojača u cm³ (diferencijalna); brojni faktori predstavlja proizvod konstanti koje se koriste pri izračunavanju količine vode u granima na osnovu izmerenog pritiska vodonika(P_t).

LITERATURA

1. Matić Zorka: Magistarski rad, IBK-226, Beograd-Vinča(1965).
2. P.Jordan and Ph A.P.Lykourétas: Int.J. of Appl.Rad. and Isotopes; 16, 631-644 (1965).
3. A.Spernol and B.Benecké: Int.J.of Appl.Rad. and Isotopes; 15, 139-149 (1964).

MOGUĆNOST MJERENJA UKUPNE BETA RADIOAKTIVNOSTI
U PRIRODNIM VODAMA KONCENTRIRANJEM RADIONUKLIDA
NA TANKOM SLOJU IONOIZMJENJIVAČKE SMOLE

M.Picer

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

UVOD

Primjena ionoizmjjenjivačke smole za koncentraciju radionuklida iz kišnice objavljena je već pred relativno dugo vremena u radovima Hinzpetera (1, 2), te nešto kasnije Dunkela (3).

Svrha ovog rada je uvodjenje metode koncentriranja i direktnog mjerjenja radionuklida na tankom sloju ionoizmjjenjivačke smole radi određivanja ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama (kišnici, riječnoj i cisternskoj vodi) kontaminiranim radioaktivnim padavinama.

MATERIJAL I METODA

Ionoizmjjenjivačke smole

Komercijalna kationska smola Permutit RS 10-30 meša i anionska smola Permutit ES 26 10-30 meša sušene su 24 sata na 110°C i mljevene pomoću porculanskog mlina. Kationska smola prosijana je kroz sito od 200 meša, a anionska od 260 meša.

Radionukliidske smjese

Istraživanja su vršena sa dvije radionukliidske smjese. Prva smjesa sastojala se od ^{144}Ce (35,6%), ^{90}Sr (38,5%) i ^{137}Cs (25,6%). Sastav navedene smjese odgovara prema Hunteru (4) smjesi fisionih produkata starih oko 4 godine. U daljem tekstu ta radionukliidska smjesa označena je kao F.F.I.

Druga smjesa fisionih produkata dobivena je ozračivanjem u-
ranovog oksida u reaktoru.

Pripremanje uzoraka

Istraživanja su vršena na čistim vodenim otopinama kalcijevog acetata (5), kišnici, cisternskoj i riječnoj vodi. Uzorci čistih otopina $\text{Ca}(\text{Ac})_2$ kontaminirani su neposredno prije analize dodavanjem radionuklidskih smjesa. Uzorci prirodnih voda umjetno kontaminirani priredjeni su tako da se u plastični kenister od 25 litera stavilo 20 litara kišnice, riječne ili cisternske vode i dodala određena količina pojedine radionuklidске smjese.

Uredaj za propuštanje uzoraka vode preko sloja ionoizmjerenjivačke smole

Na slici 1. prikazan je uredaj za propuštanje uzoraka vode, koji se sastoji od erlenmayerove tirkvice u kojoj se nalazi uzorak. Voda iz erlenmayerove tirkvice protiče pomoću PVC cijevi u lijevak dobro poznatog uredjaja za filtriranje radioaktivnih teloga (6). Na filter papiru nalazi se određena količina ionoizmjerenjivačke smole.

Priredjivanje uzoraka za brojenje

Nakon završenog propuštanja uzoraka kroz sloj smole, filter papir sa smolom prebací se na aluminijumski tanjur za brojenje i nakon kratkog sušenja pokrije s trakom selotejpa.

REZULTATI I DISKUSIJA

Umjetno kontaminirani uzorci

Preliminarni pokusi radjeni su propuštanjem 400 ml deionizirane vode kroz sloj kationske smole (50 mg/cm^2), u koju je dodano 5 ml otopine F.P. I pH 5 brzinom protoka 10 ml/min. Brzina brojenja sloja smole iz više pokusa bila je svega oko 150 imp/min, dok je direktno isparene ista količina radionuklidiske smjese pokazivala aktivnost od oko 2600 imp/min. Efikasnost retencije mjerena je usporedbom brzine brojenja filtrata i nefiltriranog uzorka, obradjenih metodom uparavanja (5), a iznosila je manje od 10%. Dodavanjem 50 mg $\text{Ca}(\text{Ac})_2$ u deioniziranu vodu opažen je nagao porast brzine brojenja smole. Zbog toga se pristupilo sistematskom ispitivanju utjecaja dodatka kalcijevog acetata na brzinu brojenja

sloja smole. Na slici 2. prikazani su rezultati tih ispitivanja.

Opaženo je da dodavanje citronske i oksalne kiseline također ima efekta na brzinu brojenja sloja smole, tako da su vršena ispitivanja i s raznim dodacima citronske kiseline.

Prema slici 3. vidi se da povećanje količine smole prati i povećanje brzine brojenja, ali samo do izvjesne maksimalne vrijednosti, kod količine smole od 400 mg, tj. 60 mg/cm^2 , nakon čega se opaža opadanje zbog samoapsorpcije zračenja u smoli.

Filtriranjem umjetno kontaminiranih uzoraka deionizirane vode kroz anionsku smolu dobivena su daleko veća iskoristenja. Na tablici 1. prikazani su rezultati brzine brojenja sloja ionske smole kroz koju je propuštena umjetno kontaminirana deionizirana voda s dodatkom i bez dodatka.

Na temelju rezultata ispitivanja na umjetno kontaminiranim sintetskim uzorcima moglo se pristupiti ispitivanju efikasnosti retencije radionuklida iz umjetno kontaminiranih uzoraka kišnice i riječne vode pri najoptimalnijim uvjetima. Uzorcima kišnice propuštenima kroz sloj kationske smole dodano je 100 mg Ca(Ac)_2 i 50 mg citronske kiseline, a uzorcima riječne vode samo 50 mg citronske kiseline na 400 ml uzorka. Uzorcima propuštenima kroz sloj anionske smole nije ništa dodano.

Analizirana su po četiri paralelna uzorka kišnice i riječne vode umjetno kontaminirane radionuklidskim smjesama F.P. I i F.P. II. Uzorci su propuštani paralelno dva po dva, pomoću dva uređaja za filtriranje. Rezultati efikasnosti retencije i relativne standardne devijacije mjerena četiri uzorka propušтana kroz sloj kationske odnosno anionske smole prikazani su na tablici 2.

Prirodno kontaminirani uzorci

Mjerena je ukupna beta radioaktivnost uzoraka kišnice, cistersnske i riječne vode prirodno kontaminiranih radioaktivnim padavinama. Uzimana su po četiri paralelna uzorka od jedne litre, iz homogene smjese navedenih voda, i propuštani brzinom $2-4 \text{ ml/min.}$ kroz sloj anionske smole. Uz to su uzeta četiri uzorka od jedne litre iste vode, i njima je mjerena ukupna beta-radioaktivnost metodom uparavanja (5). Uzorci smole brojeni su pomoću protočnog GM brojača niskog osnovnog brojanja.

Na tablici 3. prikazano je vrijeme filtriranja,

brojenja, brzina brojenja, kao i faktor odnosa beta radioaktivnosti izražene u $\mu\text{Ci/l}$, dobivene metodom uparavanja i brzine brojenja sloja smole kroz koju je propuštena jedna litra uzorka (F_u).

Osim ukupne relativne standardne greške S_r mjerjenja radioaktivnosti četiri paralelna uzorka, označena je i relativna standardna devijacija brojenja radioaktivnosti s_r .

ZAKLJUČAK

Metoda mjerjenja ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama koncentriranjem radionuklida na sloju ionoizmjene njivačke smole ima više dobrih osobina. Vrlo je jednostavna, i zahtijeva vrlo malo rada s uzorkom. Njezina veoma velika prednost s obzirom na metode uparavanja je mogućnost obrade i mjerjenja radioaktivnosti uzorka u istom danu. Kako jeisto vremeno i vrlo osjetljiva, nije potrebno prethodno uparavanje vode, i time se izbjegava gubitak eventualno prisutnih hlapivih radionuklida.

Medjutim, ta je metoda manje precizna od metode uparavanja, i loša joj je osobina nemogućnost direktnе kalibracije. Daljim istraživanjima vjerovatno će se i te loše strane moći ukloniti.

LITERATURA

1. Hinzpeter, A., *Angewandte Chemie*, 69 (1957) 487.
2. Hinzpeter, A., *Naturwissenschaften*, 44 (1957) 611.
3. Dunkel, D., *Atomkernenergie*, 5 (1960) 183.
4. Hunter, H.F., Ballou, N.E., *Nucleonics*, 9 (1951) 5.
5. Picer, M., Saopćenje na III simpoziju "Mjerjenje instrumen-tacije u zaštiti od jonizujućeg zračenja", Banja Luka 1967.
6. Draganić, I., Gal, O., Radotić, M., "Radiohemiski praktikum", Naučna knjiga, Beograd 1959.

Tablica 1

Radionuklidska smjesa	Dodatak	Količina smole	Brzina brojenja
F.P. I	Bez dodatka	532 mg	2437 imp/min
	300 mg Ca(Ac) ₂	547 "	1727 "
	300 mg Ca(Ac) ₂ + 50 mg citron-ske kiseline	533 "	543 "
F.P. II	Bez dodatka	547 mg	6281 imp/min
	300 mg Ca(Ac) ₂	526 "	4566 "
	300 mg Ca(Ac) ₂ + 50 mg citron-ske kiseline	543 "	1460 "

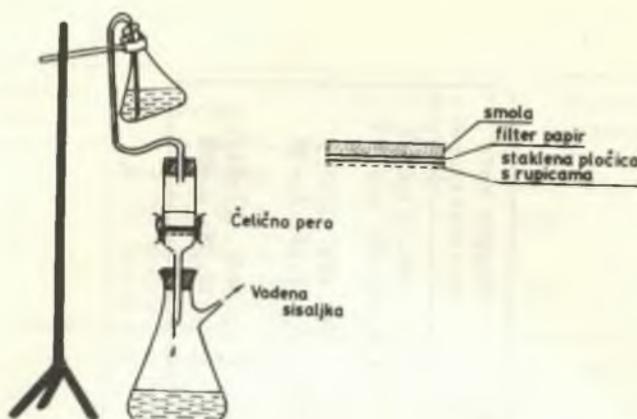
Tablica 2. Efikasnost i reproducibilnost retencije radio-nuklida na tankom sloju kationske i anionske smole nakon propuštanja umjetno kontaminiranih uzoraka kišnice i riječne vode sa dvije radionuklidske smjese

		Kišnica		Riječna voda	
		Efikasnost retencije (%)	Reproduc. retencije Sr (%)	Efikasnost retencije (%)	Reproduc. retencije Sr (%)
Kationska smola	F.P.I	53	6.1	69	10.2
	F.P.II	70	6.5	66	8.5
Anionska smola	F.P.I	99	2.6	96	6.1
	F.P.II	95	6.5	88	7.2

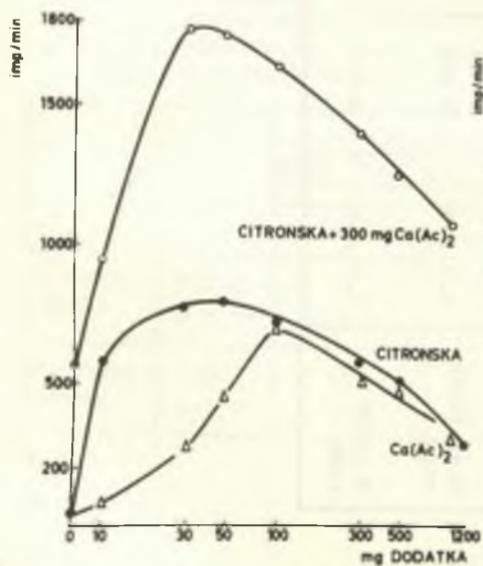
Tablica 3

Uzorak	Vrijeme filtriranja	Vrijeme brojenja smole
Kišnica	5-6 sati	2.5 sata
Cisternska voda	6-7 sati	1.5 sat
Riječna voda	8-9 sati	3 sata

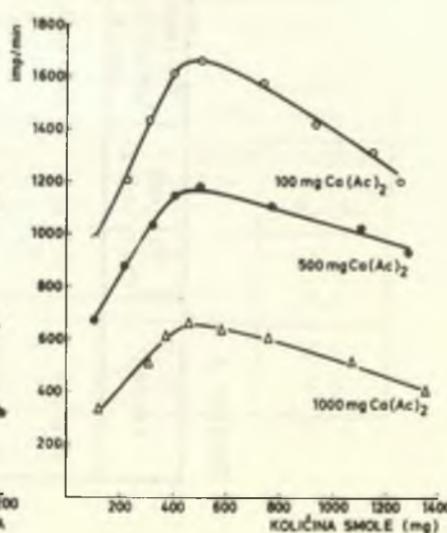
Brzina broj. imp/min/l	$F_{\frac{u}{t}}$	Ukupna beta radioaktivnost
2.32	3.31	$(7.70 \pm 0.76) \text{ pCi/l}$ $S_r = 10.3\%; s_r = 7\%$
8.09	2.40	$(19.4 \pm 4.5) \text{ pCi/l}$ $S_r = 23.4\%; s_r = 4\%$
1.68	2.34	$(3.94 \pm 1.32) \text{ pCi/l}$ $S_r = 33.5\%; s_r = 8\%$



Sl. 1.



Sl. 2.



Sl. 3.

MJERENJE UKUPNE BETA-RADIOAKTIVNOSTI U PRIRODNIM VODAMA
POJEDNOSTAVLJENOM METODOM UPARAVANJA

M.Picer

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

UVOD

U literaturi je opisano više metoda za određivanje ukupne beta-radioaktivnosti u vodi. Najčešće upotrebljavana metoda sastoji se od uparavanja većeg volumena vode do suha, te žarenja i brojenja ostatka (1, 2, 3). Opisane su i metode direktnog mjerjenja ukupne beta-radioaktivnosti uparene ili neuparene vode pomiješane s tekućim scintilatorom (4), ili mjerjenje sa specijalno konstruiranim uredajima za kontinuirano praćenje radioaktivnosti tekuće vode (5).

U većini naših centara za praćenje kontaminacije biosfere za određivanje ukupne beta-radioaktivnosti prirodnih voda upotrebljava se metoda uparavanja uzoraka i brojenje alikvotnog izarenog ostatka (6). Medjutim, neka usporedna mjerjenja beta-radioaktivnosti navedenom metodom pokazala su veoma velike varijacije rezultata zbog veoma male preciznosti metode.

Radi pronalaženja prikladnije metode, pristupilo se istraživanjima mogućnosti mjerjenja opće beta-radioaktivnosti suhog ostatka prirodnih voda, bez prethodnog žarenja i prenošenja izarenog ostatka. Na taj bi se način izbjegao gubitak radionuklida žarenjem i adsorpcijom na stijenkama lončića za žarenje, koji je naročito izražen kod obrade uzoraka kišnice s malim sadržajem krutog ostatka.

MATERIJAL I METODE

Radionuklidска smjesa

Dodavana radionuklidска smjesa sastojala se od ^{144}Ce (35,6%), ^{90}Sr (38,5%) i ^{137}Cs (25,6%). Sastav navedene smjese

odgovara prema Hunteru (7) smjesi fisionih produkata starih oko 4 godine.

Pripremanje uzorka

Istraživanja su vršena na čistim vodenim otopinama kalcijevog acetata, kišnici, cisterskoj i riječnoj vodi. Vodena otopina kalcijevog acetata služila je kao nadomještak prirodnih voda (3) u ispitivanjima efikasnosti prenošenja smjese radionuklida iz čaše za isparavanje u planšetu za brojanje. Uzorci čistih otopina $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ kontaminirani su neposredno prije analize dodavanjem radionuklidske smjese. Uzorci prirodnih voda umjetno kontaminirani priredjeni su tako da se u plastični kanister od 25 litara stavilo 20 litara kišnice, riječne ili cisterske vode i dodala odredjena količina radionuklidske smjese.

Prije svakog uzimanja uzorka radi homogeniziranja sadržaja kanister se dobro potresao. Nakon razradjene metode, na umjetno kontaminiranim uzorcima prirodnih voda analizirani su i uzorci vode kontaminirani radioaktivnim padavinama.

Priredjivanje uzorka za brojenje

U čašu od 600 ml stavi se 500 ml destilirane vode, 3 ml otopine kalijevog acetata 100 mg/ml i 5 ml otopine radio nuklidske smjese 0.49 nCi/ml, pH 5. Zatim se stavi 10 ml otopine pojedinog dodatka. Kod obrade umjetno kontaminiranih prirodnih voda dodaje se samo kalcijev acetat i pojedini dodatak.

Sadržaj u čaši upari se na plinskom kuhalu do malog volumena (10-15 ml) i uz pomoć staklenog štapića s gumičom ostatak se uz ispiranje sa 1% otopinom upotrijebljeno dodatka prenese kvantitativno u odvagnutu aluminijsku planšetu promjera 55 mm. Planšeta sa sadržajem stavi se pod infracrvenu svjetiljku i sadržaj ispari do suha. Suhi ostatak u planšeti poravna se pomoću metalnog dobro uglačanog tučka koji tačno pristaje u planšetu. Nakon sušenja oko 1 sat na 110°C planšeta se ohladi, važe i broji. Kod nekih pokusa brojenje uzorka izvodilo se zbog usporedbe prije i poslije poravnavanja s metalnim tučkom. U pokusima je obično obradjivano po 10 uzorka.

Brojenje uzorka

Brojenje umjetno kontaminiranih uzorka izvodilo se pomoću GM brojača s prozorom debljine 1.9 mg/cm^2 .

Prirodno kontaminirani uzorci brojeni su pomoću protičnog GM brojača s tankom folijom promjera 6 cm i visine 6 cm.

REZULTATI I DISKUSIJA

Utjecaj vrste dodataka na efikasnost prenošenja

Već je od prije poznato da se dodavanjem nekih organskih i anorganskih kiselina te raznih kompleksirajućih agensa (3, 8) pospješuje dekontaminacija staklenog posuđa kontaminiranog fisionim produktima. Zbog toga se pristupilo ispitivanju efikasnosti prenošenja uparenog ostatka iz čaše u planšetu za brojanje, uz dodavanje raznih organskih i anorganskih kiselina te nekih kompleksirajućih agensa. Obradjivano je po pet paralelnih uzoraka; dani rezultati su srednje vrijednosti mjerjenja pet uzoraka. Efikasnost prenošenja izračunata je na taj način da se usporede brzine brojenja isparenenog prenešenog i sušenog ostatka uzorka s brzinom brojenja samo isparene iste količine radionuklidske smjese na planšeti.

Na Tablici 1. u prvoj koloni prikazane su nadjene efikasnosti prenošenja radionuklida iz čaše u planšetu za brojenje s dodacima raznih organskih i anorganskih kiselina, te kompleksirajućih agensa.

Tablica 1. Utjecaj raznih kompleksirajućih i kiselinskih dodataka na efikasnost prenošenja, standardne relativne pogreške prenošenja i brzinu brojenja suhog ostatka

	Efikasnost prenošenja (%)	Standardna rel.greška prenošenja S_r (%)	Brzina broje nja ostatka (imp/min.)
HNO ₃	85	12.0	1250
HCl	90	9.4	1370
H ₂ SO ₄	94	3.9	1342
Octena kiselina	93	10.1	1571
Oksalna kiselina	94	5.1	1500
Askorbinska kiselina	86	10.8	1028
Salicilna kiselina	85	8.5	990
Sulfosalicilna kiselina	89	9.2	963
Citronska kiselina	95	2.1	1585
Vinska kiselina	95	7.3	1252
Kompleksion I	93	7.2	1354
Kompleksion II	95	9.2	1500
Kompleksion III	94	3.1	1571

Efikasnost prenošenja kreće se od 85% - određena kod dodavanja dušične kiseline, pa do 95% - dodavanjem citron-

ske kiseline i kompleksona II.

Medjutim, za odabiranje najpovoljnijeg dodatka nije važna samo vrijednost efikasnosti prenošenja, nego je važno i ponašanje uzorka za vrijeme isparavanja, oblik i količina ostatka nakon isparavanja i sušenja, te preciznost prenošenja, čime je definirana i sama preciznost metode.

Na Tablici 1. u drugoj kolini prikazane su standarde relativne greške (S_r) prenošenja radionuklida iz čaše u planšetu uz razne dodatke.

Što se preciznosti prenošenja tiče, vidi se da su najpovoljniji ostaci nakon dodavanja otopina sumporne, citronske i oksalne kiseline, te otopine kompleksona III.

Brojenjem uzoraka niske radioaktivnosti vrlo je važno da samoapsorpција zračenja u uzorku bude što manja, tako da je efikasnost brojenja što bolja. U trećoj kolini prikazane su brzine brojenja ostataka uzoraka obradjenih uz razne dodatke.

Mjerenje radioaktivnosti prirodnih voda kontaminiranih radioaktivnim padavinama

Iz rezultata istraživanja na umjetno kontaminiranim prirodnim vodama zaključeno je da se kod mjerenja radioaktivnosti prirodnih voda uzorcima voda daju slijedeći dodaci:

Na 1 litru kišnice 300 mg kalcijevog acetata i 10 ml 1 N vodene otopine citronske kiseline;

na 1 litru cisternske vode 200 mg kalcijevog acetata i 10 ml 1 N citronske kiseline, dok na 1 litru riječne vode samo 10 ml 1% vodene otopine kompleksona III.

Na Tablici 2. prikazani su rezultati mjerenja ukupne beta-radioaktivnosti prirodnih voda kontaminiranih radioaktivnim padavinama. Pokusi su radjeni sa 5 paralelnih uzoraka.

Tablica 2. Rezultati mjerenja ukupne beta-radioaktivnosti prirodnih voda

Uzorak	Spec.aktivnost	S_r	s_r
Kišnica	(18.9 ± 1.19) pCi/l	6.3%	5.6%
Cisternska voda	(44.6 ± 2.09) pCi/l	4.7%	3.6%
Riječna voda	(11.0 ± 0.79) pCi/l	7.2%	6.7%

Relativna standardna greška (S_r) je greška metode dobivena mjeranjem radioaktivnosti pet paralelnih uzoraka, dok je s_r relativna standardna devijacija brojenja radioaktivnosti.

ZAKLJUČAK

Obzirom na sam postupak obrade uzoraka, opisana metoda je jednostavnija i brža od do sada upotrebljavane metode uparavanja za određivanje ukupne beta-radioaktivnosti u prirodnim vodama. Preciznost metode je izvanredna, te su varijacije rezultata gotovo unutar grešaka brojenja radioaktivnosti. Jedina loša strana metode je u potrebi protočnog antikoincidentnog GM brojača relativno velike površine za brojenje slabo aktivnih prirodnih voda.

LITERATURA

1. Pazdernik, J., Isotopenpraxis, 1 (1965) 85.
2. Aurand, K., Atomkernenergie, 10 (1965) 304.
3. Haberer, K., Atomkernenergie, 8 (1963) 102.
4. Haberer, K., Köe, W., Atompraxis, 11 (1965) 1.
5. Qiurk, E.J.M., Health Physics, 12 (1966) 1333.
6. Popović, V., Analiza radioaktivnosti životne sredine. Elaborat za 1962. godinu, IMI-S-13.
7. Hunter, H.F., Ballou, N.E. Nucleonics, 9 (1951) 5.
8. Huft, M.C., A.E.C. U.S. Report IDO 14379.

PLAN MREŽE MERNIH STANICA ZA KONTROLU RADIOAKTIVNOSTI
ATMOSFERE I PADAVINA NA TERITORIJI SR SRBIJE

B. Anić

Republički hidrometeorološki zavod, Beograd

U eri sve veće primene nuklearnih sirovina, bilo za mirnodopske ili ratne potrebe, stoji opravdana činjenica da je neophodna permanentna kontrola radioaktivnosti atmosferskog vazduha i radioaktivnosti atmosferskih padavina, izluženih kišom, snegom, gradom i sugradicom ili suvim taloženjem na zemljinu površinu. Takođe stoji opravdana činjenica da kontrola ovih elemenata, tj. prikupljanje gradje i praćenje pojava, pripada hidrometeorološkoj delatnosti, kao nauci koja se bavi fizičkim i hemijskim svojstvima atmosfere uopšte. Ovakve zadatke, uostalom, imaju sve hidrometeorološke službe sveta, a posebno je i Generalna skupština Ujedinjenih nacija, još 1961. godine, usvojila rezoluciju i pozvala svetsku meteorološku organizaciju da proširi svoj postojeći sistem transmisije meteoroloških izveštaja i izveštajem o radioaktivnosti atmosfere.

Ekonomičnost predloga ogleda se u tome što hidrometeorološka služba ima jedinstven sistem tročasovnog javljanja svih meteoroloških pojava sabirnom centru, a uz ove ne predstavlja problem uključivanja i podataka o veličini radioaktivnosti atmosferskog vazduha. Jedino na taj način moguće je dati prognozu kretanja kontaminacija radioaktivnim materijala, budući da se istovremeno dobijaju podaci prizemnog vетра, padavina i svih ostalih meteoroloških informacija. I sama merenja vrednosti dnevne radioaktivnosti vazduha sa registrirnim instrumentima, merenja prosečne mesečne radioaktivnosti padavina poslužila bi za izradu prostorne raspodele prirodne radioaktivnosti atmosferskog vazduha u raznim mesecima. Time bi se ukazale i oblasti stagnacionih polja povećane radioaktivnosti atmosfere iznad lokalnih područja, kao i oblasti koje zadržavaju radioaktivnost usled probnih (namernih) nuklearnih eksplozija ili havarija (slučajnih) nuklearnih postrojenja.

Isti kartografski prikazi potpuniye bi koristili zdravstvenoj i biološkoj službi u cilju preventivnih mera i

kontrolu radioaktivnosti voda za piće, mleka, hrane, kostiju i biljaka.

Sa ekonomsko-privredne tačke gledišta od velikog je značaja praćenje zagadenosti radioaktivnosti vazduha, vode i tla žitorodnih područja za slučaj elementarnih nepogoda - poplava, jer protoci glavnih reka - Dunava i Tise idu kroz našu teritoriju, a njihove vode mogu biti zagadjene i van naših granica.

Ostaje, znači, da se pozabavimo pitanjem - gde postaviti merne stanice sa kojih bi se dobio materijal za najcelis- hodniju analizu i praćenje poremećaja i prolaza radioaktivnih oblaka kroz našu Republiku?

Ako se zadržimo na tome da mnogi radovi ukazuju na izvesnu vezu izmedju sinoptičkih situacija i ekstremnih vrednosti radioaktivnosti vazduha, iznad regionalnog područja (Petrović, 1966), osetnog porasta radioaktivnosti vazduha u centralnoj Evropi (Tomašenko, 1966) i severozapadu Jugoslavije novembra 1962. godine (Čupić i Anić, 1963) i uopšte uticaj meteoroloških uslova (Rajferšajd, 1963), moramo se zapitati koji stvarni faktori utiču na prolaz i zastoj povećanog aktiviteta radioaktivnosti atmosferskog vazduha?

Na prvom mestu to su brzina i pravac vetra, vlažnost i temperaturni gradijent (Jammert, 1962). U osnovi proučavanje zagadenosti atmosfere, izazvane eksplozijama nuklearne oružja, ili havarijama objekata koje koriste nuklearne sirovine, svodi se na neophodno i detaljno poznavanje klimatskih uslova globalnog karaktera. Poznato je da se rasprostiranje radioaktivnih produkata u gornjim slojevima stratosfere vrši na osnovu zakona difuzije, dok njihov prelaz iz stratosfere u niže slojeve atmosfere do danas nije još potpuno razjašnjen (Jammert, 1962) mada ima indicija da se to čini kroz tropopauzu.

Dakle, ne upuštajući se u taj mehanizam može se posmatrati dinamički proces dospelih radioaktivnih materija u atmosferu putem tri osnovna tipa.

1. Iznenadnim taloženjem radioaktivnih produkata, kao proizvod trenutnog porasta "mladih" i "starih" aerosola.

2. Hiperboličkim režimom taloženja slabo disperzionih radioaktivnih aerosola, od momenta obrazovanja pa do šest meseči postojanja, i

3. Jednorodnim režimom taloženja samih slabo disperzionih frakcija po porastu više od jedne godine.

Iznenadna taloženja radioaktivnosti na zemljinu površinu dolaze sa atmosferskim padavinama, a i nezavisno od njih u

vidu intenzivnog ali kratkotrajnog suvog taloženja suspendovanih čestica u vazduhu.

Nakon nekoliko meseci od pojave u atmosferi uspostavlja se jednorodan raspored radioaktivnih produkata, koji se podvrgava hiperboličkoj zavisnosti intenziteta radioaktivnih padavina i količine meteoroloških padavina. Posle postupnog očišćenja nižih slojeva atmosfere intenzitet radioaktivnih padavina se umanjuje.

Iz ovako definisanih pojava očigledno je da nastala razna istraživanja među kojima i Stierstadta (1959) i Baggea (1956) o zavisnosti pravca vetra i radioaktivnosti vazduha, ali se pokazalo da ona ima samo mesni značaj. Morgenstern i Rentschler (1959), kao i Becker (1963) su se zanimali izučavanjem uzajamnih veza između određenog tipa vazdušne mase, prolaska fronta i prirodne radioaktivnosti vazduha, mada nisu mogli potvrditi tu vezu statističkim podacima. Na osnovu rezultata merenja, sprovedenih na odabranim meteorološkim stanicama Savezne Republike Nemačke koje vrše kontrolu radioaktivnosti atmosfere, Hinzpeter (1966) je došao do zaključka da se radioaktivnost prenosi kišom na zemlju, odnosno, da se u atmosferi dobrim delom prenosi sa oblacima.

Pored oprečnih mišljenja mnogih autora o značaju atmosferskih padavina (kapljica kiše ili kristala leda i snega) i uopšte meteoroloških situacija na rasprširanje beta aktivnosti u prizemnom vazduhu izgleda da ostaje očigledna činjenica da postoji funkcija između ovih elemenata među sobom.

Iz tog razloga mi smo se poslužili skicom opštenih prizemnih strujnica kretanja vazduha nad našom teritorijom na osnovu srednjeg vektorskog smera vetra, kako bi pokazali tipična i izrazita mesta najpogodnija za kontrolu radioaktivnosti atmosferskog vazduha (sl.1).

Severnu oblast naše Republike pretežno zahvataju dva osnovna smera, deleći je na dva dela preovladajućih vetrova - NW i SE. Tako u Bačkoj duvaju najčešće NW vetrovi sa tendencijom skretanja na W, dok u Banatu i gornjem Pomoravlju preovlađuje SE vетар. Po našem mišljenju potrebne i dovoljne, a pri tome i reprezentativne stanice su Palić, kraj Subotice, i Beograd.

Zapadna Srbija se odlikuje raznolikošću reljefa, pa se isti odražava i na smerove vetra. Posavina sa Podrinjem ima pretežno zapadno strujanje ka skretanju na severno. Nasuprot njima, Starovlaški kraj je izložen zapadnom strujanju ka skretanju na južno. Zato smo za karakterističnu tačku izabrali Loznicu, za prvo područje, a Užičku Požegu za drugo, tim pre

što se u toj tački sučeljava južni i severni smer vетra. Dalje na jug, po Pešterskoj visoravni imamo razdvajanje jugozapadnog vетra u dva smera - SW i NW, tako da Sjenica leži u predelu o-
vih dva strujanja, uz direktnu komponentu severnog vетra.

Što se tiče Istočne Srbije, Negotinske Krajine, jasno je uočljiv NW smer vетra, te je otud i Negotin uzet za mernu stanicu. N, NE i E smer vетra karakterističan je za područje Južne Srbije, pa smo za reprezentaciju celog ovog lokaliteta odabrali stanicu Niš.

Na Kosovu i Metohiji imamo pretežno dva smera - SW i NE, koji obe skreću u severni vетar. Graniča dodira te dva smera proteže se neposredno preko Prištine, te smatramo da je ta stаница dovoljna da prikaže stanje i razvoj aktiviteta radioaktivnosti atmosferskog vazduha po čitavoј oblasti.

Ostaje da se još prokomentariše Centralna Srbija. Ona i po svom orografskom položaju, kao činiocu prizemnog strujanja vazduha, pokazuje šarenolikost vazdušnih strujnica, tako da imamo splet više smerova. Počev od NE, E, SE do SW, W i NW. U ovakvoј slici, izrazito lokalnog karaktera, nemoguće je postaviti mernu stanicu koja bi dala odraz stvarne raspodele aktiviteta radioaktivnosti vazduha po teritoriji cele Republike jer bi se ista raznim smerovima, tu i tamo prenosila u već pogmenta područja.

U pogledu rasporeda mreže mernih stanic za kontrolu radioaktivnosti atmosferskih padavina i suvog taloženja radioaktivnih ćestica na zemljinu površinu, koristili smo, što nam se čini normalno, a posebno i činjenicom da je vrlo visoka radioaktivnost u obilnijim atmosferskim padavinama manja (Grebin i Lambert, 1964/), prostornu raspodelu godišnjih količina padavina nad teritorijom naše Republike.

Budući da se ekstremno niske vrednosti padavina javljaju pretežno u ravničarskim predelima i dolinama, smatramo da treba gornju mrežu dopuniti sa stanicama Sombor i Novi Sad za područje AP Vojvodine, Čuprija za Veliko-Moravsku oblast i Vranje za Južno-Moravsku dolinu.

Pored ovih osnovnih smernica rukovodili smo se izborom stanic i sa stanovišta mogućnosti neprekidnog osmatranja i dostavljanja informativnih izveštaja sabirnom centru.

LITERATURA

BAGGE, E., 1956: Atomkernenergie, Heft 11/12;

- BECKER, F., 1963: Častota pojavlenija častic v 1957-1958 g i jej zavisimost ot tipa vozdušnih mas. Radioaktivnij častici v atmosfere. Moskva, Gosatomizdat, 29-35 str.;
- ĆUPIĆ, T. i ANIĆ, B., 1963: Zapaženo povećanje radioaktivnosti atmosfere u vazdušnoj struji košavskog pravca. Saopšteno na I jugoslovenskom simpozijumu o radiološkoj zaštiti, Porto-rož, oktobar 1963. (neobjavljen);
- GREBINE, T. i LAMBERT, G., 1964: Dinamika perenosa radioaktivnih aerozolej ned Francijej. Atmosfernije aerozoli i radioaktivnoe zagrjazenje vozduha, Leningrad, Gidrometeoizdat, 141-150 str.;
- HINZPETER, M., 1963: Elementi atmosferskih osadkov kak nositevi informaciji o radioaktivnih časticah v atmosfere. Radioaktivnij častici v atmosfere. Moskva, Gosatomizdat, 116-128;
- JAMMET, H., 1962: Zagrjazenje atmosferi radioaktivnim veščestvami. Zagrjazenje atmosfernogo vozduha. Ženeva, Vsemirnaja organizacija zdravoohranenija, 420-458 str.;
- MORGENSTERN, W. i RENTSCHLER, W., 1959: Naturwissenschaften, 46, 472 str.;
- PETROVIĆ, P., 1966: Darlegung der Beziehung zwischen Sinoptischen Situation und Extremen der Atmosphärischen Radioaktivität. Radioaktivita atmosfery. Praha, Sbornik prac hidrometeorologickeho ustavu československe soc.Republiky, Svazek 6, 68-72 str.;
- REIFFERSCHEID, H., 1963: Problema rasprostranjenija radioaktivnih primesej v atmosfere. Radioaktivnij častici v atmosfere. Moskva, Gosatomizdat, 104-115 str.;
- STIERSTADT, K., 1959; Atomkernenergie. Heft 4, 147 str.;
- TOMAŠENKO, P., 1966: Meteorologičeskij uslovija v Centralnoj Jevrope vo vremja rosta radioaktivnosti vozduha v najabre 1962. Radioaktivita atmosfery. Praha, Sbornik prac hidrometeorologickeho ustavu československe soc.Republiky, Svazek 6, 73-85 str.



METODIKA KONTROLE RADIOAKTIVNOSTI
OKOLINE INSTITUTA "BORIS KIDRIČ"

R.Radosavljević, T.Tasovac i D.Patić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

O metodologiji kontrole radioaktivnosti okoline nuklearnih postrojenja postoji sada znatan broj objavljenih rada (1-50). Zaključke svih ovih razmatranja moguće je rezimirati sledećim: kontrolu okoline nuklearnih postrojenja treba vršiti pre početka rada postrojenja, u toku rada i u akcidentalnim uslovima; osnova za planiranje, organizovanje i izvođenje kontrole treba da budu zahtevi koji proističu iz normi o maksimalno dozvoljenim dozama ozračivanja profesionalno izloženih lica i šireg stanovništva; utvrđivanje kritičnih radionuklida, kritičnih puteva izlaganja i kritičnih populacionih grupa i definisanje bitnih parametara kontrole nameću potrebu ispitivanja i poznavanja specifičnosti sredine u koju dospevaju radionuklidi iz datog postrojenja; razlike između metoda kontrole radioaktivnosti okoline u normalnim i akcidentalnim uslovima potiču, te ih pri organizovanju kontrole i postavljanju metoda tako treba i posmatrati, prvenstveno zbog potreba za vršenjem merenja pri višim nivoima zračenja u toku akcidenata i potreba za brzom evaluacijom rezultata merenja.

U dokumentu ICRP-a /55/ posebno se ističe i važnost procene aktuelnih i potencijalnih doza ozračivanja u periodu pre početka rada instalacije. Uzima se da prisustvo kritičnih radionuklida u kritičnim populacijama neće prouzrokovati istu izloženost pojedinog člana populacije izvan instalacije. Zbog toga kontrola u periodu pre puštanja u rad instalacije treba da omogući izdvajanje jedne ili više grupe ljudi čija naseljenost i druge karakteristike ih u pogledu potencijalnih i stvarnih izlaganja stavlju u specifičan položaj u odnosu na druge u populaciji. Ove specifičnosti u osnovi proizilaze iz razlika u lokaciji u odnosu na nuklearno postrojenje (npr. grupe ljudi u neposrednoj blizini postrojenja ili znatno udaljene); razlika u sastavu populacije (muškarci, žene, porodilje, deca), razlika u načinu ishrane (korišćenje

preradjene hrane ili prvenstveno proizvedene na određenim lokacijama) i sl.

Radi prikupljanja takvih informacija nužno je razmatrati:

- lokaciju i starosnu distribuciju izložene populacije
- sastav ishrane i količinu konzumirane hrane
- sastav domaćinstava i profesionalnu opredeljenost
- način rekreacije i tipove prebivališta u kojima ljudi žive i rade i sl.

Za definisanje grupa stanovništva koje u pogledu potencijalnih i stvarnih izlaganja opasnostima se nalaze u specifičnom položaju u odnosu na druge u populaciji neophodno je prema tome prikupljanje izvanredno velikog broja podataka da bi procene bile što realnije.

KONTROLA RADIOAKTIVNOSTI OKOLINE

INSTITUTA "BORIS KIDRIČ"

Kontrola okoline Instituta u početku nije u potpunosti imala tok dat u prethodnom izlaganju. Razlog za ovo bili su nedostatak osnovnih kriterijuma i standarda za sprovodjenje mera zaštite od jonizujućih zračenja postavljenih na nacionalnom planu. Osim toga to je bio rad bez tradicije, a i bez tuđih dokumenata iz tog područja, pošto je u to vreme veći deo tih dokumenata bio klasifikovan i nedostupan.

Prihvatanjem ICRP preporuka o dozvoljenim dozama ozračivanja kako za profesionalno izložena lica tako i za specijalne grupe i šire stanovništvo, prihvaćeni su samo neki uslovi koje je trebalo ispuniti da bi se realizovala zaštita. Stvarni problemi od čijeg rešenja je zavisilo adekvatno planiranje obima i organizacije kontrole okoline počinjali su od toga: kako biti siguran da tolerantne granice MDD i MDK nisu premašane, kako izvršiti merenja i odrediti koncentraciju nepoznatih radionuklida u vazduhu, vodi, rastinju, hrani i drugim materijalima sa potrebnom tačnošću; kako na bazi tih rezultata izvršiti evaluaciju kontaminacije i drugi problemi.

U početku rešavanju ovog problema prišlo se sa pozicijom realizacije minimalnog programa kontrole zasnovanom na istovremenom praćenju kretanja prirodne totalne beta radioaktivnosti, radioaktivnosti radioaktivnih padavina i na dobrom

evidentiranju radioaktivnih izvora na teritoriji IBK /58/.

U prvoj fazi, tj. u periodu kada su reaktor A i reaktor B i druge laboratorije bili u izgradnji, kontrola je imala lokalni karakter i bila ograničena na najuže područje IBK. Puštanjem postrojenja i laboratorijskih radova područje kontrole je proširivano. Teritorija koja se permanentno kontroliše prostire se danas u prečniku do 100 km. Pojedine kontrolne tačke van teritorije IBK izabrane su tako da svojim geografskim položajem i u pogledu meteoroloških zahteva omogućavaju lako praćenje promena stanja aktivnosti u bližoj i daljoj okolini Instituta. Adekvatna kontrola vazduha, naročito prostora u kojima se radi sa radioaktivnim izvorima i evidentiranje ostalih izvora u okolini, u mnogome olakšavaju praćenje promena osnovne radioaktivnosti sa mestom i vremenom.

Studije sigurnosnih uslova rada nuklearnih mašina i procena akcidentalnih uslova širenja kontaminacije radjene za najkarakterističnije tipove vremena našeg mikroklimata omogućile su postavljanje reprezentativnih punktova za kontrolu u najbližoj okolini.

Merenje totalne alfa i gama radioaktivnosti, i po potrebi izolovanje i identifikovanje pojedinačnih kritičnih radionuklida fizičkim, hemijskim, radiohemimskim i drugim metodama, kombinovano sa merenjem totalne beta radioaktivnosti (koja se inače primarno kontroliše kod nas), i statističkom obradom rezultata istovremenih osmatranja i konfrontiranjem sa meteorološkim parametrima, omogućavaju identifikaciju i evaluaciju kritičnih puteva transfera radionuklida u životnoj sredini.

Konfrontiranjem aktivnosti slučajnih uzoraka raznih poljoprivrednih prehranbenih artikala sa beogradskim pijace sa uzorcima iste vrste koji se proizvode na teritoriji IBK, postiže se visok stepen sigurnosti u proceni eventualne kontaminacije potrošača.

Arhiviranje gotovo svih uzoraka koji se kontrolišu od višestrukog je značaja. Na bazi takvih uzoraka npr. lako je u slučaju arbitraža rekonstruisati stanje koje je sporno, a naročito u pogledu onih efekata čije se dejstvo ne ispoljava trenutno.

Osnovu za evaluaciju nivoa kontaminacije okoline čine merenja totalne beta radioaktivnosti i izračunate vrednosti beta radioaktivnosti na bazi udela koje doprinosi K^{40} iz prirodnog kalijuma, a koji se hemijskim putem određuju u raznim uzorcima.

ZAKLJUČAK

Kontrola okoline IBK zasnovana je na minimalnim zahtevima. Adekvatno postavljena mreža stanica i plan kontrole omogućavaju da se merenjem samo beta radioaktivnosti vrlo brzo i prosti procene nivoi kontaminacije i potencijalne opasnosti po okolinu. Ovakva kontrola relativno je jevtina, što između ostalog odgovara savremenim zahtevima. U identifikovanju kritičnih radionuklida, kritičnih puteva izlaganja i proceni posredne opasnosti u normalnom radu i u uslovima ekcidentata, evidentiranje izvora zračenja igra značajnu ulogu.

METODE MERENJA RADIOAKTIVNOSTI ŽIVOTNE SREDINE
U INSTITUTU ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"

R.Radosavljević, T.Tasovac, D.Patić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Merenja radioaktivnosti u kontroli okoline nuklearnih postrojenja moraju da ispune više zahteva. Nivoi kontaminacije koje treba meriti kreću se od vrlo niskih do vrlo visokih, zavisno od toga da li je u pitanju kontaminacija kao posledica normalnih uslova rada ili kao posledica akcidenata. Osim merenja nivoa kontaminacije, ona treba da obezbede i identifikovanje emitera, jer se samo na toj osnovi mogu dati kvantitativne procene o stepenu izloženosti ljudi i ugroženoosti okoline.

Materijal koji se kontroliše je raznovrstan i javlja se u sva tri agregatna stanja. Brzo, prosto i tačno merenje takvih uzoraka još jedan je uslov dobre kontrole.

Kompleks merenja je složen i sačinjen od nekoliko bitnih integralnih elemenata: uzimanje uzoraka, pripremanja uzoraka za merenje, postupaka merenja i evaluacije merenja. Izmedju svih elemenata postoji duboka unutrašnja povezanost i odražava se u celini na krajnji ishod, odnosno tačnost merenja. O problemima i greškama koje svaki od elemenata može ponosob da unese kod pojedine vrste merenja pisano je dosta. Cilj našeg rada je da prikaže stečena iskustva u merenjima raznih uzoraka u kontroli okoline IBK pod normalnim uslovima rada i pri akcidentima.

METODE MERENJA AEROSOLA I GASOVA

Aerosoli se mere kontinualno i diskontinualno. Kontinualna kontrola aerosola vrši se na 4 mesta u bližoj i daljnjoj okolini Instituta. Za merenje se koristi aparatura za kontinualnu kontrolu FH 59 A. U toku su ispitivanja aparature ACA koja je konstruisana u IBK. Kod aparature FH 59 A svaki deo pokretne滤tarske trake naprašuje se 228 min, a zatim se dva

puta meri. Prvo merenje je 78 min po završenom naprašivanju, a drugo sa kašnjenjem od 60 časova. Merenje beta aktivnosti nataloženih aerosola na filtru vrši se pomoću dva identična plastična scintilaciona detektora.

Na bazi drugog merenja izražava se koncentracija dugoživećih aerosola, a na osnovu obe koncentracije, radon u vazduhu (pretpostavlja se da se svi produkti raspada radona do RaD nalaze u radioaktivnoj ravnoteži sa radonom).

Naprašene trake iz kontinualne kontrole aerosola obično se obraduju za merenja na gama spektrometru i za analizu na Sr⁹⁰ i druge emitere. U slučaju akcidenata uzorci za analizu se sakupljaju diskontinualno, koristeći za to potpuno autonomne jedinice "ejektore" ili obične usisivače za prašinu i pumpe velikog kapaciteta sa vlaknastim filtrima ili filtrima impregniranim aktivnim ugljem. Ovi poslednji pored aerosolnog zadržavaju i gasoviti radioaktivni jod. Svi uzorci mogu biti analizirani na ukupnu alfa radioaktivnost. Totalna alfa radioaktivnost meri se protočnim 2 π metanskim proporcionalnim brojačem i scintilacionom tehnikom.

METODE MERENJA PADAVINA I SUVOG DEPOZITA

Padavine se kontrolišu svakodnevno, mesečno i na uzorcima koji su pripremljeni tako da predstavljaju godišnju akumuliranu radioaktivnost radioaktivnih padavina deponovanu u tlu. Svakodnevni uzorci sakupljeni na ekspozicionim tacnama veličine 1/6 m², na polietilenским folijama, prevučenim slojem glicerina, služe neposrednom otkrivanju kontaminacije okoline reaktorskog postrojenja; mesečni uzorci sakupljeni metodom "KRAPAL" služe za otkrivanje kontaminacije šireg područja IBK.

Svakodnevni uzorci se najpre mere na totalnu gama radioaktivnost na kristalu 3x3" NaJ(Tl), pa ukoliko je aktivnost visoka utvrđuje se njeno poreklo obično gama spektrometrijskom analizom višekanalnim analizatorom. Uobičajeni postupak merenja je totalna beta radioaktivnost. Kod mesečnih uzorka je isti postupak kao prethodni. Na godišnjem uzorku padavina najpre se svakog meseца meri totalna beta akumulirana aktivnost. Na kraju godine pored ove meri se totalna gama aktivnost i rade gama spektrometrijske analize, analize kritičnih radionuklida (Sr⁹⁰, Cs¹³⁷) i dr.

U akcidentalnim slučajevima mere se uzorci "lepljivih traka". Lepljive trake se postavljaju u razne položaje vertikalno ili horizontalno i na raznim nivoima, imajući pri to-

ne definisane površine. Nakon ekspozicije u kratkom vremenu trake dolaze bez obrade na analizu. Obično se meri totalna gama aktivnost u kristalu NaJ(Tl) $3 \times 3"$ sa rupom oko 25 cm^3 koristeći pri tome skoro 4π geometriju merenja. Na ovim uzorcima se rade i gama spektrometrijske analize. Kada su u pitanju finije analize i analize ~~za~~ kristal NaJ nije u stanju da razloži bliske energije gama zračenja, koriste se poluprovodnički detektori.

Od fizičkih metoda za identifikovanje radionuklida koriste se metode radioaktivnog raspada, merenje apsorberima i dr. Kod padavina, osim u izuzetnim slučajevima, ne meri se alfa radioaktivnost.

METODE MERENJA VODA, NISKOAKTIVNIH EFLUENATA I REČNOG MULJA

Pored površinskih i podzemnih voda kontrolišu se i radioaktivni efluenti niskih nivoa aktivnosti. Postupci za merenje su direktni i zasnovani na merenju redukovanih uzoraka uparavanjem i filtriranjem. Filtriranjem i centrifugiranjem uzoraka omogućeno je izdavanje lebdećeg suspendovanog nanosa. Izdvajanje suspendovanog nanosa vrši se radi ispitivanja distribucije radioaktivnosti između čvrste i tečne faze. U slučajevima direktnih merenja suspendovane čestice treba ukloniti i meriti posebno, jer njihovim taloženjem dolazi do promena geometrijskih uslova merenja, što ima za posledicu unošenje velikih grešaka pri merenjima. Greške zbog toga mogu biti reda veličine 200–300%. Na uzorcima efluenata iz metalurške laboratorije koji se kontrolisano upuštaju posle prečiščavanja meri se i alfa radioaktivnost. Sanitarne vode na izlivu u Dunav analiziraju se na kritične radionuklide, obično gama emiteri. Na takvim uzorcima se meri i totalna beta radioaktivnost. U svim uzorcima vode hemijskim putem se određuje sadržaj K. Preračunavanjem na aktivnost kalijuma, dopunjaje se procena o kontaminaciji voda. Od voda van granica Instituta meri se voda reke Bolečice i voda Save kod Beograda. Mulj Dunava na mestu ispuštanja sanitarno kanalizacije i mulj iz reke Bolečice paralelno se kontrolišu, jer su potencijalno veliki rezervoari za akumuliranje radionuklida i zato mogu biti dobri indikatori kontaminacije koju je nekad veoma teško otkriti zbog velikih razblaženja radionuklida u vodi. U mulju se ne vrši selekcionisanje bio naselja, već se aktivnost meri integralno.

U cilju identifikovanja porekla voda predviđaju se i merenja tricijuma u vodama. Za ovo se koristi tečni beta

scintilacioni spektrometar sa mogućnošću istovremenog analiziranja tri beta emitera različitih energija.

METODE MERENJA RASTINJA, POLJOPRIVREDNIH PREHRAMBENIH I DRUGIH PROIZVODA I ZEMLJE

Najtipičniji predstavnici rastinja, maslačak, detelina i trava mere se zavisno od njihove kontaminacije direktno ili obradjeni spaljivanjem na 550°C. Svi uzorci koji odlaze na merenje totalne beta radioaktivnosti prethodno se Peru u običnoj ili destilovanoj vodi. Pri merenjima rastinja uočena su vrlo velika odstupanja izmerenih rezultata, verovatno usled neravnomerne površinske kontaminacije. Zbog ovih i drugih problema pitanju merenja rastinja posvećuje se posebna pažnja i od slučaja do slučaja, zavisno od željene tačnosti, uzorci se mere direktno, obradjuju za merenje, Peru i dr.

Na svim uzorcima rastinja i stočne hrane određuje se kalijum hemijskim putem. Merenjem totalne beta radioaktivnosti uzorka na brojaču i izračunavanjem na bazi hemijske analize K dobija se brza i pouzdana osnova o nivou kontaminacije.

Prehrambeni proizvodi kontrolišu se paralelno na slučajnim uzorcima sa beogradskih pijaca i na uzorcima sa teritorije IBK. U evaluaciji nivoa kontaminacije rastinja takođe se služimo metodom konfrontiranja merenja. Uporedjuju se uzorci sa udaljenosti od 100 km u prečniku. Zemlja se takođe kontroliše na uzorcima iz bliže i dalje okoline, direktno ili na pripremljenim uzorcima zavisno od nivoa kontaminacije.

Za akcidentalne uslove kontrole koriste se instrumenti i metodi koje nisu vezane za laboratorijske uslove rada. Svi instrumenti imaju autonomno napajanje - prenosni su.

ZAKLJUČAK

Metode merenja radioaktivnosti životne sredine u IBK su relativno prosti i obezbeđuju brzu, pouzdanu i jevtinu kontrolu. Većina instrumenata za rutinska merenja osim dobrih karakteristika u pogledu opsega i mobilnosti, sopstvene je proizvodnje, što u mnogome uprošćava održavanje.

OBREDJIVANJE ^{137}Cs U UZORCIMA TLA GAMA SPEKTROMETRIJOM

A.Bauman

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

UVOD

U osnovne indikatore kontaminacije nastale kao posljedica nuklearnih eksplozija spada i tlo, pa se stoga već godinama vrši sistematska kontrola tla. Literaturni podaci o distribuciji fisionih produkata u tlu odnose se većim dijelom na ^{90}Sr , a ^{137}Cs se računa prema nekom proizvoljnom odnosu $\text{Cs/Sr} = 0,93 - 3,05 /1.$ Omjer se računa zbog poteškoća kod odredjivanja ^{137}Cs bilo kemijskim putem bilo gama-spektrometrijom.

Aktivnost koja potječe od fisionih produkata nalazi se u površinskih 30 cm od tla, a od toga 80% čak u prvih 5 cm. Zbog toga se uzima taj sloj za analizu. Odredjivanje ^{137}Cs u tlu veoma otežava činjenica da su prirodni radioaktivni elementi prisutni u tlu, dobrim djelom gama emiteri. Glavnu smetnju za direktno odredjivanje ^{137}Cs iz same fotolinije predstavljaju RaC (^{214}Bi) i ThC"(^{208}Tl) s fotolinijom na 0,607 MeV-a i 0,582 MeV-a. Zbog toga dolazi do spajanja fotolinija i pomicanja fotovrhova cezija s 0,661 MeV-a na 0,640 MeV-a. Slijedeća poteškoća je ta, da se ^{137}Cs nalazi u tlu u količini od 300-2000 pCi/kg. Zbog toga imademo mjerenja niskih aktivnosti u prisustvu znatnih količina kontaminate, što zahtjeva veliku stabilnost mjernog instrumenta, te pravilnu interpretaciju dobivenih spektara.

NETODA

a) Priprema uzorka: Metoda je prvo ispitana na sintetskoj smjesi. Za sintetsku smjesu je uzet natrijev klorid, sa specifičnom težinom nešto višom od prosječne specifične težine tla. Sušen je do konstantne težine na 105°C .

Uzorci tla su mehanički obradjeni i to tako, da je

odvojeno kamenje /1.2/ i trave. Sušenje se do konstantne težine, melju i siju na sito od 2 mm. Odvaga pojedinog uzorka iznosi 500-600 g obzirom na njegovu specifičnu težinu. Uzorak se mjeri u staklenoj posudi promjera 11 cm s niskim sadržajem kalija. Debljina sloja uzorka iznosi 6 cm, i kod tla i kod smjese natrijeva klorida.

Za mjerjenja je upotrebljavan kristal NaJ(Tl) 4"x4" i 256 kanalni analizator.

b) Mjerna metoda: Temelji se na "stripping"-u spektrata tj. postepenom odbijanju pojedinih aktivnih komponenata od ukupnog spektra, dok ne ostane samo spektar aktivnosti koju želimo odrediti, u našem slučaju ^{137}Cs .

NaCl. Uzorcima od 250 i 500 g NaCl p.a. izmjjeri se spektar da se ustanovi da li sadrže neku aktivnost. Zatim se NaCl izmješa sa smjesom poznate količine obilježivača ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K i ^{137}Cs i sada izmjjeri spektar smješte. (Količina dodane aktivnosti kod preliminarnih pokusa izračunata je iz podataka dobivenih radikemijskim odvajanjem ^{137}Cs iz nekih tipskih tla /5/. Spektar jedne sintetske smjese (ovdje bez ^{228}Ra) prikazan je na slici 1., a, kao primjer dan je i spektar najvažnijih faza kemijskog izdvajanja ^{137}Cs na slici 2. Nakon što se izmjjeri spektar, prebaciti se na komplement, izvadi smjesa iz brojača i odbije osnovno brojanje. Od čistog spektra uzorka, koji stalno ostaje na komplementu, odbijaju se dalje pojedinačni spektri (vidi niže u tekstu).

Oblik spektra uzorka ovisi o radioizotopnom sastavu, težini uzorka i parametrima scintilatora (efikasnost, rezolucija itd). Za pokuse su uzeti uzorci tla od aprila 1966. Fisiona aktivnost u njima je starija od 2 godine, tako da je izbjegnuto komplikiranje spektra cirkonijem i nio-bijem. Ostala je samo prirodna aktivnost i dugoživući fisioni produkti. Osnovna pretpostavka kod mjerjenja bila je ta, da se radi o sekularnoj ravnoteži između potomaka urana i torija /3, 4/. Odbijanje spektara vrši se na slijedeći način: Prvo se izmjjeri spektar uzorka na području od 0 - 5,0 MeV-a da se ustanovi koliko se $\text{ThC}'(^{228}\text{Ti})$ nalazi u uzorku. Iz fotolinije na 2.62 MeV-a izračuna se ta količina. Nakon toga se izmjjeri spektar u dijapozonu od 0 - 2,56 MeV-a prebaciti na komplement, uzorak se izvadi iz brojača, odbije od spektra osnovne brojanje. Zatim se u brojač stavi prije izračunata količina obilježivača ^{228}Ra i odbija od spektra na komplementu, fotolinija na 2.62 MeV-a. Kad je to završeno, spektar sadrži fotoliniju na 1.76 MeV-a ^{214}Bi , iz koje se izračuna količina ^{226}Ra potrebna za odbijanje spektra. Nakon

što je ta količina odbijena u brojaču od preostalog spektra, ista operacija se ponovi s fotolinijom ^{40}K na 1,46 MeV-a dok u spektru ne preostane samo fotolinija ^{137}Cs . Tok rada se vidi iz spektra na slici 3.

Mjerenje pojedinog uzorka od prvog spektra do završetka "stripping"-a iznosi u prosjeku od 14 - 20 h ovisno o aktivnosti uzorka. Ako se uzme u obzir da kod kemijske analize samo jedna ekstrakcija traje 24 h, a ponavlja se 3 puta, očite su prednosti gama-spektrometrijske metode.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Potpuno podudaranje spektara u uzorku tla za vrijeme pojedinačnog odbijanja s pojedinim obilježivačima (^{226}Ra , ^{228}Ra i ^{40}K), ne garantira točnost odredjivanja, jer ne postoji jedinstvena kombinacija intenziteta izmedju nekoliko ispitivanih komponenata. Takvo podudaranje spektara izmedju uzorka i obilježivača može samo značiti, da nije napravljena niti jedna gruba greška kod bilo koje od komponenata. Isto tako pokazuje da nije izostavljena neka komponenta značajne aktivnosti.

Razlike u iskorištenju metode u korist gama-spektrometrije može se objasniti prisustvom ukupnog ^{137}Cs , koji se nalazi u uzorku. Kod kemijske separacije ^{137}Cs nastaju gubici zbog mnogostepene obrade veoma velikog uzorka (500 g) i zbog ireverzibilnog fiksiranja znatnih količina ^{137}Cs u silikatnu strukturu tla.

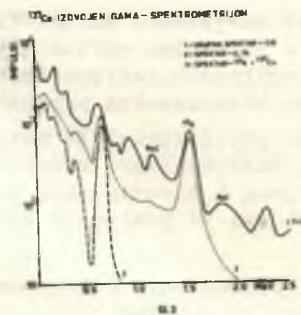
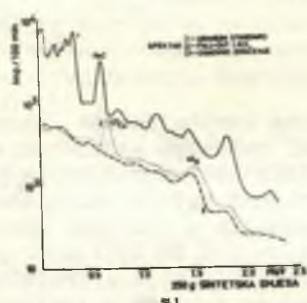
Metoda "stripping"-a spektara kod analize tla, može se široko primjeniti za odredjivanje stupnja kontaminacije cezijem ili bilo kojim drugim fisionim produkтом. Metoda je nekoliko puta brža od kemijske separacije, a omogućuje kvantitativnije odredjivanje fisionih produkata u tlu.

Tačnost gama-spektrometrijske metode iznosi za ^{137}Cs 12-15%.

LITERATURA

1. Fedorov G.A., Konstantinov I.E.: Voprosi dozimetriji i zaščiti izlučenija. Gosatomizdat, Moskva (1963).
2. Gaglione P., Malvicini D., Vido L.: Determinazione del Sr-90 e del Cs-137 nel suolo e nei vegetali. Minerva nucl. 4, No.6 (1960), 156-161.

3. Adams J.A.S., Lowder W.M.: The natural radiation environment. Univ. of Chic.Press (1964).
4. Radioaktivnost počv i metodi ee opredelenija. Izdat.Nauka, Moskva (1966).
5. Bauman A.: Separation of ^{137}Cs in soil. I Congress IRPA, Rome, Sept.1966, Pergamon Press, London 1967.



ODREĐIVANJE PRIRODNIH RADIONUKLIDA U HRANI

Lj.Moračić, R.G.Radovanović, M.Vukotić

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

U V O D

Da bi se evaluirala interna kontaminacija široke populacije prirodnim radionuklidima, nužno je proučavanje njihove koncentracije u hrani. Velikim brojem radova je potvrđeno da je u predelima radioaktivnih rudnih nalazišta sadržaj pojedinih radioaktivnih elemenata u biljkama znatno povećan. Ova činjenica ustanovljena je i u SR Srbiji u pogledu koncentracije Ra-226 (1.2). Koncentracija prirodnih radionuklida u biljkama zavisi od sastava i porekla zemljišta, tipa prirodnih voda, vrste biljaka, klime, reljefa itd. Neki tipovi biljaka imaju osobinu da "sakupljaju" pojedine radioaktivne izotope (biljke-koncentratori). Ova pojava je naročito vidljiva za koncentracije K-40 i Ra-226.

Po podacima sovjetskih autora (Alekseev, Ermakov, Filonov, 1958) (3), u oblastima naftotonosnih polja dolazi do specifične dinamike prirodnih radionuklida u zemljištu. Zbog toga ove oblasti mogu biti poseban predmet ispitivanja.

U ovom radu prezentiraju se metode za određivanje koncentracija urana, radijuma-226, olova-210 i kalijuma-40 u ljudskoj hrani biljnog i životinjskog porekla, kao i rezultati tih merenja dobijeni za poslednje tri godine.

SAKUPLJANJE UZORAKA

Prilikom sakupljanja uzoraka polazilo se od konцепциje da je teritorija SR Srbije podjeljena na tri radijacione zone (zona povećane koncentracije prirodnih radionuklida u zemljištu, zona naftotonosnih polja i tzv. prosečna zona). Na ovaj način smo da utvrdimo u kojoj meri postoje diferencije interne kontaminacije ljudskog organizma prirodnim radio-

nuklidima preko hrane u odnosu na geografske lokacije.

PRIPREMA UZORAKA

Uzorci hrane sušeni su do konstantne težine. Suvo spaljivanje uzorka vršeno je na standardan način. Dalja obrada dobijenog pepela specifično je vršena za određivanje pojedinih radionuklida.

Uran. Separacija urana od jona koji smetaju vršena je hromatografskom ekstrakcijom (4) na papiru iz azotnokiselog rastvora. Smeša za ekstrakciju sastoji se iz tributilfosfata + vajtspirit. Ekstrakcija je vršena na Whatman papiru N° 1.

Radijum-226. Pepeo dobijen suvim spaljivanjem tretiljan je azotnom kiselinom, tako da je uzorak preveden u rastvor.

Olovo-210. Po dovodjenju pepela u oblik rastvora, odvaja se druga analitička grupa taloženjem sa vodoniksulfidom. Neaktivni bizmut nitrat i olovonitrat služe kao nosači za Bi²¹⁰ i Pb²¹⁰. U daljem radu bizmut je kompletno odvajan od olova duplom precipitacijom i rekristalizacijom sa metafosfornom kiselinom. Rastvor koji sadrži celokupno olovo sa povučenim Pb-210 stokiran je 35 dana, posle čega je istim postupkom odvajan bizmut sa Bi-210. Na ovaj način odvojen je Bi-210 koji potiče od Pb-210 sa kojim se nalazi u radioaktivnoj ravnoteži.

Kalijum-40. Dobijenim pepelom napunjene je kontejner istih dimenzija kao i kod standarda. Uzorak je stokiran do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže izmedju radijuma-226 koji je prisutan u uzorku i produkata raspada radona.

MERENJE UZORAKA

Svi standardi koji su korišćeni za kalibraciju aparatura verificirani su po standardima IAEA.

Uran. Odredjivanje koncentracije urana vršeno je fluorimetrijskom metodom. Merenja su obavljanja fluorimetrom tipa "Caratom". Granica osetljivosti ove aparature je 10^{-9} gr. Greška merenja nije veća od $\pm 15\%$.

Radijum-226. Merenje koncentracije Ra-226 vršeno je emanometrijskom metodom (5). Aktivnost izdvojenog radona iz

rastvora merena je na alfascintilacionom brojaču, gde je scintilator ZnS.

Olovo-210. Izdvojeni uzorak Bi-210 meren je u roku od 10 dana - dva vremena poluraspada ovog izotopa. Merenja su vršena na beta antikoincidentnom GM brojaču tipa "Philips". Vreme merenja uzorka tako je određeno da greške ne prelaze vrednost od $\pm 20\%$ sa sigurnošću od 95%.

Kalijum-40. Ovaj radioaktivni izotop određivan je gamaспектrometrijskom metodom, preko pika energije od 1,46 MeV. Gamaспектrometrijska aparatura sastojala se od stokanalnog analizatora tipa SA-40 firme "Intertechnique" i kristala NaJ(Tl) prečnika 4,3 i visine 5,1 cm. Neto broj impulsa u piku K-40 korigovan je za doprinos koji potiče od potomaka raspada radijuma 226. Greška merenja nije veća od $\pm 20\%$ za verovatnoću 95%.

REZULTATI MERENJA

U periodu od 1965. godine izvršeno je merenje koncentracije prirodnih radionuklida (U, Ra-226, Pb-210 i K-40) u 140 uzoraka hrane. Prosečne vrednosti rezultata tih merenja za pojedine vrste hrane iz različitih oblasti date su u tabelama 1, 2. i 3. U tabeli 4. date su uporedne vrednosti koncentracija U, Ra-226 i Pb-210 u pasulju i kukuruzu za tri navedene zone. Dobijeni rezultati iniciraju da postoji izvesna razlika u koncentraciji ovih radionuklida. Međutim, statistička značajnost razlika teško je ocenjiva zbog relativno malog broja izvršenih merenja.

Tabela 1. Rezultati merenja koncentracije prirodnih radionuklida u hrani iz zone sa povećanom radioaktivnošću (prosečne vrednosti)

Naziv uzorka	U pCi/kg	Ra-226 pCi/kg	Pb-210 pCi/kg
Pšenica	0,756	2,680	3,310
Krompir	1,524	1,000	3,290
Pasulj	6,030	5,920	12,620
Kukuruz	3,138	2,400	8,760
Luk	2,861	5,340	14,830
Spanać	0,140	3,910	6,390
Svinjsko meso	0,063	1,000	1,460

Tabela 2. Rezultati merenja koncentracije prirodnih radio-nuklida u zoni naftotonosnih polja (prosečne vrednosti)

Naziv uzorka	U pCi/kg	Ra-226 pCi/kg	Pb-210 pCi/kg
Pasulj	0,280	1,690	6,680
Kukuruz	0,250	1,810	1,710

Tabela 3. Rezultati merenja koncentracije Ra-226 i K-40 u hrani iz prosečne zone (prosečne vrednosti)

Naziv uzorka	Ra-226 pCi/kg	K-40 pCi/kg
Pšenica	2,150	3192
Krompir	0,921	2528
Pasulj	1,353	10400
Kukuruz	1,091	N.M.
Luk	0,414	1552
Spanać	1,140	1648
Svinjsko meso	0,493	2648

Tabela 4.

pCi/kg

Naziv uzorka	Prosečna zona			Zona naftotonosnih polja			Zona sa povećanom radioaktivnošću		
	U	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	U	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	U	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰
Pasulj	N.M.	1,35	N.M.	0,28	1,69	6,68	6,03	5,92	12,62
Kukuruz	N.M.	1,09	N.M.	0,25	1,81	1,71	3,14	2,40	8,76

Iz tabela 1, 2. i 3. vidi se da je za navedene radio-nuklide pasulj najbolji koncentrator.

Što se tiče koncentracije K-40 nije ustanovljena statistički značajna razlika izmedju uzoraka hrane sa ispitivanih teritorija.

ZAKLJUČAK

Primenjene metode za određivanje koncentracije prirodnih radionuklida u hrani na zadovoljavajući način omogućavaju proučavanje doprinosa faktora hrane u internoj kontaminaciji ljudskog organizma.

Dobijeni rezultati merenja pokazuju da se navedenim metodama mogu vršiti merenja koncentracije prirodnih radionuklida u uzorcima hrane, bez obzira na njihovo mesto porekla.

Utvrđivanje statističke značajnosti razlika koncentracije prirodnih radionuklida u istim uzorcima hrane sa različitim terena, a time i proučavanje stepena interne kontaminacije ljudi sa tih terena, ostaje problem za dalje proučavanje.

LITERATURA

1. M.Medjedović i saradn.: Studija o radioaktivnoj kontaminaciji životne sredine - okoline rudnika urana. Elaborat 03-907/19 IMR Beograd (1965).
2. R.Radovanović: Radium-226 dans le Sol et la Flore. Compte rendu commun du Colloque France-Yougoslave sur la radio-protection, Herceg-Novi (1966).
3. Pr.T.F.Novikov, Ju.A.Kapkov: Radioaktivnie metodi razvedki. Nedra (1965).
4. Grupe d'auteurs: Methodes d'analyse. CETAMA (1962).
5. J.Pradel, E.Hufrmana-Beneix. Bull. d'Inform. Scient. et Techn. Tr.N° 2, p.12 (GEN.5) (1956).

ODREDJIVANJE TRGOVA TORIJA I URANA U BIOLOŠKOM
MATERIJALU METODOM NEUTRONSKE AKTIVACIONE ANALIZE

M.Picer i P.Strohal

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, i
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

UVOD

Posljednjih dvadesetak godina bilježi se stalni porast upotrebe torija i urana, tako da usporedo s time raste i važnost njihovog odredjivanja u širokom rasponu koncentracija u različitim materijalima (1-3). Kao posljedica sve veće upotrebe, raste i mogućnost kontaminacije ljudskog organizma s torijem i uranom, te je zbog toga veoma važna kontrola nivoa kontaminacije ljudi eksponiranih navedenim radiotoksičnim elementima.

U posljednje je vrijeme naročito porastao interes za pronaalaženje pogodne analitičke metode za odredjivanje trgovca torija (4) u kompleksnom biološkom materijalu, jer do sada još nije objavljena zadovoljavajuća metoda koja bi bila relativno jednostavna, brza i dovoljno osjetljiva.

Posljednjih desetak godina opaža se znatan napredak u rješavanju problema uspješnog odredjivanja tragova elemenata u biološkom materijalu metodom aktivacione analize (5). Naime, primjenom spomenute metode gotovo se može isključiti svaka kontaminacija uzoraka koja bi utjecala na tačnost analize. Te su nas činjenice ponukale da pokušamo razraditi postupak za odredjivanje tragova torija i urana u raznim biološkim materijalima metodom neutronske aktivacione analize.

EKSPERIMENTALNI RAD

Odredjivanje torija i urana neutronskom aktivacionom analizom može se izvršiti na dva različita načina: mjenjem (n , gama) produkata ili radioaktivnih produkata fisije.

Kako u neutronskom snopu reaktora osim termalnih uvijek ima i brzih neutrona, to je moguća fisijska Th-232 i U-238 brzim neutronima.

Suprotno od fisione reakcije, (n, γ) reakcije nemaju interferirajućih nuklearnih reakcija, jer nastali Np-239 i Pa-233 mogu isključivo potjecati od U-238 i Th-232 .

Priredjivanje standarda

Standardne otopine priredjene su iz torijevog i uranijevog nitrata p.a. čistoće. Načinjene su otopine navedenih soli i razredjivane do koncentracije oko 10^{-5} mg/ml torija odnosno urana. Standardi su bili priredjivani na isti način kao i uzorci. U kvarcne ampule dodavana je izvjesna količina silika praha u količini koja je bila približno jednaka mineraliziranom uzorku, a zatim se mikro-pipetom dodala određena količina standardne otopine.

Priredjivanje uzorka i ozračivanje

Svi biološki uzorci (osim kosti) mokro su mineralizirani u Kjejdahlovim tikvicama uz pomoć koncentrirane dušične kiseline koja se dodavala u više obroka, do pojave bijelog mineraliziranog ostatka dobro topivog u blagoj dušično kiseloj otopini.

Uzorci vode i kiseline isparivani su do suha pomoću IR lampa. Uzorci kosti spaljivani su u mufolnoj peći na temperaturi od 850°C .

Uzorci ispareni do suhog ostatka sušeni su na 110°C i zatim prebačeni u kvarcne ampule. Nakon zataljivanja, kvarcne ampule uzorka su iskuhanе u zlatotopci.

Ozračivanje uzorka vršilo se u RA reaktoru u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči u neutronskom fluksu od $10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sek}$. Vrijeme ozračivanja variralo je od nekoliko sati do 3 tjedna.

Kemijska obrada ozračenih uzorka

Svi uzorci i standardi ostavljeni su 2-3 dana stajati, tako da se Th-232 i U-238 potpuno raspadnu u protektinij i neptunij i da opadne aktivnost uzorka, koja je bila reda veličine 100 mCi.

Separacija Pa-233 iz ozračenog biološkog i nebiološkog materijala

Postoji čitav niz publikacija u kojima se opisuje

separacija Pa-233 iz čistog ozračenog torija i iz smjese s o-stalim elementima (6, 7). U našim istraživanjima najprije se pokušalo Pa-233 separirati koprecipitacijom na talogu MnO₂. Međutim, talog MnO₂ je koprecipitirao i druge aktivne komponente. I nakon daljeg čišćenja propuštanjem otopljenog MnO₂ u solnoj kiselini kroz kolonu sa silikagelom i eluiranja s otopinom oksalne kiseline dobio se radiookemijski čisti Pa-233 ali s malim iskorištenjem i velikim varijacijama.

Postupak separacije Pa-233 iz ozračenog materijala, koji se pokazao dovoljno preciznim i s relativno dobrim isko-rištenjem, prikazan je shematski na tablici 1.

Separeacija Np-239 iz ozračenog biološkog i nebiološkog materijala

U literaturi je opisano više postupaka separacije Np-239 kako iz čistog ozračenog urana (8), tako i iz komplek-snog geološkog materijala (9).

U našim preliminarnim pokusima Np-239 je separiran iz ozračenog biološkog materijala malo modificiranom metodom po Magnusonu (8). Tim postupkom dobivao se radiookemijski čist Np-239, ali je postojala velika varijabilnost rezultata, neg-dje i do 100%.

Postupak separacije Np-239 iz ozračenog biološkog materijala, koji se pokazao dovoljno preciznim (standardna re-lativna greška 6 paralelnih mjerena bila je manja od 5%) i s prilično visokim iskorištenjem (preko 70%), relativno je jedno-stavan i brz. Tim postupkom treba za separiranje 4 uzorka i standarda 7-8 sati. Postupak je prikazan shematski na tabli-ci 2.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobiveni analizom bioloških i nebioloških materijala prirodno kontaminiranih torijem i uranom prikazani su na tablici 3.

Tačnost metode provjeravana je dodavanjem poznatih količina torija i urana u analizirane uzorke. U prilog tačno-sti metode ide i činjenica da se u slučaju urana navedeni rezultati u dobroj mjeri slažu s rezultatima objavljenim u lite-raturi, koji su dobiveni fluorometrijskom ili nekom drugom me-todom.

Preciznost metode odredjena je na relativno malom

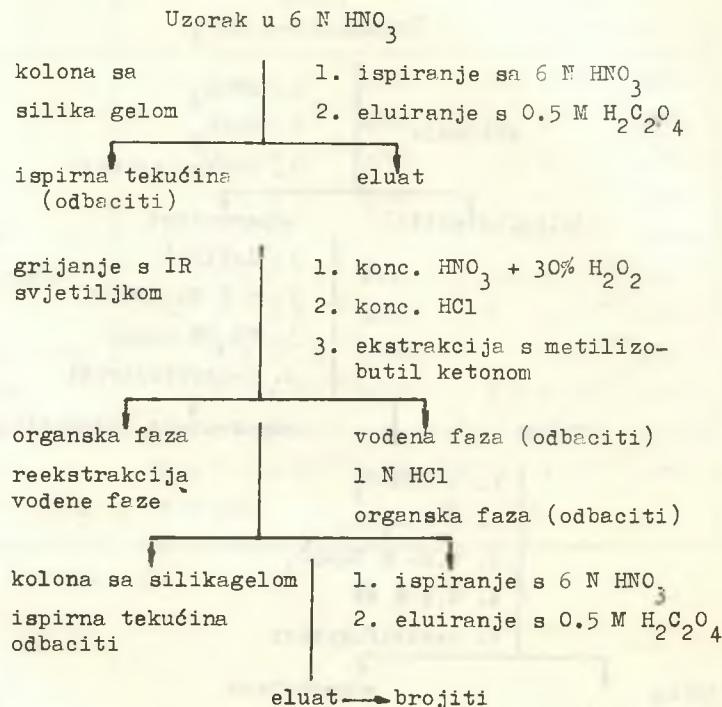
broju uzoraka urina, a izražena u relativnoj standardnoj gresici iznosi za torij 22% a za urin 17%. Spomenuta preciznost za male kolicine (reda velicine 10^{-9} g) relativno je dobra.

Osjetljivost metode naročito dolazi do izražaja pri određivanju torija. Prema objavljenim podacima, izvjesnim analitičkim metodama mogao se torij odrediti u urinu u koncentraciji 10^{-7} g na litru. I to je bilo moguće samo uz prethodnu koncentraciju torija iz najmanje jedne litre urina. Metodom aktivacione analize - koja je razradjena u ovom radu - moguće je određivanje torija od 10^{-10} g. Osjetljivost metode pri određivanju urana takodje je velika. Tako je uz upotrebu snopa termalnih neutrona od 10^{13} n/cm²/sek. osjetljivost istog reda veličine kao i fluorometrijska metoda.

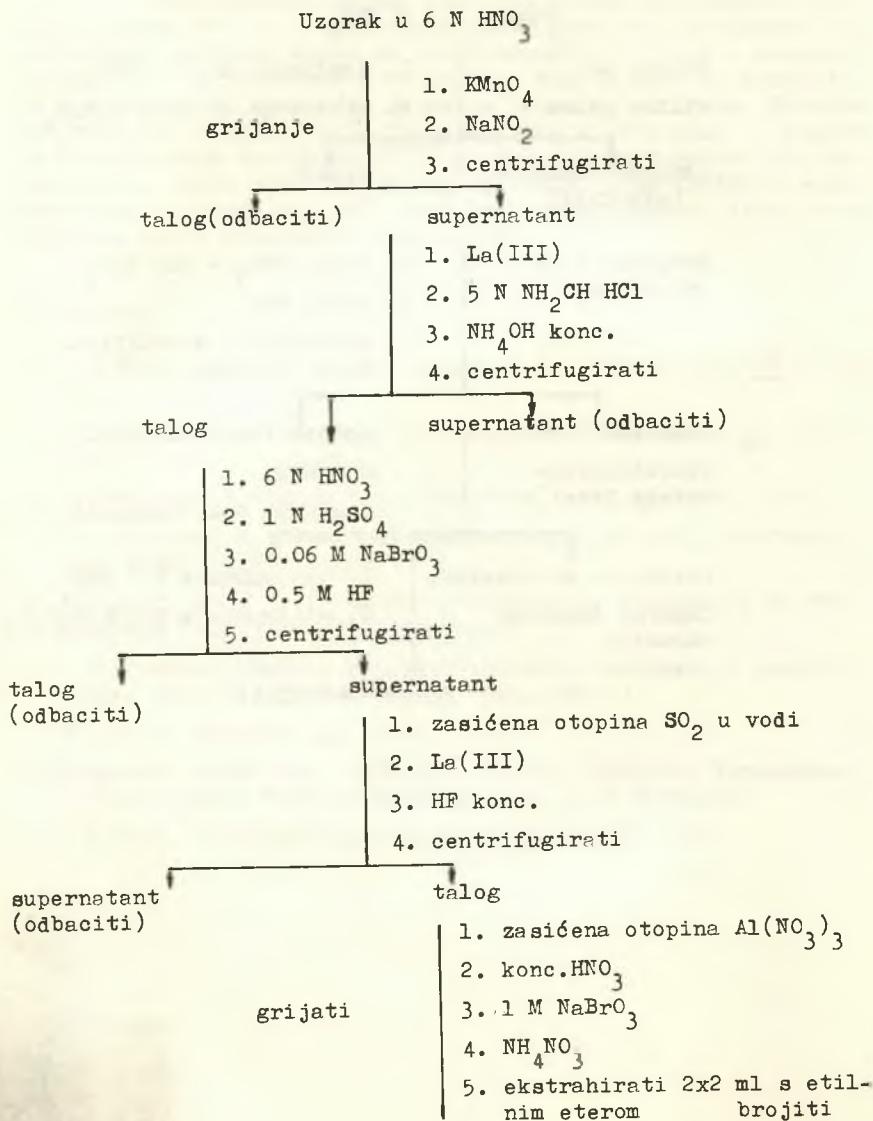
LITERATURA

1. A.A.Smales, D.Mapper, A.P.Seyfang, Anal.Chim.Acta, 25 (1961) 587.
2. L.A.Haskin, H.W.Fearing, F.S.Rowland, Anal.Chem., 33 (1961) 1298.
3. J.W.Morgan, J.F.Lovering, Anal.Chim.Acta, 28 (1963) 405.
4. D.I.Ryabchikov, "Analiticheskaya khimia toria", Akademija nauk USSR, Moskva 1962.
5. W.S.Lyon, Jr., ed., "Guide to Activation Analysis", D. van Nostrand Co., Inc., New York 1964.
6. A.V.Davgov, "Metody koncentrirovaniya veschestv v analitičeskoj khimii", Nauka, Moskva 1965, str.64.
7. S.L.Lyle, Talanta, 12 (1965) 573.
8. Magnuson, USAEC Rep. AECO-3084 (1951), Chemical Procedures in Bombardment Work at Berkeley, ed. by W.W.Meinke.
9. G.W.Reed, Geochim.Cosmochim.Acta, 13 (1958) 248.

Tablica 1. Separacija Pa-233 iz ozračenog biološkog materijala



Tablica 2. Separacija Np-239 iz ozračenog biološkog materijala



Tablica 3.

Uzorak	Torijska koncentracija	Uranova koncentracija
Urin	$5.6 \times 10^{-11} \text{ g/ml}$	$2.4 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Urin	$7.4 \times 10^{-11} \text{ g/ml}$	$2.7 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Urin	$10.0 \times 10^{-11} \text{ g/ml}$	$3.4 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Urin	$6.6 \times 10^{-11} \text{ g/ml}$	$3.7 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Fekalije	-	$6.0 \times 10^{-6} \text{ g/dan}$
Koštani pepeo	$2.3 \times 10^{-8} \text{ g/g}$	$4.1 \times 10^{-10} \text{ g/g}$
Krv	$5 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$	$5 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Vodovodna voda	$2.4 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$	$5 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$
Konc. HNO_3	$1.7 \times 10^{-13} \text{ g/ml}$	$2.5 \times 10^{-12} \text{ g/ml}$
Urin	$M = 7.4 \times 10^{-11} \text{ g/ml}$ % ≈ 22%	$M = 3.1 \times 10^{-10} \text{ g/ml}$ % = 17%

PONAŠANJE NEKIH RADIOKONTAMINANATA
PRILIKOM ŽARENJA BIOLOŠKOG MATERIJALA

P.Strohal, S.Lulić i O.Jelisavčić

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Poznata je činjenica /1/ da neki elementi mogu biti djelomično ili potpuno izgubljeni prilikom termičke dekompozicije biološkog materijala. U nekoliko radova /1-6/ opisana je uloga pojedinih faktora, kao npr. medij, temperatura spaljivanja, sastav posudja u kojem se vrši spaljivanje itd. prilikom procesa termalne dekompozicije. Međutim, potrebno je naglasiti da i neki drugi faktori trebaju najozbiljnije biti uzeti u obzir. Posebno želimo istaći ulogu fizikalno-kemijskih svojstava komponente u kojoj je odredjeni radionuklid kemijski vezan. Upravo zbog toga mogu se očekivati razlike u gubicima prilikom ovog procesa u slučaju istog radionuklida, koji je jednom vezan u anorganski spoj, a drugi puta u lako hlapivi kelat. Zbog toga su naša istraživanja bila usmjereni na nemineralne dijelove organizama. Da bi se u potpunosti reproducirali prirodni uvjeti, tj. da radionuklid bude vezan u biološkom materijalu u istu komponentu, to se kontaminacija biste treba provesti in vivo.

EKSPEIMENTALNI DIO

Svi eksperimenti bili su provedeni dodavanjem izvjesne količine odabranog radionuklida u bazen koji je sadržavao oko 30 litara morske vode i oko tridesetak živih organizama. Zbog visokog biološkog faktora koncentracije za većinu ispitivanih radionuklida u našem radu upotrijebili smo školjke (*mytilus galloprovincialis*). Proces kontaminacije organizama trajao je od jedan do sedam dana. U svakom pojedinom eksperimentu bio je primjenjen samo jedan od slijedećih radionuklida: mangan-54, kobalt 56, 57, 58, cink-65, rutenij-106, cer-144 i protaktinij-233. Svi korišteni radionuklidi bili su u radioaktivskom obliku bez nosača.

Kontaminirani organizmi bili su izvadjeni iz bazena,

isprani s morskom vodom da se odstrane adsorbirani radionuklid i tada je meki dio bio separiran od ljušaka. Tako prireden meki dio bio je smješten u porcelanske lončice, vagan, sušen na 110°C i zatim oprezno žaren na jednu od slijedećih temperatura: 250°C, 300°C, 450°C, 600°C ili 800°C u trajanju od nekoliko sati da se dobije konstantna aktivnost u uzorku. Nakon toga žareni uzorci bili su hladjeni, a zatim je mjerjenje radioaktivnosti bilo provedeno u svakom uzorku gama spektrometrijskom metodom. U tu svrhu bio je korišten spektrometar koji se sastojao od NaI(Tl) scintilacionog kristala veličine 3 x 3 inča i 256-kanalnog analizatora. Površine ispod karakterističnih fotovrhova bile su računate i njihov odnos prema površinama dobivenim za isti radionuklid kod sobne temperature bio je izračunat za svaki pojedini slučaj. Korekcije za promjenu geometrije prilikom žarenja te za razlike u težinama za pojedine uzorke bile su učinjene u svakom pojedinom slučaju.

Poseban tip eksperimenta činili su eksperimenti destilacije iz vodene kupelji. Da bi se potvrdili rezultati gubitaka žarenjem kod 110°C mi smo izvršili destilaciju kontaminiranih uzoraka kod temperature od 100°C. U ovim eksperimentima bila je mjerena radioaktivnost u destilatu.

REZULTATI I DISKUSIJA

Dobiveni rezultati prikazani su tabelarno u Tabeli 1. Oni ukazuju da i kod relativno niskih temperatura izvjesne količine elemenata u tragovima mogu biti izgubljene prilikom termalne dekompozicije bioloških materijala.

Tabela 1. Količine radionuklida prilikom termalne dekompozicije (količina kod 200°C pretpostavljena je 100%)

Radionuklid	Temperatura °C					
	110	250	350	450	600	800
Mn-54	86	85	77	85	77	78
Co-56, 57, 58	86	84	79	74	75	78
Zn-65	91	88	76	67	75	56
Ru-106	89	79	69	70	73	30
Ce-144	99.5	82	75	84	87	77
Pa-233	89.9	89.9	79.5	81	79	76

Zbog toga, a uzimajući u obzir rezultate drugih autora /1-6/, možemo reći da gubitak izvjesnih elemenata tokom ovih procesa ovisi pretežno o fizikalno-kemijskim svojstvima komponente u kojoj je takav elemenat kemijski vezan. Budući da neki elemenat može biti vezan na razne načine u nekom biološkom materijalu ovisno o organu u kojem se nalazi i o fiziološkim svojstvima, nije moguće dati neke generalne zaključke o ponašanju pojedinih elemenata prilikom procesa termalne dekompozicije bioloških materijala. Što više, može se очekivati i različito ponašanje prilikom termičke obrade istih organa kod raznih bioloških vrsta.

Iz svega izloženog može se izvući zaključak da se ovakovi eksperimenti ne mogu provoditi dodavanjem radionuklida u obliku bez nosača nekoj frakciji biološkog materijala (*in vitro*), jer će i efekat biti posve drugačiji. U tom bi naime slučaju dodani radionuklid ostao u onoj formi u kojoj je bio dodan, a to praktički znači u anorganskoj formi.

Na osnovu iznesenog smatramo, da se prilikom pripremanja bioloških uzoraka za analize niskih aktivnosti treba posebna pažnja posvetiti načinu pripremanja uzoraka. Možda bi u tom smislu bio pogodniji postupak mineralizacije biološkog materijala mokrim putem.

LITERATURA

1. E.I.Hamilton, M.J.Minski and J.J.Clearly, *Analyst* 92 (1967) 257.
2. T.T.Gorsuch, *Analyst* 84 (1959) 135
3. H.G.Petrov and A.Cover, *Analyt.Chem.* 37 (1965) 1659.
4. R.Holtzman, *Hlth Phys.* 11 (1965) 477.
5. J.Hursh, *Science* 132 (1960) 1666.
6. V.Hasson and R.D.Chery, *Nature* 210 (1966) 591.

PRIMJENA AKTIVACIONE ANALIZE KOD ODREĐIVANJA
KONCENTRACIONIH FAKTORA RADIOKONTAMINANATA
U BIOLOŠKIM SISTEMIMA

P.Strohal, S.Lulić i M.J.Herak

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Osnovni problemi koji se pojavljuju u vezi radiokontaminacije mora najuže su povezani s procesima distribucije i izmjene radionuklida između organizama i okoline. Odnosi između kemijske koncentracije nekog elementa u organizmu i radiokontaminacije dotičnog organizma radionuklidom istog elementa bili su mnogo istraživani a u sumarnom pregledu prikazani od Polikarpova (1). Koncentracija radionuklida u nekom organizmu najčešće se izražava kao stepen kontaminacije, R , koji definiramo kao kvocijent količine radionuklida prema referentnoj jedinici. U slučaju organizama koji žive u moru to se najčešće primjenjuje u obliku kvocijenta količine elementa u gramu nekog organizma i količine istog elementa u gramu ili cm^3 mora. Budući da se većina elemenata nalazi u biološkim sistemima u vrlo malim koncentracijama, to se pojavljuju problemi njihova određivanja. Metoda koja se pokazala kao vrlo pogodna za ova istraživanja jeste aktivaciona analiza, pa smo je i mi primijenili prilikom istraživanja procesa radiokontaminacije生物te u Jadranu.

EKSPERIMENTALNI DIO

Uzorci organizama bili su sakupljeni na standardnim istraživačkim stanicama Instituta "Rudjer Bošković" duž zapadne obale Istre (2). Svi uzorci bili su pažljivo očišćeni od eventualnih parazita, pijeska itd., a zatim mineralizirani pažljivim žarenjem u peći kod temperature od 450°C . Dobiveni pepel bio je usitnjен, homogeniziran, a nakon toga poznata količina bila je ozračivana u reaktoru zajedno s odgovarajućim standardima. Poslije ozračivanja uzorci su bili podvrgnuti radiokemijskoj separaciji. U tu svrhu uzorci

su bili prevedeni u otopinu kojoj su zatim bili dodani nosači za istraživane radionuklide. Za svaku separiranu frakciju bio je izračunat kemijski prinos, a zatim su prisutne aktivnosti bile mjerene pomoću gama spektrometra. Kao gama spektrometar poslužio je u ovim eksperimentima 3×3 inča NaI(Tl) scintilacioni brojač te 256-kanalni amplitudni analizator. Aktivnosti uzorka bile su računate sumiranjem površina ispod karakterističnih foto-vrhova za pojedine radionuklide. Tako dobivenе vrijednosti bile su korigirane za geometriju brojanja uzorka, efikasnost brojača, kemijski prinos separacije, udio određjenog gama prelaza u raspodu dotočnog radionuklida, te za raspad od vremena završetka ozračivanja do vremena mjerjenja uzorka. Na osnovu tako dobivenih koncentracija za pojedine elemente u biološkom materijalu bili su izračunati koncentracioni faktori uzevši pri tome literaturne podatke (3) za koncentraciju pojedinih elemenata u morskoj vodi.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati istraživanja prikazani su u Tabelama 1. i 2. Rezultati ukazuju na specifičnost svojstva biote da koncentriira pojedini radionuklid. Svakako da je ovdje vrlo važan i ekološki faktor, pa smo upravo iz tog razloga u našim istraživanjima odabrali organizme koji su karakteristični za priobalno područje a vezani su za dno (*Microcosmus sulcatus* i *Phallusia mammillata*) te predstavnike riba kao viših organizama koji žive u tom arealu (*Boops boops* i *Diplodus anularis*). Iako u ova oba slučaja nisu bili istraživani isti elementi (iz razloga što su neka druga istraživanja tako zahtijevala), ipak se mogu istaći neka opažanja i komparacije. Dok se kod istraživanih evolucionalno nižih organizama pojavljuju najveći koncentracioni faktori za elemente koji se najverovatnije ugradjuju u skelet (lantan, cer, skandij, željezo), dотle je kod evolucionalno viših organizama najzapaženiji koncentracioni faktor za cink. Kod obe ove istraživane grupe organizama uočljiv je i koncentracioni faktor za kobalt.

Kako se međutim ovi radionuklidi pojavljuju i kao radiokontaminanti Sjevernog Jadrana (2), to su njihova istraživanja od posebnog interesa. Naši prethodni rezultati (4) ukazuju da su upravo ovi radionuklidi, uz cirkonij i rutenijum, najčešći radiokontaminanti biote sjevernog Jadrana.

Posebno možemo naglasiti prednost metode aktivacione analize u komparaciji sa biološkom metodom mjerjenja procesa inkorporacije radionuklida u pojedine organizme u vremenu potreb-

nom za dobivanje željenih rezultata. Naime eksperimenti aktivacione analize lakše su izvedivi, metoda je brža i odjednom se može utvrditi nekoliko koncentracionalnih faktora.

Tabela 1.

Element	Koncentracija u morskoj vodi (mg/ml)	Koncentracioni faktori	
		<i>Microcosmus sulcatus</i>	<i>Phallusia mammillata</i>
Sc	$4 \cdot 10^{-11}$	2250	1250
La	$3 \cdot 10^{-10}$	9000	5600
Ce	$4 \cdot 10^{-10}$	12500	1750
Th	$7 \cdot 10^{-10}$	60	23
Rb	$1,2 \cdot 10^{-7}$	14	5
Cs	$5 \cdot 10^{-10}$	90	70
Sr	$8 \cdot 10^{-6}$	4	1
Fe	$1 \cdot 10^{-8}$	40000	18000
Zn	$1,4 \cdot 10^{-8}$	940	940
Co	$3,8 \cdot 10^{-10}$	1350	400

Tabela 2.

Element	Koncentracija u morskoj vodi (mg/ml)	Koncentracioni faktori	
		<i>Diplodus anularis</i>	<i>Boops boops</i>
Co	$3,8 \cdot 10^{-10}$	310	255
Zn	$1,4 \cdot 10^{-10}$	4700	1900
Sc	$4,0 \cdot 10^{-11}$	70	30
As	$3,0 \cdot 10^{-9}$	130	32
Ag	$3,0 \cdot 10^{-10}$	40	18
Sb	$5,0 \cdot 10^{-10}$	460	300
Cs	$5,0 \cdot 10^{-10}$	60	26

LITERATURA

1. G.G.Polikarpov: Radioecology of Aquatic Organisms; North Holland Publishing Co., Amsterdam 1966.
2. Institute Rudjer Bošković, Annual Report on Research Contract No.201/R2/RB, June 1966; 38-57.
3. H.V.Harvey: The Chemistry and Fertility of Sea Waters; Cambridge University Press, Cambridge 1963.
4. P.Strohal, O.Jelisavčić, Z.Kolar, S.Lulić and S.Kečšek; Radioactivity in Selected Organisms from North Adriatic; Comm.Int.Explor.Sci.Mer Medit., Rapp et P.V., 9 (1967).

METODE MERENJA BETA I GAMA AKTIVNOSTI
BIOTA SEVERNOG JADRANA

O.Jelisavčić, P.Strohal, Z.Kolar, S.Lulić i S.Kečkeš

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb i Rovinj

Sve većom upotrebom nuklearne energije kako u mirno-dopske tako i u vojne svrhe, problem radiokontaminacije životne okoline došao je u prvi plan. U nizu merenja radioaktivnosti okoline pažnja je bila usred sredjena na kontrolu radiokontaminacije severnog Jadrana (IAEA Report 1966). Ovakva merenja vrlo su kompleksna i teška. Ona na pr. uključuju primenu i analizu najrazličitijih vrsta uzoraka od morskog dna i nanosa do bioloških materijala. Poseban pak problem predstavlja analiza radioaktivnosti vode.

Obzirom na nivo radioaktivnosti koji se pojavljuje u severnom Jadranu posebnu pažnju treba pokloniti razlučivanju radioaktivnosti, proizvode fisije ili korozije nuklearnih postrojenja treba odvojiti od izvora prirodne radioaktivnosti (uglavnom od K-40). Budući da za istraživanja radiokontaminacije jednog areala treba analizirati kvalitativno i kvantitativno jako velik broj uzoraka kroz duži vremenski interval, a zbog niskih radioaktivnosti snimanje jednog spektra traje deset pa i više sati, to se nastojala razviti metoda kojom bi se na osnovu preliminarnih merenja beta aktivnosti izvršila prethodna eliminacija stanovitog broja uzoraka. Uzorci za koje preliminarna merenja na beta brojaču pokažu da radioaktivnost dolazi od raspada kalija-40 bili su na osnovu toga odbačeni, dok je preostalim uzorcima snimljen gama spektar.

EKSPERIMENTALNI DEO

Analizirani uzorci biota sakupljeni su u određenim vremenskim intervalima u širem području duž zapadne obale Istre. Sa površine uzoraka mehanički se odstrane makroskopski vidljivi epifiti, operu u slatkoj vodi i osuše filter papirom. Posle sušenja u termostatu, mineraliziraju se žarenjem u peći

kod 450°C . Nakon toga uzorci su bili samljeveni u mlinu, homogenizirani i prosejani kroz sito $\phi = 100/\mu$.

Pre upotrebe uzorci pepela bili su kratko sušeni kod 110°C i tada je po 250 odnosno 500 mg svakog uzorka bilo odmereno u odgovarajuće aluminijumske planšete $1 \frac{1}{4}$ inča u promeru. Jednolično rasporedjenim uzorcima obzirom na debljinu nosa bilo je dodano nekoliko kapi lepka u acetonskoj otopini. Nakon što je aceton bio otparen fiksirani uzorak je bio spreman za beta merenje. Standardi su bili pripremljeni na isti način od K_2SO_4 .

Tako priredjeni uzorci težine 250 i 500 mg bili su mereni u Nuclear Chicago antikoincidentnom beta brojaču koji se nalazio u sklopu s automatskim brojilom, automatskim izmjenjivačem uzorka i jedinicom za registraciju podataka. Brojač NC-102 je imao prozor od nerdjajućeg čelika debljine 10 mg/cm^2 a osnovno zračenje iznosilo je $1,5 \text{ impulsa po minutu}$. Uzorci su bili mereni u serijama od 5×2 uzorka + 2 standarda + 3 merenja osnovnog zračenja. Svaka pojedina planšeta brojana je 6×10 minuta.

Odnosi merenih radioaktivnosti za 500 i 250 mg standarda (b_1/b_2) i uzorka (a_1/a_2) izračunati su i uporedjeni. Bilo je pretpostavljeno da bi taj odnos morao biti jednak, tj. u granicama njihovih standardnih grešaka samo za slučajevе kada se aktivnosti uzorka odnose na K-40. U prikazanom sistemu odnos b_1/b_2 bio je 1.81 ± 0.12 . Na osnovu toga pretpostavljeno je da uzorci koji imaju

$$1.69 > a_1/a_2 > 1.93$$

sadrže aktivnosti koje ne potiču od K-40. Potrebno je naglasiti, da ovaj postupak vredi samo pod pretpostavkom da se samo-apsorpcija beta zraka u standardu ne razlikuje mnogo od samo-apsorpcije u uzorcima.

Na osnovu tako dobijenih rezultata izvršena je selekcija uzorka za dalja merenja na gama spektrometru, a primenjeni kriterijumi vidljivi su iz Tablice 1.

Krivulje raspada bile su snimane u slučajevima kada je aktivnost uzorka (250 i 500 mg) veća od 1 imp/min. Ova merenja vršena su u redovitim vremenskim intervalima od 15 dana. U uzorcima gde je odnos aktivnosti bio različit od odnosa u standardu, odnosno a_1/a_2 je manji od 1.69, a veći od 1.93 sadržaj kalija bio je određen bilo radicometrijski, bilo pomoću plamene fotometrije.

Tablica 1. Shematski prikaz selekcije uzoraka za analizu radioaktivnosti

dalji postupak	a_2	a_1/a_2
Izostaviti kao neaktivne	$\leq 1 \text{ imp/min}$	
Nastaviti merenje krivulje raspada	$\geq 1 \text{ imp/min}$	
Izvršiti određivanje koncentracije kalija	$\geq 1 \text{ imp/min}$	$1.69 \quad a_1/a_2 \quad 1.93$
Postupak gama spektrometrije	$\geq 10 \text{ imp/min}$ $\geq 15 \text{ imp/min}$	$1.69 \quad a_1/a_2 \quad 1.93$

Sva radiometrijska određivanja vršena su pomoću $3 \times 3"$ NaI(Tl) scintilacionog brojača i 256-kanalnog analizatora. Prisutne aktivnosti proračunate su standardnim metodama (STROMINGER, 1958, GUNNINK, 1961, LIEBSCHER, 1961).

LITERATURA

1. P. Strohal, O. Jelisavčić, Z. Kolar, S. Lulić, and S. Kečkeš, Radioactivity in Selected Organisms from North Adriatic, Comm. Int. Explor. Sci. Mer Medit., Rapp et P. V., 2 (1967).
2. D. Strominger, J. Hollander and G. Seaborg, Table of Radio-isotopes, Rev. Mod. Phys., 30 (1958) 585-904.
3. R. Gunnink and A. W. Stoner, Photopeak Counting Efficiencies for 3×3 Inch Solid and Well-Type NaI Scintillation Crystals, Anal. Chem. 33 (1961) 1311-1312.
4. K. Liebscher, F. Habashi und T. Schoenfeld, Beobachtungen über das Verhalten von Spaltprodukten in Oberflachwassern, Atom-praxis 7 (1961) 1-7.

MJERENJE KONTAMINACIJE MORSKIH ORGANIZAMA
NEKIM RADIONUKLIDIMA

Č.Lucu, O.Jelisavčić, P.Strohal i S.Lulić

Institut "Rudjer Bošković", Rovinj-Zagreb

Sve veća koncentracija radioaktivnih otpadaka u moru zahtjeva stalno praćenje radioaktivnosti mora, kao i objašnjanje mehanizama metabolizma radionuklida u organizmima mora.

U ovom radu nastojalo se prikazati mjerjenje kontaminacije morskih životinja u laboratorijskim uvjetima, kao i ukazati na probleme mjerjenja ulaska, izlaska i akumulacije radionuklida u morske životinje.

Eksperimenti kontaminacije životinja izvode se u polietilenским bazenima sa morskom vodom (10-60 l) aktivnosti 5 - 50/ μ C/l morske vode ispitivanog radionuklida. Prije početka pokusa životinje su adaptirane na konstantne laboratorijske uvjete - temperaturu, salinitet, prozračenost morske vode, svjetlost itd. U određenim vremenskim intervalima od početka pokusa mjeri se aktivnost životinje, tkiva ili organa i izražava kao specifična aktivnost ($\text{imp} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$). Međutim, najčešće se u pokusima ovekrog tima aktivnost životinje izražava kao odnos specifične aktivnosti životinje, organa ili tkiva prema odgovarajućoj specifičnoj aktivnosti medija - morske vode (Polikarpov, 1966) - tzv. faktorom koncentriranja.

$$F_c = \frac{C_z}{C_m} \quad (1)$$

gdje je F_c faktor koncentriranja, C_z specifična aktivnost životinje i C_m specifična aktivnost medija.

Paralelno sa praćenjem kontaminacije - ulaska radioaktivnih radionuklida u životinje, nužno je pratiti i dekontaminaciju, odnosno njenu kinetičku sliku - izlazak radionuklida iz životinja, ili pojedinih tkiva - organa. Nakon što je postignut određeni stupanj kontaminacije životinja u protočnoj morskoj vodi prati se pad aktivnosti i izražava kao procenat od početne aktivnosti

$$\% \Delta = \frac{St}{Seq} \quad (2)$$

gdje je $\% \Delta$ pad specifične aktivnosti u %, St = specifična aktivnost u vrijeme t i Seq specifična aktivnost na početku pokusa (t = 0).

Paralelno sa mjeranjem faktora koncentriranja radionuklida, nužno je u eksperimentima u kojima se stanje ravnoteže ne postiže brzo, mjeriti i koncentraciju stabilnog izotopa u životinji i mediju i izraziti ih faktorom koncentriranja. U tablici 1. prikazani su faktori koncentriranja stabilnog izotopa natrija i radionuklida Na^{22} u tjelesnoj tekućini morskog raka *Carcinum mediterraneus*.

Tablica 1.

Koncentracija mora		Koncentracija hemolimfa	$F_c Na$	$F_c Na^{22}$
%	mM/kg	mM/kg		
25	85.88	250.20	2.90	2.01
50	206.55	314.82	1.52	1.24
100	506.66	515.68	1.01	0.92
125	630.52	662.52	1.05	0.95

Mjerenje aktivnosti tjelesne tekućine izvodjeno je pet dana nakon početka pokusa, kada Na^{22} i 50% morskoj vodi još nije postigao ravnotežu, pokazujući tendenciju stalnog porasta. Ovo je upravo jedan od razloga da je u 25 i 50% morskoj vodi vrijednost faktora koncentriranja stabilnog izotopa natrija veća za 30 odnosno 16% od vrijednosti faktora koncentriranja Na^{22} . Razlike između faktora koncentriranja su manje u 50 i 100% morskoj vodi, jer je ravnoteža uspostavljena brže (LUCU. KECKES, 1967). Kao ekstracelularni ion Na^{22} je relativno brzo izmjenjiv sa vanjskom sredinom, što uslovjava dekontaminaciju nakon kratkog vremena.

Osim što se faktor koncentriranja izražava za cijelu životinju ili organ (tkivo), nužno je ispitati, radi objašnjanja metabolizma pojedinih radionuklida distribuciju radionuklida po organima (tkivima). U tablici 2. prikazani su rezultati faktora koncentriranja Pa^{233} i Ce^{144} u pojedinim organima dagnji nakon 25-dnevne kontaminacije, odnosno 15-dnevne dekon-

taminacije.

Tablica 2.

D a g n j a	Kontaminacija (25 dan) faktor koncentriranja		Dekontaminacija (15 dan) % od početne aktivnosti	
	Ce ¹⁴⁴	Pa ²³³	Ce ¹⁴⁴	Pa ²³³
mišić	50	15	15	5
škrge	80	150	30	35
plašt	100	30	5	31
ostali meki dio	100	280	2	2
stopalo	300	-	28	30

Vidljivo je (tablica 2) da su najveće vrijednosti faktora koncentriranja Pa²³³ zabilježene u ostalom mekom dijelu (najvećim dijelom probavni trakt /300/, u škrzgama /150/, dok su vrijednosti faktora koncentriranja u plaštu i mišićima znatno niže. Nakon određenog nivoa kontaminacije dagnji radionuklidom Pa²³³, prikazan je izlazak radionuklida u neaktivnu morsku vodu. U plaštu sa gonadama, škrzgama i stopalu akumulirano je nakon 15-dnevne dekontaminacije još oko 30% aktivnosti, dok je u probavnom traktu i mišićima došlo do gotovo potpune dekontaminacije (tablica 2).

Faktori koncentriranja Ce¹⁴⁴ u pojedinim organima i tkivima dagnji su znatno viši od ranijih rezultata sa radionuklidom Pa²³³. U probavnom traktu je faktor koncentriranja znatno viši (2000) nego u ostalim dijelovima (tablica 2). Prema rezultatima izlaska Ce¹⁴⁴ iz pojedinih organa i tkiva dagnji vidljivo je da je dekontaminacija probavnog trakta potpuna, dok je u škrzgama i mišićima akumulirano oko 30 odnosno 15% Ce¹⁴⁴. Preliminarni rezultati pokazuju da je vrlo visok faktor koncentracije u ljušturi dagnji, i nakon višednevne dekontaminacije u protočnoj neaktivnoj morskoj vodi. Vidljivo je da su faktori koncentriranja i Pa²³³ i Ce¹⁴⁴ visoki u probavnom traktu, no brza mogućnost dekontaminacije ukazuje na slabu površinsku adsorpciju (Krumholz, Goldberg, Borroughs, 1957), pa navedeni radionuklidi ne ulaze u biociklus ovim putem.

LITERATURA

- KRUMHOLZ, L.A., GOLDBERG, E.D. i BOROUGH, H.A. (1957) Effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries. National Academy of Sciences, Washington, D.C. Publ. 551, 69-79.
- LUCU, Č. i KEČŠEK, S. (1967) Comm. Int. Explor. Sci. Mer. Medit. Rapp. et P.O. U štampi.
- POLIKARPOV, G.G. (1966) Radioecology of Aquatic Organisms. North Holland Publishing Company, Amsterdam-New York.

ODREDJIVANJE POLOŽAJA PIKA TOTALNE APSORPCIJE
PRIMENOM METODE NAJMANJIH KVADRATA NA CIMERMANOVU
LINEARIZACIJU PIKA I NA FUNKCIJU $z = \ln y$

B. Vujišić i V. Čavić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Boekelheide /1/ je dao metod za vrlo precizno određivanje energetske rezolucije scintilacionog spektrometra. Ovaj metod bazira na tome da je fotopik analitički predstavljen Gausovom funkcijom

$$y(x) = \frac{A}{6\sqrt{2}\pi} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{6^2}} \quad (1)$$

i da je integral verovatnoće prava sa nagibom $\frac{1}{G}$, a 50% verovatnoće se nalazi u preseku sa pravom $x = x_0$.

Koristeći ovaj metod moraju biti uzete u obzir dve činjenice. Površina A mora biti a priori poznata. Na drugoj strani prosto sabiranje odbroja po kanalima je loša aproksimacija za integral

$$\frac{1}{A} \int_{-\infty}^{x} y(t) dt = \operatorname{erf} \left(\frac{x-x_0}{G} \right) \quad (2)$$

Zimmerman /2/ je, koristeći se osobinama Gausijana

$$Q_p = \ln p(x) = \ln \frac{y(x-1)}{y(x+1)} = \frac{2(x-x_0)}{6^2} \quad (3)$$

dobio linearnu zavisnost Q_p od x . To je prava sa nagibom $\frac{2}{6^2}$ i preseca x osu u tački $x = x_0$.

Pogodno je Gausijan predstaviti u obliku

$$y = Y_0 e^{-\frac{(x-x_0)^2}{b_0}} \quad (4)$$

gde je Y_0 - maksimum amplitude pika, x_0 srednja tečka raspodele na skali visine impulsa, a b_0 se odnosi na rezoluciju.

Ako se primeni Zimmerman-ova linearizacija pika i ako se označi sa

$$\begin{aligned} Z &= \ln \frac{v(x-1)}{y(x+1)} \\ a_1 &= -4 \frac{x_0}{b_0} & x_1 &= x^0 \\ a_2 &= \frac{4}{b_0} & x_2 &= x \end{aligned} \quad (5)$$

dobija se da je Z linearna funkcija veličina x_1 i x_2 , tj.

$$Z = a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (6)$$

Ako se sa x_{ik} označe rezultati k-tog merenja i odgovarajuće Z sa z_k metodom najmanjih kvadrata dobija se sistem normalnih jednačina.

$$\begin{aligned} a_1 + a_2 \sum_{j=1}^n x_2^j &= \sum_{j=1}^n z_j \\ a_1 \sum_{j=1}^n z_{2j} + a_2 \sum_{j=1}^n x_{2j}^2 &= \sum_{j=1}^n z_j z_{2j} \end{aligned} \quad (7)$$

Rešenjem sistema (7) dobijaju se nepoznate a_1 i a_2 a iz poslednje dve jednačine (5) veličine x_0 i b_0 .

Na taj način ne crtajući spektar moguće je odrediti karakteristike pika totalne apsorpcije.

Rezultati dobijeni ovom metodom slažu se 0,1% sa rezultatima dobijenim kada se fotopik predstavi izrazom

$$y = Y_0 e^{-\frac{(x-x_0)^2}{b_0}} \left[1 + (x-x_0)^b + B(x-x_0)^q \right] \quad (8)$$

Ako se označi sa

$$w = \ln y$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \ln Y_0 - \frac{x_0^2}{b_0} & X_1 &= x^0 \\ a_2 &= 2 \frac{x_0}{b_0} & X_2 &= x \\ a_3 &= -\frac{1}{b_0} & X_3 &= x^2 \end{aligned} \quad (9)$$

iz uslova

$$\sum (\sum_{j=1}^n x_{ji} - w_i)^2 = \min \quad (10)$$

dobija se sistem tri jednačine sa tri nepoznate

$$\begin{aligned} a_1(e_1, e_1) + a_2(e_1, e_2) + a_3(e_1, e_3) &= (f, e_1) \\ a_1(e_1, e_2) + a_2(e_2, e_2) + a_3(e_2, e_3) &= (f, e_2) \\ a_1(e_1, e_3) + a_2(e_2, e_3) + a_3(e_3, e_3) &= (f, e_3) \end{aligned} \quad (11)$$

gde je

$$(e_{i,k}) = \sum_j x_{ij} x_{kj}$$

$$(f, e_k) = \sum_j w_j x_{kj}$$

Iz sistema jednačina (11) dobijaju se nepoznate konstante a_1 , a_2 i a_3 , pa je

$$\begin{aligned}x_0 &= -\frac{a_2}{2a_3} \\b_0 &= -\frac{1}{a_3} \\y_0 &= e \frac{2a_1 + a_2}{2}\end{aligned}\tag{12}$$

Treba napomenuti da je podešavanje Gausove krive na eksperimentalni fotopik pogodno samo na strani više energije, dok strana niže energije znatno odstupa od Gausove krive.

LITERATURA

1. Boekelheide I.F., Rev.Scient.Instrum., 31, 9, 1001 (1960).
2. Zimmermann W., Rev.Scient.Instrum., 32, 9, 77 (1961).

APSOJUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI IZOTOPA
KOJI SE RASPADAJU PUTEM ELEKTRONSKOG ZAHVATA

Dj.Bek-Uzarov, Lj.Dobrilović i K.Buraei

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Izotopi koji se raspadaju putem elektronskog zahvata zbog svojih nuklearno-fizičkih osobina predstavljaju sada jednu od glavnih oblasti ispitivanja i rada u metrologiji radioaktivnih izotopa.

U slučaju kada je sav ili deo raspada praćen gama emisijom, broj dezintegracija, u principu, može se odrediti ko-incidentnom metodom. Ova metoda podrazumeva merenje X-gama zračenja u koincidentiji, ože elektrona - gama zračenja ili X - unutrašnjeg zakočnog zračenja u koincidentiji.

Svi izotopi koji se raspadaju putem elektronskog zahvata mogu takođe da se mere direktnim brojanjem X zračenja i to K-X zračenja ili ože elektrona uz poznavanje fluorescentnog prinosa ω ili bezradijacionog prinosa. d.

Kao predstavnici ovih izotopa mogu se smatrati ^{55}Fe i ^{54}Mn . ^{55}Fe je tipični predstavnik ovih izotopa koji se mere $4\pi X$ metodom, a $^{54}\text{Mn} 4\pi X-\gamma$ koincidentnom metodom, pa su zato ovi izotopi i korišćeni u radu pri razvoju ovih metoda.

1. APARATURA

Aparatura sa kojom su vršena absolutna merenja aktivnosti ^{54}Mn i ^{55}Fe je $4\pi X-\gamma$ koincidentna aparatura tipa BGK izradjena u Odeljenju metrologije Instituta "Boris Kidrič"/l/.

Radni gas $4\pi X$ brojača je smeša 90% Ar + 10% CH_4 , a brojač radi i u režimu povećanih pritisaka do 3 atm.

Kao detektori gama zračenja korišćena su dva kristala NaJ(Tl) dimenzija 100x60 mm, vezana paralelno

Mrtvo vreme aparature tj.X, τ i koincidentne grane iznosi $\tau_x = (6,78 \pm 0,01) \mu\text{s}$; $\tau_{\gamma} = (7,2 \pm 0,1) \mu\text{s}$;

$\bar{t}_e = (26,4 \pm 0,5) \mu\text{s}$ respektivno. Vreme razlaganja koincidentnog uredjaja - \bar{t}_r - odredjeno je metodom dva nezavisna izvora /3/ i iznosi $(1,765 \pm 0,035) \mu\text{s}$.

2. PRIPREMANJE IZVORA

Za ispitivanje efikasnosti 4 brojača, izvori ^{55}Fe , ^{54}Mn i ^{65}Zn su preparirani u sendvič tehnici. Kao podloga i pokrivač služile su folije od VYNS smole i Al folije (ekvivalentne debljine 0,8 μm Al). Ovakve folije potpuno apsorbuje ože elektrone, a imaju transmisiju K-X zračenje za ^{54}Mn , ^{55}Fe i ^{65}Zn 92,6%, 98,6% i 99% respektivno.

Za merenje ^{54}Mn $4\pi\text{X}-\gamma$ koincidentnom metodom korišćen je izvor ^{54}Mn (E_3 -BIPM) dobijen iz Bureau International des Poids et Mesures, gde je ^{54}Mn nanet elektrolitički na pozlaćenu foliju of VYNS smole debljine 30-50 $\mu\text{gr}/\text{cm}^2$.

3. EFIKASNOST $4\pi\text{X}$ PROPORCIONALNOG BROJAČA

Za određivanje efikasnosti $4\pi\text{X}$ proporcionalnog brojača sa radnim gasom 90% Ar + 10% CH_4 za detekciju K-X zračenja, praćena je zavisnost odbroja $N_{\text{K-X}}$ u funkciji inverznog pritiska 1/p, što je pokazano na sl.1. za izotope ^{54}Mn , ^{55}Fe i ^{65}Zn . Merenja su vršena u intervalu pritiska od 1 do 3 atm za energije K-X od 5,4 Kev, 5,89 Kev i 8,9 Kev izotopa ^{54}Mn , ^{55}Fe i ^{65}Zn respektivno. Pri ovim merenjima pikovi totalne apsorpcije K-X zračenja imali su istu amplitudu impulsa kao i pri jednoj atmosferi, tako da je oblik diferencijalnog spektra ostajao isti. Ovo je postignuto sukcesivnom promenom visokog napona na brojaču.

Uzimajući da je efikasnost detekcije na beskonačnom pritisku 100% ($1/p = 0$) nadjeno je da ona na 1 atm iznosi za ^{54}Mn , ^{55}Fe i ^{65}Zn 88,4%, 87,9% i 58,3% respektivno.

4. ODREĐIVANJE APSOLUTNE AKTIVNOSTI IZVORA ^{55}Fe $4\pi\text{X}$ METODOM

Za dobijanje podataka o absolutnom broju dezintegracija izvora ^{55}Fe , može se koristiti izraz:

$$R_s = N_{\text{K-X}} \cdot A \epsilon_{\text{K-X}} \cdot B \omega_K \cdot C_p \cdot D_{\text{ap}} \cdot E \epsilon \gamma \quad [\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gde pojedini faktori imaju sledeće značenje i vrednosti:

N_{K-X} - broj detektovanih K-X zraka korigovanih za mrtvo vreme i osnovnu aktivnost na pritisku od 1,8 atm;

$A \epsilon_{K-X} = (1,07 \pm 0,01)$ - korekcioni faktor za efikasnost detekcije K-X zračenja;

$B \omega_K = (3,413 \pm 0,002) / 4$ - korekcioni faktor za fluoro-scentni prinos K-X zračenja;

$C_p = (1,097 \pm 0,004) / 4$ - korekcioni faktor za verovatnoću K i L zahvata;

$D_{ap} = (1,014 \pm 0,002)$ - korekcioni faktor za apsorpciju K-X zračenja u foliji.

5. ODREDJIVANJE APSOLUTNE AKTIVNOSTI IZVORA

^{54}Mn $4\gamma\text{KX} - \gamma$ KOINCIDENTNOM METODOM

Za izračunavanje absolutne aktivnosti ^{54}Mn $4\gamma\text{KX} - \gamma$ koincidentnom metodom korišćen je izraz /5, 6/:

$$R_s = \frac{\lambda}{(1+K_e) \cdot D \cdot t} \quad \text{s}^{-1} \quad (2)$$

gde je:

$$M = \frac{(N_x - B_x \cdot t/t_B)(N_\gamma - B_\gamma \cdot t/t_B)}{N_c - B_c \cdot t/t_B}$$

a N_x , N_γ i N_c predstavljaju odborje u beta, gama i koincidentnoj grani u vremenu t , B_x , B i B_c osnovne aktivnosti u vremenu t_B ;

K_r , D i $(1+K_e)$ predstavljaju korekcione faktore za vreme razlaganja koïncidencije, mrtvo vreme beta, gama i koincidentne grane, radioaktivni raspad i šemu raspada respektivno i za različite izvore jednog istog izotopa mogu imati različite vrednosti jer zavise od brzine brojanja (K_r i D) i debljine izvora $(1+K_e)$.

Korekcioni faktor za šemu raspada, K_e dat je sa:

$$K_e = \frac{1 - \epsilon_x}{\epsilon_x} \cdot C \left[(\epsilon_x) \gamma, \epsilon_\gamma, \epsilon_c \right]$$

gde su: ϵ_x - efikasnost X detektora na X-zračenje (ϵ_x)_r - efikasnost X-detektora na gama zračenje, ϵ_y efikasnost Y detektora na gama zračenje, a ϵ_c - efikasnost za brojanje lažnih koincidencija.

Eksperimentalni uslovi pod kojima je meren izvor ^{54}Mn (E_γ -BIPM) bili su sledeći: pritisak u 4MK brojaču 1,8 atm. 90% Ar+10%CH₄, za odbroj N_x uzet je odbroj od (14 - 106). V integralnog spektra K-I zračenja; osnovni fon 4MK brojača iznosio je 3 imp/s; za odbroj N_y uzet je odbroj integralnog spektra gama zračenja ^{54}Mn koji odgovara energiji gama zračenja od 0,7-2 MeV; osnovni fon gama detektora pri ovim uslovima iznosio je 44 imp/s.

Za ovaj izvor korekcion faktori iznose: D=1,00109, $K_x = 1,0077$; $K_e = 0,00219$; dok odredjene efikasnosti imaju vrednosti: $\epsilon_x = (62,91 \pm 0,08)\%$; $\epsilon_y = (6,26 \pm 0,15)\%$; $(\epsilon_x)_r = (0,41 \pm 0,02)\%$; $\epsilon_c = (0,0023 \pm 0,0007)\%$.

Efikasnost 4MK proporcionalnog brojača za detekciju gama zračenja (ϵ_x)_r određena je praćenjem promene $N'_x \cdot N'_y / N$ u zavisnosti od $1 - \frac{N'_x}{N} / \frac{N'_y}{N}$. Ekstrapolacijom ove prave na vrednost $1 - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_x} = 0$ dobija se vrednost $N_0 \cdot N'_x$, N'_y i N'_c su posmatrani odbroji u X, Y i koincidentnoj grani respektivno korigovani za osnovnu aktivnost i mrtvo vreme. Vrednost $(\epsilon_x)_r$ dobija se kao nagib prave koja predstavlja zavisnost $N'_x \cdot N'_y / N'_c \cdot N_0$ od $1 - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_x}$ (sl.2). Eksperimentalna promena ϵ_x vršena je promenom pritiska radnog gasa u brojaču u intervalu od 1-2 atm.

Na drugi način za određivanje (ϵ_x)_r praćena je zavisnost N''_x od ϵ_x (sl.3), gde je N''_x posmatrani odbroj u X grani korigovan za osnovnu aktivnost. Ekstrapolacijom pravne na $\epsilon_y = 0$ dobija se vrednost N''_{x0} koja predstavlja doprinos od detektovanog gama zračenja u X grani.

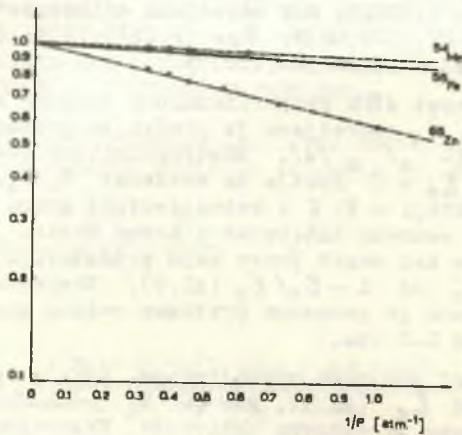
Odnos N''_{x0}/N daje takođe vrednosti za (ϵ_x)_r. Vrednosti (ϵ_x)_r dobijene dvema nezavisnim metodama razlikuju se između sebe za 0,7%.

Efikasnost za lažne koincidencije ϵ_c određena je praćenjem zavisnosti N''_c od ϵ_x (sl.3), gde je N''_c posmatrani odbroj u koincidentnoj grani korigovan za osnovnu aktivnost. Ekstrapolacijom pravne na $\epsilon_x = 0$ dobija se N''_{co} , čiji odnos sa M daje vrednosti za ϵ_c .

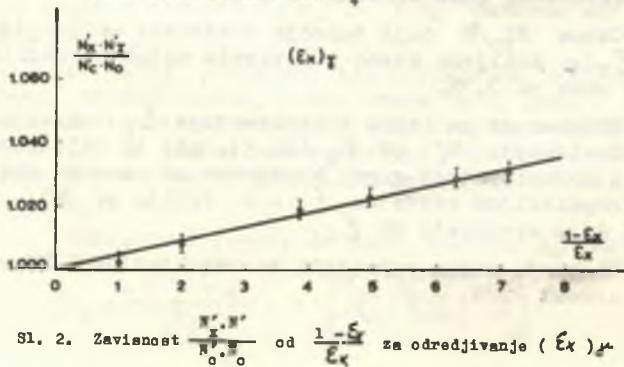
Slaganje naših rezultata sa rezultatima BIPM za isti izvor iznosi 0,7%.

LITERATURA

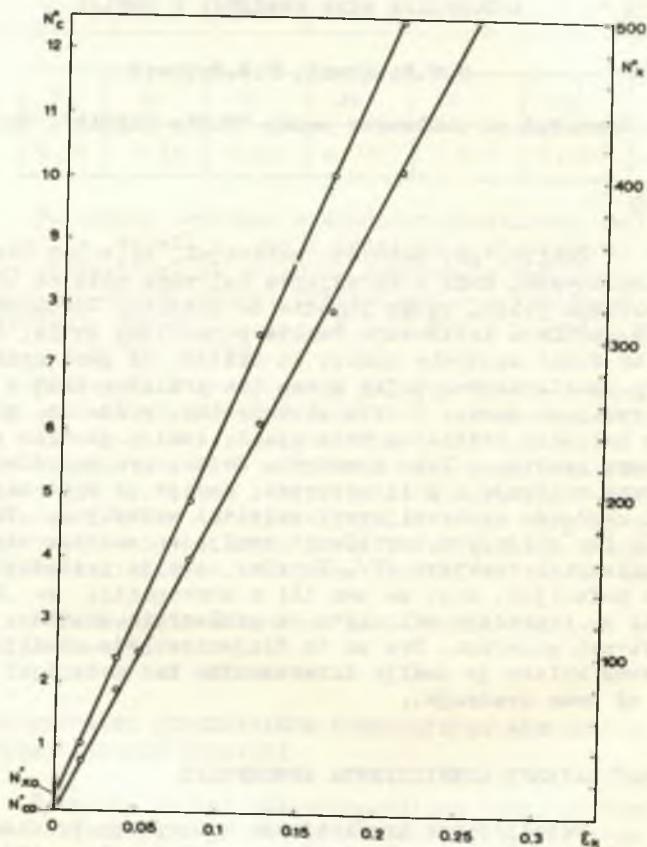
1. Bek-Uzarov Dj. i dr.: Razvoj detektora i metoda merenja aktivnosti. Intern.dok. IBK-628/1966.
2. Campion P.J.: IJARI, 4, pp.232 (1959).
3. Snell H.: Nuclear Instruments and Their Uses; Vol.1, I.W. Mey and Sons, Inc., New York-London (1962).
4. Allen R.A.: IJARI, 1, pp.289 (1957).
5. Williams A. and Campion P.J.: IJARI, 14, pp.533 (1963).
6. Rytz A.: CCEMRI, 5e, session p.67 (1964).



Sl. 1. Efikasnost detekcije gama zračenja u funkciji pritiska radnog gasa 90% Ar + 10% CH_4



Sl. 2. Zavisnost $\frac{N'_X - N'_T}{N_C - N_0}$ od $\frac{1 - E_X}{E_X}$ za određivanje $(E_X)_d$



Sl. 3. Zavisnost N_x'' od ϵ_x i N_c'' od ϵ_x za određivanje (ϵ_x) i ϵ_c .

APSORPCIJA GAMA ZRAČENJA U ZEMLJI

M.M.Ninković, P.S.Bojović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

Zemlja, kao zaštitni materijal, nije još uvek dovoljno ispitivana, mada u odredjenim uslovima može da bude, na vrlo širokom planu, veoma pogodna za zaštitu. Navešćemo samo nekoliko primera korišćenja zemlje u zaštitne svrhe. Na prvo mesto bi došla upotreba zemlje za zaštitu od gama zračenja velikih akceleratora, kojih danas ima priličan broj u razvijenim zemljama sveta. U ovim slučajevima, pošto su potrebne velike količine zaštitnog materijala, zemlja je vrlo pogodna kao veoma jevtina i lako dostupna. Zatim, pri korišćenju izvora gama zračenja u poljoprivredi, zemlja je opet najpogodniji i najčešće upotrebljavani zaštitni materijal. Takođe, u svetu ima slučajeva korišćenja zemlje za zaštitu stacionarnih nuklearnih reaktora /2/. Konačno, zemlja predstavlja zaštitni materijal, koji se sam ili u kombinaciji sa betonom, koristi za izgradnju skloništa od nuklearnih eksplozija i radioaktivnih padavina. Sve su to činjenice koje ubedljivo govore o tome koliko je zemlja interesantna kao materijal za zaštitu od gama zračenja.

2. IZRAČUNAVANJE KOEFICIJENTA APSORPCIJE

Odredjivanje koeficijenta apsorpcije za elementarne materijale kao što su: aluminijum, gvoždje, olovu itd., ne predstavlja veliku teškoću. Međutim, odredjivanje iste veličine za zaštitne materijale, koji predstavljaju smeš hemijskih elemenata ili jedinjenja, je dosta složeniji proces. Kod rada sa zemljom, posebno, pojavljuje se još jedan problem koji se sastoji u tome što integralni hemijski sastav zemlje znatno varira od mesta do mesta. Isto se može reći i za homogenost i gustinu zemlje. Ipak, za veći deo zemljine kore može se dati srednji efektivni sastav zemlje koji navodimo u tablici 1 /3/.

Tabela 1. Srednji efektivni hemijski sastav zemlje

Element	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg
Tež.%	46,5	27,7	7,85	4,85	3,75	2,8	2,62	2,25

Ti	P	H	Mn	F	Cl	S
0,75	0,11	0,11	0,075	0,075	0,037	0,037

Na osnovu podataka o srednjem efektivnom hemijskom sastavu zemlje, tabela 1, kao i podataka o parcijalnim koeficijentima apsorpcije, za pojedine komponente zemlje /1,2,4./ izračunali smo ukupni maseni koeficijent apsorpcije za zemlju i gama zračenja Co-60 ($E_{\text{srednje}} = 1,25 \text{ MeV}$), i dobili sledeći (f) zemlje = $0,0056 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Uzimajući u obzir da je gustina zemlje srednjeg efektivnog sastava navedenog u tabeli 1. jednaka $1,44 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, to se za odgovarajući linijski koeficijent apsorpcije dobija numerička vrednost od $8,06 \text{ m}^{-1}$. Ovako dobijene numeričke vrednosti masenog i linijskog koeficijenta apsorpcije zemlje za gama zračenje kobalta, predstavljaju sa svoje strane, srednje efektivne vrednosti oko kojih treba da se grupišu eksperimentalni podaci dobijeni za zemlju sa različitim tačaka zemljine površine.

Naša merenja vršena su sa uzorcima zemlje i u zemlji sa područja Instituta.

3. EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE KOEFICIJENTA APSORPCIJE U LABORATORIJSKIM USLOVIMA

Šematski prikaz eksperimentalnog uređaja korišćenog za laboratorijska merenja dat je na slici 1. Geometrija eksperimentalnog uređaja, kako se vidi na slici 1, bila je takva da su u potpunosti ostvareni uslovi uskog snopa. Pokazivanja detektora korigovana su za slabljenje u aluminijumskog podlozi posuda u kojima su bili uzorci zemlje.

Rezultati merenja prikazani su na slici 2.

Koristeći krivu apsorpcije gama zračenja, datu na sl.2, izračunali smo linijski koeficijent apsorpcije gama zračenja Co-60 za zemlju u laboratorijskim uslovima, odnosno u

uslovima uskog snopa. Numerička vrednost ovog koeficijenta iznosi $12,4 \text{ m}^{-1}$.

Uporedjujući eksperimentalno dobijen koeficijent apsorpcije sa izračunatim, za srednji efektivni sastav zemlje, zapaža se razlika oko 50%. Ova činjenica ukazuje na to da hemijski sastav zemljišta sa kojim smo radili znatno odstupa od srednjeg efektivnog. To se moglo zapaziti i po gustini naših uzoraka zemlje, koja se kretala od $1,5 - 1,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, što je za oko 10% veće od gustine zemljišta sa srednjim efektivnim sastavom.

4. MERENJE FAKTORA ZAŠTITE ZEMLJIŠTA U PRIRODNIM USLOVIMA

Na slici 3. dat je šematski prikaz zemljišta i položaj instrumentacije u toku merenja na terenu. Merenja su vršena na strmom terenu koji je poravnat u površini od nekoliko kvadratnih metara, a sa niže strane napravljen je zasek do dubine od 1,5 m. Kao merni instrument korišćen je standardni merač jačine doze ozračivanja tipa "KAKTUS", sovjetske proizvodnje.

Kao izvori gama zračenja korišćena su dva standardna izvora Co-60 aktivnosti $1,45 \text{ Ci}$ i $7,40 \text{ Ci}$.

Rezultati merenja prikazani su na slici 4. Na ovoj slici, pored eksperimentalno dobijene krive slabljenja gama zračenja Co-60 u zemlji, data je odgovarajuća kriva slabljenja za beton, gustine $2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, radi upoređivanja zaštitnih moći zemlje i običnog betona.

Kao što se sa slike 4. može videti, sloj zemlje debljine 100 cm ima istu zaštitnu moć u pogledu apsorpcije gama zračenja Co-60, kao i sloj betona debljine 70 cm. Ova činjenica ubedljivo govori o zaštitnoj moći zemlje. Potrebno je naglasiti, što se takodje jasno vidi na slici 4, da je ekvivalentna debljina zemlje funkcija ukupne debljine zaštitnoj sloja i da lagano raste sa porastom ove debljine. Ovo dolazi otuda što faktori nagomilavanja gama zračenja, za zemlju i beton, rastu sa različitim brzinama pri porastu debljine zaštitnog sloja.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih podataka može se lako oceniti zaštitna moć zemlje u odnosu na druge materijale, kao što su voda, beton itd. Naročito je interesantno upoređivanje zaštitnih moći zemlje i betona, kako iz praktičnih razloga tako i

zbog sličnog hemijskog sastava. Ovo uporedjivanje pokazuje da slojevi zemlje, debljine od 50 do 130 cm, imaju istu zaštitnu moć kao i slojevi običnog betona debljine od 40 do 90 cm. Navedeni podaci mogu se veoma korisno upotrebiti u praksi, naročito pri izgradnji zaštitnih skloništa.

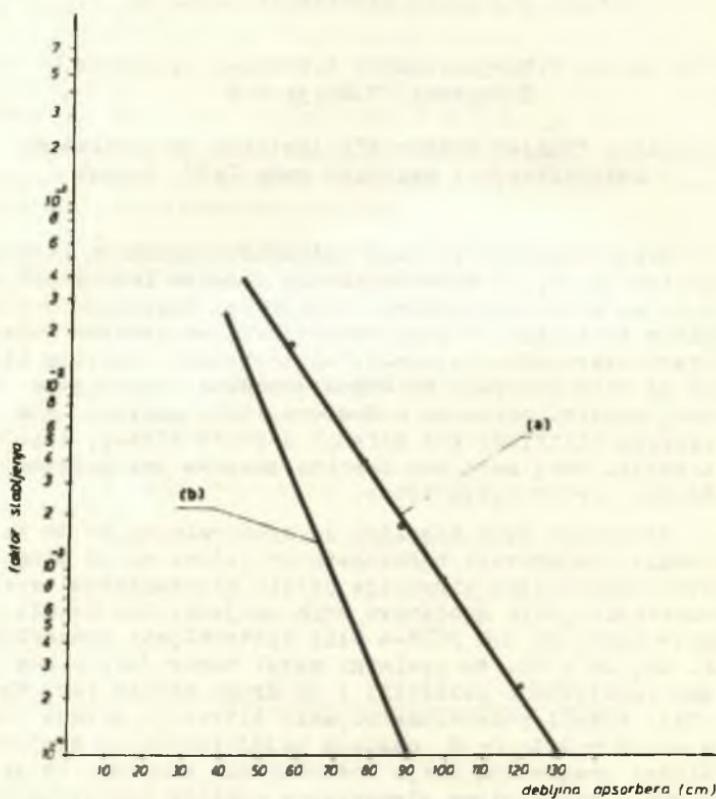
Za pomoć u eksperimentalnom radu, autori duguju zahvalnost Petru Miriću. Uspešno okončanje ovog rada došlo je i kao rezultat nesobičnog zalaganja tehnološkog osoblja Odseka za obradu tečnih efluenata, a naročito tehničara Slobodana Jovanovića.

6. LITERATURA

1. P.N. Vjugov i dr., Atomnaja Energija, 1961, 76-79.
2. Reactor Handbook, vol.I, Materials, Interscience publishers, Inc., New York, 1960.
3. O.I. Lejpunskij, Gamma izlučenije atomnovo vzrova, Moskva, 1959.
4. O.I. Lejpunskij i dr., Rasprostranjenije gama kvantov v veštcevje, Moskva, 1960.



SLIKA 1. Šematski prikaz eksperimentalnog uređaja koji je korišćen za mereњe apsorpcije γ -zračenja u uslovima uskog snopa



*SLIKA 4. Krive faktora slabljenja za : a) zemlju
(merena) i b) običan beton (uzeta iz li-
terature)*

UKLANJANJE RADOAKTIVNOG STRONCIJA IZ ORGANIZMA
POMOĆU INDAZOLON KARBINSKIH KISELINA

V.Škarić, V.Turjak-Zebić, L.Stuhne, Dj.Škarić,
K.Kostial, T.Maljković

Institut "Rudjer Bošković" i Institut za medicinska
istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Dvije kiseline iz niza tetrahidroindazolon karbonskih kiselina /1, 2, 3/ sintetiziranih u našem laboratoriju, pokazale su se vrlo prikladnima u stvaranju kompleksa s raznim metalnim kationima. O kompleksirajućim svojstvima 2-fenil 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-on-5,5-dikarbonske kiseline (I, FIDA) već je bilo govoreno na Jugoslovenskom simpozijumu o radiološkoj zaštiti održanom u Mostaru 1965. godine, dok je druga kiselina (II,HIDA) kao defenil derivat FIDA-e, bila ispitana kasnije. Ovaj spoj bez fenilne skupine ima prednost pred FIDA-om, jer je bolje topiv.

Struktura ovih kiselina je upućivala na to da bi ti spojevi mogli posjedovati helatogena svojstva, pa se stoga metodom potenciometrijske titracije prišlo sistematskom ispitivanju kompleksirajućih svojstava ovih spojeva. Kao metali u tim ispitivnjima su kod FIDA-e bili upotrebljeni zemnoalkalni metali Ca, Sr i Ba, te prelazni metal bakar /4/, a kod HIDA-e smo ispitivanja proširili i na druge metale (Be, Mg,Co, Mn, Zn, Cd). Podaci potenciometrijskih titracija govore da u području pH od ~ 4 do ~ 8 nastaje najvjerojatnije šesteročlani helatni prsten kod dviju karboksilnih skupina. To je bilo utvrđeno i rezultatima elementarne analize barijevog kompleksa obih kiselina.

Na slikama 2. i 3. bit će prikazane potenciometrijske titracije FIDA-e sa zemnoalkalnim metalima u molarnim odnosima 2:1 i 1:10 liganda prema metalu. Krivulja označena simbolom za metal označuje titraciju samog metalala.

Titracione krivulje defenil derivata tj. HIDA-e u smjesi sa zemnoalkalnim metalima su bile vrlo slične titracijskim krivuljama FIDA-e u smjesi s tim metalima. Na slikama 4. i

5. su prikazane titracione krivulje HIDA-e u smjesi sa Ca i Sr.

Budući da je nastajanje kompleksa u ovom pH području bilo vrlo interesantno za planirana biološka istraživanja, htjeli smo dobiti i kvantitativne podatke o stabilnosti nastalih kompleksa, pa smo prišli računanju njihovih stehiometrijskih konstanata stabilnosti. Za molarne odnose 2:1 (ligand - metal) upotrebljena je Bjerrum-ova metoda računanja, a za molarne odnose 1:10 (ligand - metal) upotrebljena je Schwarzenbach-ova metoda. Podaci o konstantama stabilnosti kompleksa FIDA-e Ca, Sr i Ba su objavljeni u C.C.A. 36 (1964).

Na slijedećim slikama (6. i 7) prikazano je grafičko određivanje konstanata stabilnosti kompleksa FIDA-e i HIDA-e sa zemnoalkalnim metalima.

Konstante stabilnosti kompleksa HIDA-e i FIDA-e sa Ca i Sr prikazane su u slijedećoj tabeli (Tab.1).

Tabela 1.

Ligand to metals, molar ratio

log K _{k2}	2 : 1		1 : 10	
	dioxane - water (1 : 1)		dioxane - water (1 : 1)	
	HIDA	FIDA	HIDA	FIDA
Ca ⁺⁺	4.73	4.76	4.63	4.62
Sr ⁺⁺	4.57	4.46	4.41	4.14

Konstante stabilnosti kompleksa HIDA-e s Ca i Sr su vrlo bliske konstantama stabilnosti kompleksa FIDA-e s istim metalima. To ujedno dokazuje da ne postoji utjecaj fenilne grupe kao ni heterocikličkog dijela na stvaranje kompleksa u tom pH području.

Za nas je bila vrlo važna činjenica, da su konstante stabilnosti kalcijevih i stroncijevih kompleksa ovih kiselina bile vrlo bliske, što je s biološkog stanovišta povoljan odnos. Kao što je poznato spojevi iz reda poliaminopolioctenih kise-

line daju veće vrijednosti za konstante stabilnosti kompleksa sa zemnoalkalnim metalima, pa se od njih očekivalo da će biti i uspješnije u eliminaciji radioaktivnog stroncija iz kontaminiranih organizama. Međutim, do sada su se samo dva spoja iz reda poliaminopolioctenih kiselina pokazali djelomično uspješnima na tom polju, a to su 2:2' bis di(karboksimetil)amino dietileter (BADE) /5,6/ i ciklopentandiamin tetraoctena kiselina (CPDTA) /7/ i to kad su bile primijenjene u obliku stroncijevih dinatrijevih kompleksa.

Razlog slabe primjene ostalih spojeva iz reda poliaminopolioctenih kiselina za ubrzanje eliminacije radioaktivnog stroncija iz kontaminiranih organizama leži u tome, što su konstante stabilnosti kalcijevih kompleksa daleko veće od konstanti stabilnosti stroncijevih kompleksa. Tekvi spojevi, nai-mje, u organizmu jače i više vezuju kalcij što dovodi do hipokalcemije.

Netoksičnost priredjenih dikiselina FIDA i HIDA kao i bliskost konstanata stabilnosti kalcijevih i stroncijevih kompleksa bili su uzrokom, da smo prišli istraživanju djelovanja tih novih helatogenih agensa na eliminaciju radioaktivnog stroncija iz organizma štakora.

Preliminarna istraživanja izvršili smo na ženkama bijelih štakora starosti 14-15 tjedana i težine oko 190 grama. Kompleksone smo primijenili u dozi od 0.5 do 4.0 mmola/kg tjelesne težine intraperitonealnim putem neposredno nakon interne kontaminacije radioaktivnim stroncijem. Otopina kompleksa bila je priredjena na dan aplikacije, a pH otopine podešen na 6-7. Stroncij-85 dali smo u dozi od 0.2 uCi (bez nosača), te kodjera intraperitonealnim putem. Životinje smo žrtvovali 72 sata kasnije. Količina stroncija-85 u mineraliziranim uzorcima skeleta služila je kao indikator tjelesne retencije radioaktivnog stroncija.

Rezultati tih pokusa prikazani su na tabeli 2. Primjena Na_2FIDA u dozi od 2 mmols/kg izazvala je sniženje skeletne retencije radiostroncija od oko 20%. Povišenjem doze tog kompleksa dobili smo slabije rezultate. Kompleks HIDA izazvao je u dozi od 0.5 i 1.0 mmol/kg znatnije sniženje skeletne retencije radiostroncija samo kad smo ga primijenili kao stroncijev kompleks. Kompleks HIDA nismo mogli primijeniti kao stroncijev kompleks, jer kod pH 7 u željenoj koncentraciji nije topiv u vodi.

U toku su dalja testiranja na većem broju eksperimentalnih životinja.

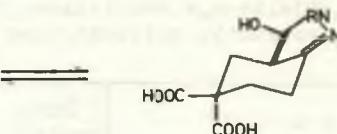
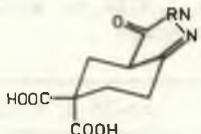
Tabela 2. Djelovanje kompleksna FIDA i HIDA na skeletnu retenciju radioaktivnog stroncija

G r u p a	Broj štakora	Sr-85 u skeletu	
		% doze*	% kontrole
Kontrola	23	56.5 ± 1.6	100.0
Na ₂ FIDA 1 mmol/kg	10	57.2 ± 3.7	101.0
2 mmol/kg	7	45.3 ± 1.8	80.1
4 mmol/kg	8	49.9 ± 1.7	88.3
Na ₂ HIDA 0.5 mmol/kg	4	50.7 ± 3.7	89.7
1 mmol/kg	5	58.8 ± 2.7	104.0
Na ₂ (SrHIDA) 0.5 mmol/kg	5	41.5 ± 2.5	73.4
1 mmol/kg	5	40.4 ± 3.0	71.5

* Aritmetička sredina ± standardna pogreška

LITERATURA

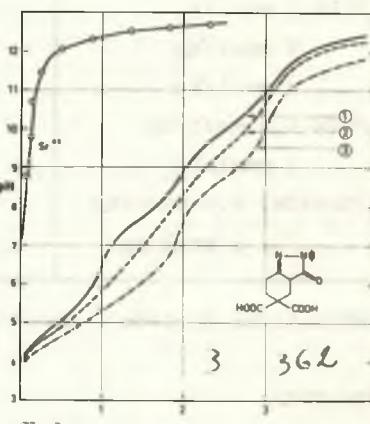
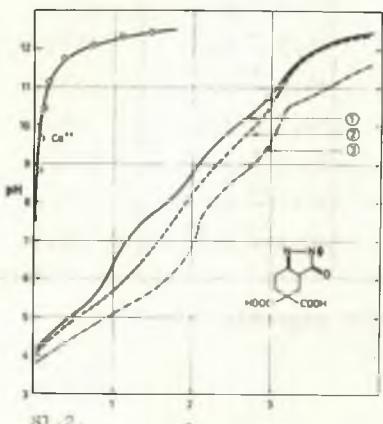
1. Dj.Škarić, V.Škarić, V.Turjak-Zebić, Z.Veksli, Croat.Chem. Acta 34 (1962) 75.
2. Dj.Škarić, V.Škarić, V.Turjak-Zebić, Croat.Chem. Acta 35 (1963) 143.
3. Dj.Škarić, V.Škarić, V.Turjak-Zebić, Croat.Chem. Acta 35 (1963) 267.
4. V.Škarić, V.Turjak-Zebić, M.Branica, Dj.Škarić, Croat. Chem. Acta 36 (1964) 221.
5. A.Catsch, International J.Rad.Biol.4 (1961) 75.
6. A.Catsch, Atomkernenergie, 7 (1962) 65.
7. S.Vojvodić, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu (1965).



I R = Ph

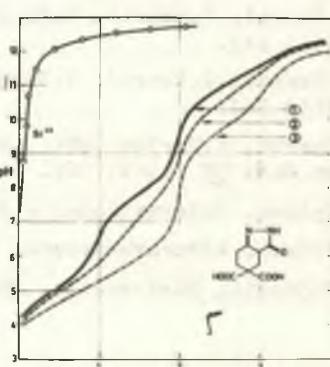
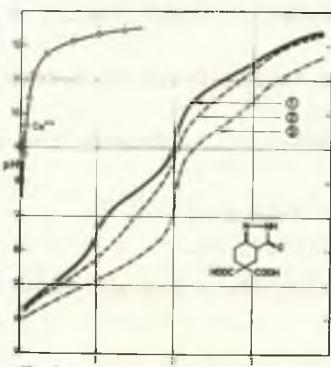
SI. 1.

II R = H



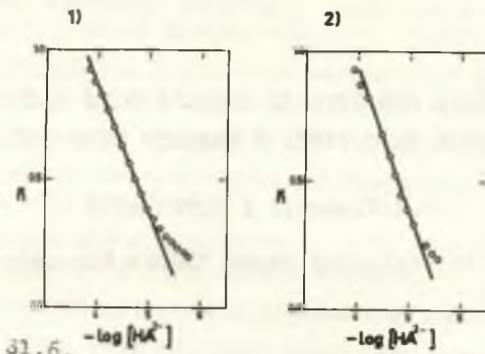
Potentiometric titration of 1) indoleone acid, 2) indoleone + Cd^{++} system at molar ratios 2/1, 3) 1/10. Abscissa = moles of NaOH added per mole of indoleone acid.

Potentiometric titration of 1) indoleone acid, 2) indoleone + Cd^{++} - Sr^{++} system at molar ratios 2/1, 3) 1/10. Abscissa = moles of NaOH added per mole of indoleone acid.

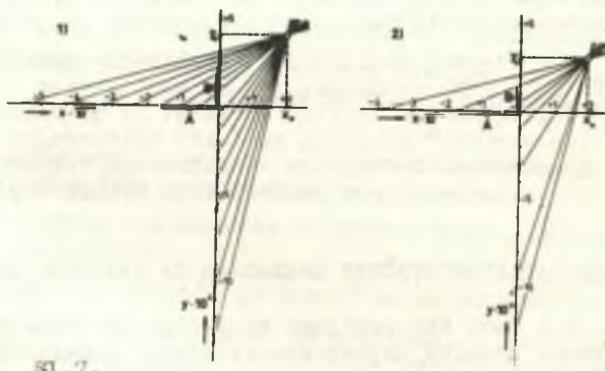


Potentiometric titration of 1) indoleone acid, 2) indoleone acid- Ca^{++} system at molar ratios 2/1, 3) 1/10. Abscissa = moles of NaOH added per mole of indoleone acid.

Potentiometric titration of 1) indoleone acid, 2) indoleone acid- Sr^{++} system at molar ratios 2/1, 3) 1/10. Abscissa = moles of NaOH added per mole of indoleone acid.



Degree of formation ξ as a function of concentration of ligand HA^{2-} for 1) HIDA- Ca^{2+} system and 2) FIDA- Ca^{2+} system at molar ratios 2:1.



Graphical determination of the stability constants for 1) HIDA- Ca^{2+} system and 2) FIDA- Ca^{2+} system at molar ratios 1:10.

SPOLJAŠNJE OZRAČIVANJE OSOBLJA KOJE OPSLUŽUJE
REAKTOR RA U VINČI U PERIODU 1963-1966.

M.M.Ninković i Z.Mininčić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. UVOD

Fredmet ovog rada je analiza spoljašnjeg ozračivanja osoblja koje je radilo na reaktoru RA u Vinči u poslednjih 4 godine, u toku kojih je reaktor bio u opštem remontu - 1963, odnosno u normalnom radu 1964, 1965. i 1966. U ovom razmatranju nismo se upuštali u analizu unutrašnjeg ozračivanja, kao ni procenu doza od beta zračenja na koži, što treba da bude predmet posebnih analiza.

Itri proceni spoljašnjeg ozračivanja operisano je samo s dozama od gama zračenja, jer je ozračivanje neutronima zanemarljivo. Celokupna analiza izvršena je na osnovu podataka doza ozračivanja* do kojih se došlo očitavanjem film- i penkalo- dozimetara. Razvijanje i očitavanje filmova vršeno je u Udseku za dozimetriju pod rukovodstvom Ivanke Mirić.

2. PREGLED KARAKTERISTIČNIH OPERACIJA NA REAKTORU RA

Fre nego što predjemo na izlaganje rezultata analize, daćemo kratak pregled najkarakterističnijih operacija, koje se povremeno ili po ustaljenom ritmu izvode na reaktoru, a pri kojima dolazi do znatnijeg ozračivanja osoblja: zamena termometarskih cevi i tehnoloških kanala sa gorivom: remont teškovodnih pumpi; čišćenje izmenjivača toplove; dekontaminacija i remont sistema za destilaciju teške vode; obrada i interni transport izvora kobalta aktivnosti oko 2 Kci.

Sem navedenih specifičnih poslova na reaktoru koji

* U ovom radu upotrebljavan je termin "doza ozračivanja" umesto termina "ekspoziciona doza" (dose d'exposition).

se obavljaju ritmom koji nameće režim rada reaktora i u kojima istovremeno učestvuje veći broj ljudi, svakodnevno se odvija niz drugih poslova manjeg obima, na primer:

- preženjenje i punjenje vertikalnih eksperimentalnih i drugih kanala u reaktoru raznim uzorcima;
- transport i isporuka ozračenih uzoraka;
- radovi oko horizontalnih eksperimentalnih kanala u hali reaktora;
- razne sitnije intervencije na pojedinim delovima reaktora i reaktorskih sistema;
- poslovi pri raznim akcidentima manjeg obima; itd.

Pri svim ovim radovima dolazi do ozračivanja osoblja, ali dnevnim dozama koje se najčešće kreću oko 10 mR, a redje i u manjem broju slučajeva dostižu vrednosti od 20 do 100 mR.

3. ANALIZA OZRAČIVANJA OSOBLJA

Analiza ozračivanja obuhvatila je sledeće elemente:

- a) doze ozračivanja - ukupne mesečne i godišnje, srednje i maksimalne mesečne i godišnje po čoveku;
- b) raspodela osoblja po arbitрерно izabranim godišnjim intervalima doza ozračivanja, i
- c) stepen izloženosti pojedinih grupa, odnosno radnih mesta.

Rezultati analize prikazani su na slikama 1-4.

Na slici 1. prikazani su grafički, u formi dijagrafma, podaci o ukupnim dozama ozračivanja osoblja po mesecima, kao i srednjim i maksimalnim dozama po čoveku i mesecima. Kako se može videti, ukupne mesečne doze kreću se između 5 i 15 R, sa izuzetkom maja i juna 1963. godine. Izrazito velike ukupne doze ozračivanja od 30, odnosno 80 R, u toku ova dva meseca, posledica su intenzivnih radova na opštem remontu i dekontaminaciji reaktorskih sistema koji su tada obavljeni. Uporedjenja radi navedimo da je ukupna junska doza iz 1963. godine veća od ukupne godišnje iz 1964. godine.

Na sl.1. dati su i dijagrani srednjih mesečnih doza ozračivanja po čoveku, iz kojih se vidi da su ove bile znatno

manje od maksimalno dozvoljene sa izuzetkom već pomenutog juna 1963. godine. Međutim, kao i obično, srednje neponderisane veličine nikada ne daju pravu sliku procesa koji karakterišu. Sastavni drugu sliku pružaju dijagrami maksimalnih mesečnih doza po čoveku, iz kojih se vidi da je bilo slučajeva kada su pojedinci izlagani dozi ozračivanja i desetostruko većoj od maksimalno dozvoljene mesečne (jun 1963). Isto tako zapaža se, idući po mesecima i godinama, da ova veličina pokazuje tendenciju približavanja maksimalno dozvoljenoj, tako da su već prošle godine samo u dva slučaja njene vrednosti bile veće za oko 50%. Ovo se može protumačiti kao rezultat bolje raspodele i organizacije poslova kao i aktivne dozimetrijske kontrole izvodjenja svih poslova.

Na slici 2. prikazani su dijagrami ukupnih godišnjih, srednjih i maksimalnih doza ozračivanja po čoveku, takođe godišnjih. Na prvom dijagramu se vidi da su ukupne godišnje doze u 1966., 1965. i 1964. godini bile vrlo bliske i iznosile oko 80 R, dok je u toku 1963. godine ova veličina bila više nego dvostruko veća iz pomenutih razloga. Maksimalne doze ozračivanja po čoveku iznosile su oko 3,5 R sa izuzetkom 1963. godine, kada su ove bile oko 6 R.

Na slici 3. prikazani su dijagrami raspodele osoblja po arbitрерно izabranim intervalima ukupnih godišnjih doza ozračivanja. Kako se zapaža, većina osoblja - oko 95%, bila je izložena ukupnim dozama manjim od 2 R, a samo oko 5% osoba izlagano je dozama između 2 i 5 R. Izuzetak čini 1963. godina u kojoj je taj odnos 70% : 30%.

Konačno na slici 4. dati su dijagrami koji pokazuju stepen izloženosti zračenju osoblja na pojedinim radnim mestima na reaktoru.

4. ZAKLJUČAK

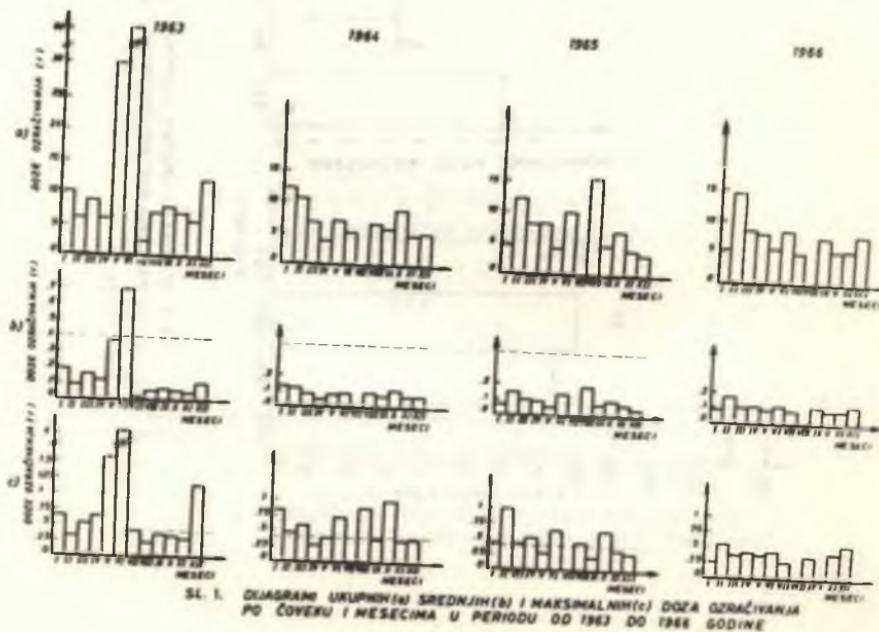
Izložena analiza pruža jasnu sliku o nivoima doza ozračivanja osoblja reaktora za protekle četiri godine. Pretpostavljujući da se u prvoj aproksimaciji mogu zamemariti doze od unutrašnjeg ozračivanja - što je sastavno realno, s obzirom na nivo kontaminacije, učestanost radova u kontaminiranoj atmosferi, kao i upotrebu zaštitne opreme - rezultati ove analize mogu se posmatrati sa aspekta maksimalno dozvoljenih doza. Gledano sa te strane zapaža se da su u proteklom četvoro-godišnjem periodu, samo četiri lica bila izložena dozama ozračivanja većim od maksimalno dozvoljene, dok je oko 95% radnog osoblja, u istom periodu, bilo izlagano ukupnim dozama manjim

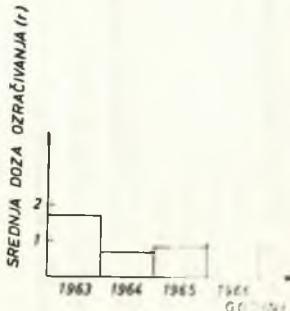
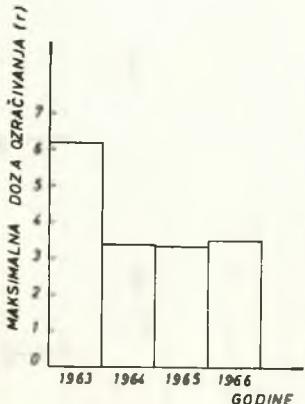
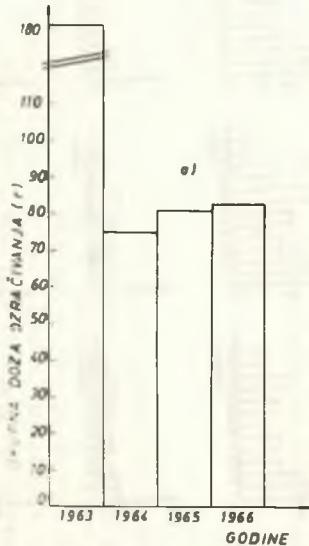
od 2 R/god.

Permanentno praćenje osnovnih parametara koji karakterišu ozračivanje osoblja na reaktorima, predstavlja pouzdanu kontrolu i proveru efikasnosti sistema zaštite i rigurozne dozimetrijske kontrole, koja po pravilu treba da prati sve operacije u kojima može doći do manjeg ili većeg ozračivanja ljudstva.

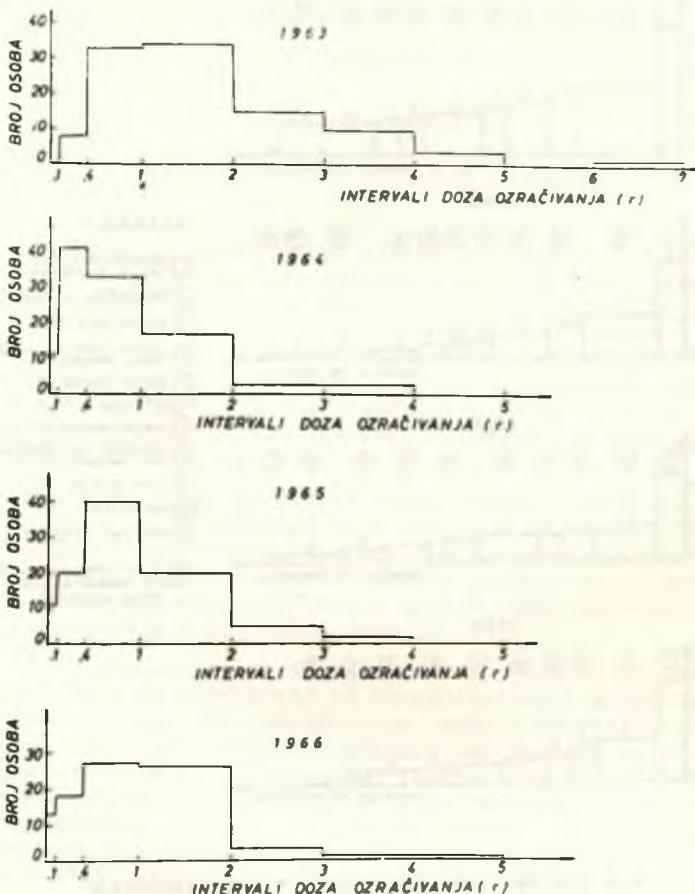
5. LITERATURA

1. B.K.Kovalejenko i dr., Atomnaja Energija, avgust 1962, 152.
2. W.B.Woollen and al. AERE-R 4528.
3. G.Cowper and al. AECL-2540.

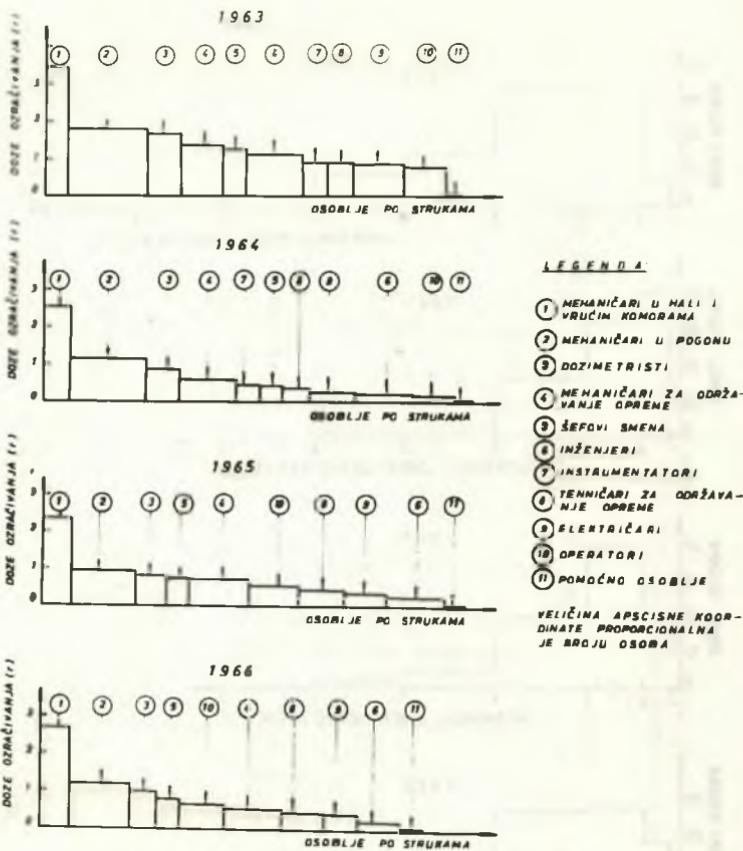




SL. 2. DIJAGRAMI UKUPNIH GODIŠNJIH DOZA OZRAČIVANJA a)
MAKSIMALNIH PO ČOVEKU b) I SREDNJIH PO ČOVEKU c)



SL. 3. DIJAGRAMI RASPODELE OSOBLJA PO ARBITRERNO
IZABRANIM INTERVALIMA GODIŠNJIH DOZA OZRAČIVANJA



SL. 4. DIJAGRAMI SREDNJIH GODIŠNJIH DOZA OZRAČIVANJA OSOBLJA PO STRUKAMA U PERIODU OD 1963 DO 1966 GODINE

UKLANJANJE NISKIH AKTIVNOSTI NEKIH PRODUKATA
FISIJE I KOROZIJE IZ VODE

I.Strohal i D.Nothig

Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Problem odredjivanja niskih aktivnosti u vodama, kako otpadnim tako i riječnim odnosno u morskoj vodi, eksperimentalno je povezan uz procese koncentracije istraživanih radionuklida. Budući da zbog niskih aktivnosti nije moguće u najvećem broju slučajeva mjeriti aktivnosti u malim volumenovima ili direktno u vodi, to se do sada pokušavalo pronaći adekvatne metode koncentriranja radiokontaminanata. Neke od ovih metoda biće su primjenjene s više ili manje uspjeha i u svrhu čišćenja kontaminiranih voda.

Uz mnoge druge metode dosta pažnje u literaturi /1/ bilo je posvećeno i metodama koje baziraju na koprecipitaciji radionuklida s određenim talozima. Pokušavalo se naći najpogodnije taloge koji će imati najveće prinose na koprecipitaciji određenih radionuklida, a koji bi takodje bili pogodni i s ekonomskog i biološkog aspekta.

U sklopu ovih istraživanja važno mjesto zauzimaju i rezultati koji su postignuti za koprecipitaciju s raznim hidroksidima. Međutim, ova istraživanja, osim u izuzetnim slučajevima /2/, nisu bila provedena sistematski tako da se o ovim procesima ne može dobiti neka opća slika. Posebno je ovdje interesantno napomenuti, da zbog velikih varijacija u sistemima gdje se takove metode primjenjuju objavljeni rezultati ne mogu biti primjenjeni na razne uslove. Dok je npr. pH vrijednost rijeke u slabo kiseloj oblasti, dotle kod primjene ovih metoda na morskou vodu treba osim pH vrijednosti (okc 8,5) uzeti u obzir i činjenicu da je morska voda medij koji ima sva obilježja jakog elektrolita. Naša istraživanja bila su zbog toga usmjereni na sistematsko ispitivanje ovih procesa.

EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimenti su bili radjeni sa radionuklidima mangan-54, kobalt-57, rutenij-106, europij-152 i protartinij-233, a u kojima bili su uzeti $Zn(OH)_2$, $Be(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, $La(OH)_3$ i $Ti(OH)_4$. U vodenе sisteme u kojima su se našzili spomenuti radionuklidi bili su dodavani ioni zinka, berilija, željeza, lantana ili titana, a taloženje njihovih hidroksida bilo je vršeno kod raznih pH vrijednosti. Nastali talog hidroksida bio je centrifugiranjem odvojen od vodenog sistema i nakon toga bilo je mjerena radioaktivnost u pojedinim talozima. U svakom pojedinom eksperimentu bio je primjenjen samo jedan radionuklid. Mjerenja aktivnosti vršena su na "well" tipu scintilecionog brojača. Na osnovu tako dobivenih vrijednosti bili su izračunati prinosi koprecipitacije kod raznih uslova.

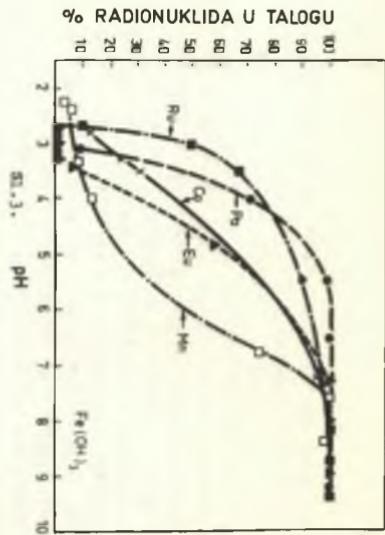
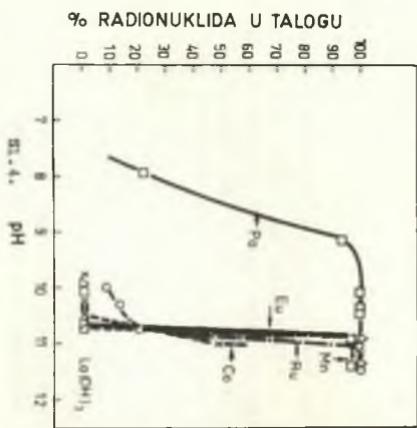
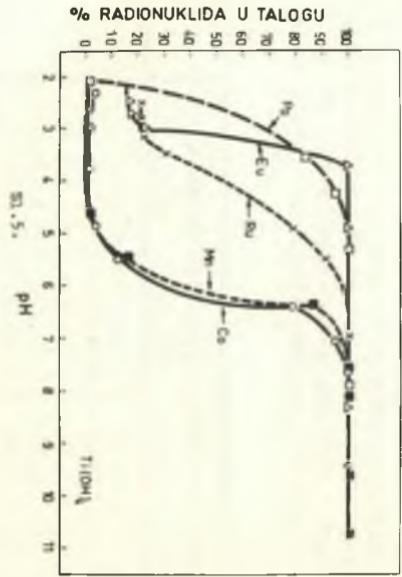
REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja prikazani su na slikama 1-5. Iz spomenutih rezultata može se zaključiti, da postoji stanovašta selektivnost pojedinih taloga kod raznih pH vrijednosti. Vidljivo je da hidroksidi željeza i lantana, te titana u potpunosti povlače sve ispitivane radionuklide u alkalnoj sredini s napomenom da kod lantan hidroksida to počinje tek kod pH = 10,7. Hidroksidi cinka i berilija ne povlače potpuno mangan i kobalt, te je time i njihova primjena stavljena u drugi plan. Naime, postoji mogućnost da se oni uz određene uslove primjene ipak koriste sredstva za frakciono izdvajanje pojedinih radionuklida. Svakako da je najinteresantniji željezni hidroksid, jer ovi procesi često dolaze u prirodi.

Radionuklidi koji su bili ispitivani u ovim eksperimentima posebno su interesantni zbog radiokontaminacije sjevernog Jadrana. Koprecipitacija spomenutih radionuklida iz morske vode odvija se pod nešto izmjenjenim uslovima. Rezultati koprecipitacije iz morske vode prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1.

hidroksid	% koprecipitacije pojedinih radionuklida			
	Eu-152	Co-57	Mn-54	Ru-106
$Be(OH)_2$	98.4	13.0	13.0	92.7
$Zn(OH)_2$	99.7	81.7	71.3	94.9
$Fe(OH)_3$	99.9	98.2	98.6	95.7
$La(OH)_3$	99.4	63.5	55.0	89.6
$Ti(OH)_4$	99.9	98.2	90.5	91.5



REZULTAT JEDNE ANKETE SPROVEDENE MEĐU DOZIMETRISTIMA
INSTITUTA "BORIS KIDRIČ" U VINČI

A. Matijašić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Brza i tačna procena radijacione situacije koja nastaje posle eksplozije nuklearnog oružja osnovni je uslov za sprovođenje efikasne zaštite ljudstva boračkog sastava i civilnog stanovništva. Pod radijacionom situacijom podrazumevaju se okolnosti nastale posle eksplozije nuklearnog oružja, tj. povećanog gamma fona usled rasprostiranja radioaktivnog oblaka, tj. taloženja radioaktivnih padavina.

Ne ulazeći detaljnije u problem kompletne dozimetrijske kontrole koju je u tim uslovima potrebno ostvariti, zadržaćemo se na jednostavnoj kontroli povećanja fona zračenja u odnosu na normalnu situaciju pre eksplozije, odnosno pre rasprostiranja radioaktivnog oblaka i taloženja radioaktivnih padavina.

Ove promene može registrovati svaka grupa ili organizacija koja u svakodnevnoj mirnodopskoj praksi koristi dozimetske uređaje, ili organizacija koja u ovakvim, ekstremnim - okolnostima sprovodi dozimetrijsku kontrolu.

Prvi signal o ovom dogadjaju jeste povećanje intenziteta game zračenja u odnosu na uobičajena merenja na datom mestu.

Rasprostiranje radioaktivnih taloga u nekom rejonu odmah će se otkriti pomoću osetljivih dozimetarskih uređaja. U ovakvoj situaciji čak i aktivnost biološki bezopasnog radioaktivnog oblaka koji se nalazi u stadijumu rasejevanja, može biti dovoljna da izazove pomenute koje će za sobom povući potrebu specijalnih kontrolnih mera sa ciljem da se razjasne izvori ovakvih poremećaja.

Otkrivanje i registrovanje povećanog fona zračenja nije dovoljno da se stvori jednoznačan zaključak o karakteru izvora zračenja.

Izvori zračenja mogu biti:

I Uopštena procena

U s l o v	Z a k l j u č a k
Rezultati merenja sa otvorenim i zatvorenim oknom detektora poklapaju se	Otkriven je prolazak radioaktivnog oblaka; nije došlo do taloženja radioaktivnih padavina
Rezultati merenja ne poklapaju se; detektor sa otvorenim oknom pokazuje veće vrednosti nego sa zatvorenim oknom	Došlo je do taloženja radioaktivnih padavina; lokalitet je kontaminiran radioaktivnim padavima

II Detaljnija procena

Uslov: Gama fon raste sa vremenom

Pokazivanja instrumenta	Z a k l j u č a k
Pokazivanje detektora sa zatvorenim i otvorenim oknom brojača poklapaju se	Otkriveno je približavanje radioaktivnog oblaka; nije još počelo taloženje radioaktivnih padavina ali se ne isključuje ova mogućnost
Vrednosti koje pokazuje detektor sa otvorenim oknom brojača rastu brže nego vrednosti koje se registruju sa zatvorenim oknom	Otkriven je radioaktivni oblak, u toku je taloženje radioaktivnih padavina; vazduh je kontaminiran radioaktivnim materijalom

Uslov: Intenzitet doze gama zračenja stalno je povećan

Pokazivanje instrumenta	Z a k l j u č a k
Vrednosti koje pokazuje detektor sa otvorenim oknom brojača više su nego sa zatvorenim oknom	Otkrivena je kontaminacija tla dugoživećim radioaktivnim izotopima prisutnim u materijalu talloga radioaktivnih padavina

Uslov: Intenzitet gama zračenja opada sa vremenom

Pokazivanja instrumenta	Z a k l j u č a k
Vrednosti koje pokazuje detektor sa otvorenim i zatvorenim oknom brojača poklepaju se	Radioaktivni oblak je prošao; nije došlo do taloženja radioaktivnih padavina
Vrednosti koje pokazuje detektor sa zatvorenim oknom brojača smanjuju se brže nego sa otvorenim oknom	Radioaktivni oblak se udaljava; traje taloženje radioaktivnih padavina; postoji znatna radioaktivna kontaminacija vazduha
Vrednosti koje pokazuje detektor sa otvorenim oknom brojača ostaju više nego sa zatvorenim oknom	Radioaktivni oblak je prošao; teren je kontaminiran radioaktivnim padavinama

* Na ovom mestu u zaključcima navedeni su odgovori koje je trebalo upisati za zadate uslove.

Rezultati ove ankete, sprovedene medju dvadesetak dozimetrista, bili su veoma loši. Ni jedan anketirani nije dao sve tačne odgovore, a broj tačnih odgovora na svakom listu nije bio veći od 10%.

Ne želim na ovom mestu da ulazim u analizu ovakve situacije, jer se ne smatram kompetentnim za takve procene, osim što izvesno opravdanje mogu naći u nepoznavanju osnovnih elemenata i karakteristika nuklearne eksplozije, što se nije nalazilo u nastavnom programu predviđenom za obuku dozimetriста.

Medutim, na osnovu iskustava sa polaznicima kurseva za potrebe dokvalifikovanja profesionalnog osoblja Civilne zaštite, koje je organizovala Škola za primenu izotopa, mislim da bi ovakva anketa, medju njima sprovedena, dala još negativnije rezultate.

Ovim izlaganjem želeo sam samo da ukažem na važnost ispravnog programiranja nastave i pravilne obuke ljudi od čije će sposobnosti i stručne spremnosti u dator, neželjenoj situaciji, zavisiti zdravlje i životi velikog broja ljudi.

NOVI MERILAC BRZINE EKSPozICIJE SA CdS

M.Mihailović, M.V.Mihailović i J.Pahor

Univerza u Ljubljani i
Nuklearni institut "Jožef Stefan", Ljubljana

1. UVOD

Več duže vremena je pokušavano, da se fotoprovodnost CdS iskoristi za merenje brzine ekspozicije. Element je bio: (1) srazmerno osetljiv na radijacije, za napon oko 50 V na celici tako, da bi registracija doze bila srazmerno jednostavna i (2) opseg približno iste osetljivosti je veliki, tako da je bilo moguće meriti direktno brzine ekspozicije u opsegu od 1 Roentgen/čas do $2 \cdot 10^5$ Roentgen/čas.

Sistematična ispitivanja osobina celica su pokazala da CdS celice imaju sledeće neugodne osobine:

(1) Nestabilnost osetljivosti - Promene osetljivosti dve nove CdS celice prikazane su na sl.1. Celica No.1. je posle približno $1,5 \cdot 10^6$ R postala neupotrebljiva, osetljivost celice No.2. je pala za 35% posle ozračivanja dozom $1 \cdot 10^6$ R.

(2) Spornost odgovora - Vremenski dijagram odgovara CdS celice na dose rate prikazan je na sl.2. "Rise time" je približno 10 sekundi pri prvom merenju izvršenom posle više dana i oko 5 sekundi ako se merenja vrše u razmacima manjim od par časova. Većina dijagnostičkih rentgenskih merenja traje manje od par sekundi, tako da su CdS celice neupotrebljive za merenje promenljivih polja, jer bi se takvo merenje moralo čekati u svakoj tački bar nekoliko sekundi.

2. STABILIZACIJA OSETLJIVOSTI I OSOBINE STABILIZIRANIH CELICA

(1) Stabilizacija osetljivosti - Nove CdS celice imaju nestabilnu osetljivost, što je pokazano na sl.1. Razvijena je metoda (1) pomoću zračenja celica u odgovarajućim poljima,

Kojom se postiže da se odgovor stabilizira. Na slici 3. prikazan je odgovor stabiliziranih celica, kao funkcija vremena. Obe celice imale su konstantan odgovor u dugom periodu vremena koji je odgovarao ekspoziciji od više miliona roentgena.

(2) Osetljivost - Osetljivost je bila ispitana Co gama-zracima i X-zracima. Merenja su vršena sa stabilizovanim čelicama. Napon na čelicama je menjan i eksperiment je ponovljen za više napona na čelicama i dose-rate ima od 107, 140, 184, 228 i 370 r/min. Rezultati jednog takvog merenja su pokazani na slici 4. Provodnost čelice pokazuje saturaciju. Što je viša brzina ekspozicije, to saturacija nastupi ranije. Čelica na slici pokazuje zasićenje na oko 40-55 V. Za dobijanje optimalnih uslova, merenje osetljivosti treba izvršiti za svaku čelicu.

Linearnost CdS čelica kao funkcije brzine ekspozicije je takođe bila ispitivana. Rezultati se vide na slici 5.a, b.

(3) Zavisnost od temperature je merena upotrebljavajući izvor X-zraka. Čelica je stavljena u termostat i temperatura je varirana od 19° do 43°C . Relativne promene osetljivosti iznose $0,3^{\circ}\text{C}$, što je sasvim zadovoljavajuće s gledišta medicinske upotrebe.

(4) Energijska zavisnost osetljivosti CdS je prikazana na sl.6. Pokazalo se da čelice imaju maksimalnu osetljivost pri približno 4,2 raspolovne debljine bakra (170 keV). Ova zavisnost je dobra kao rezultat superpozicije više efekata: absorpcije u Cd, absorpcija u metalu koji zatvara čeliju, te sisanje elektrone na elektrodama. Problem najboljeg filtra za izglađivanje energijske zavisnosti treba rešiti.

3. METODA ZA POSTIZANJE BRZOG ODGOVORA

"Eliki "rise time" (5 sek.) u odgovoru čelice na fluks zračenja je rezultat dva efekta: (1) naraštanje broja nosilaca naboja pod uticajem zračenja i (2) rekombinacije elektrona i rupa. Prvi efekat je izrazit u začetku, gde usled male koncentracije poraste dovoljno, rekombinacije uspostavi struju, koja je proporcionalna fluksu radijacije. Odgovor, kao funkcija vremena je krivulja oblika

$$I(t) = I_0 (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

gde je I_0 ekspoziciji.

Problem je naći odmah I_o iz merenja u nepoznatom trenutku t . Jedan od prostih uspešnih načina rešavanja ovoga problema je sledeći: diferenciranje izraza (1) po vremenu nam da još jednu informaciju o struji i vremenu t . Jednačina za izvod zajedno sa jednačinom (1) da sledeći izraz za I_o

$$I_o = I(t) + \gamma \frac{dI}{dt} . \quad (2)$$

Dakle, nezavisno od trenutka merenja, vrednost I_o , koja je funkcija brzine ekspozicije može se sastaviti iz merene struje i izvoda.

Problem sastavljanja I po jednačini (2) je rešen na analognoj računskoj mašini u Nuklearnom institutu "J. Stefan". Sastavljen je krug prikazan na slici 7. Funkcije operacijskih poječavača su označene na shemi. Rezultati sastavljanja su pokazani na sl.8. i 9. Sl.9. predstavlja $I(t)$ i $dI(t)/dt$. Direktni signal iz čelice je prikazan na slici 9. gore, dok slika dole predstavlja odgovor kruga na sl.7. Novi "rise time" je manji od 0.5 sekunde.

4. ZAKLJUČAK

Rešavanjem problema stabilnosti i skraćivanjem "rise time"-a fotoprovodnički element CdS ima šanse da postane vrlo dobar merač brzine ekspozicije. Njegove osobine su: jednostavni krugovi, vrlo male dimenzije, napajanje iz male baterije na jednoj strani i veliki opseg osetljivosti ($1\text{r}/\text{čas} \pm 10^6 \text{r}/\text{čas}$) na drugoj strani. Ojačavanje signala verovatno će znatno pomeriti donju granicu upotrebljivosti.

LITERATURA

- (1) M.Mihailović, Pripremljeno za objavu.

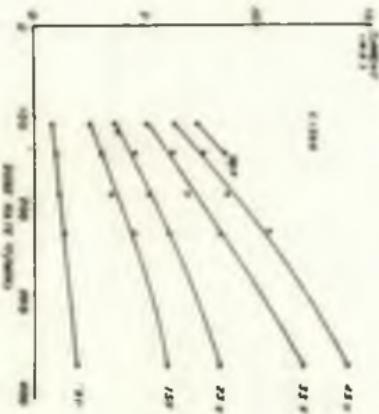
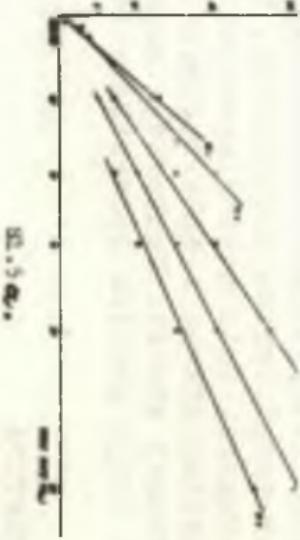
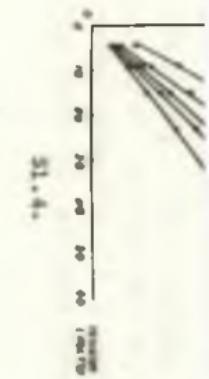


图.5
图.6

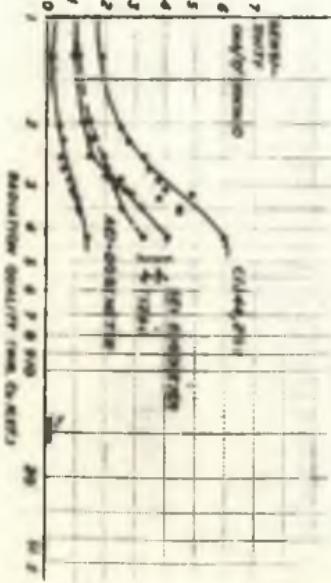
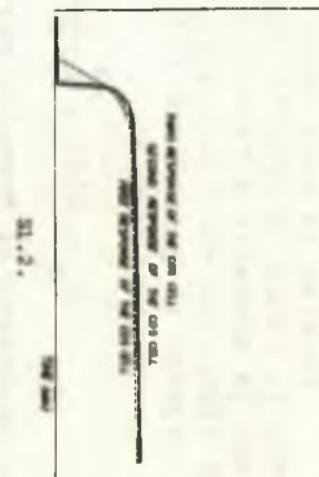
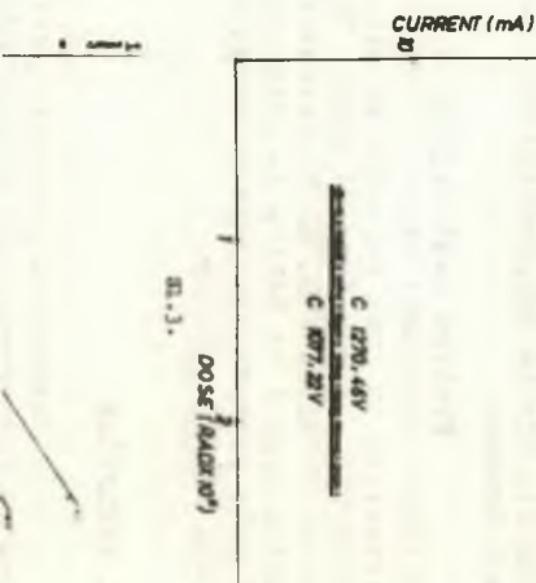
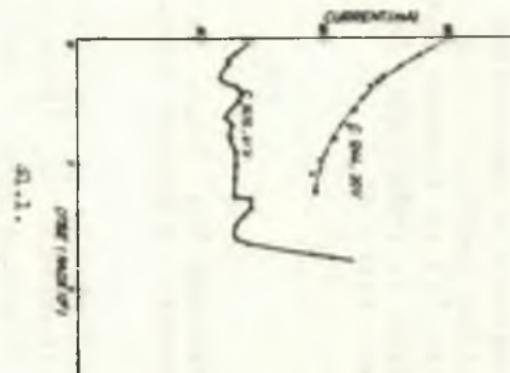
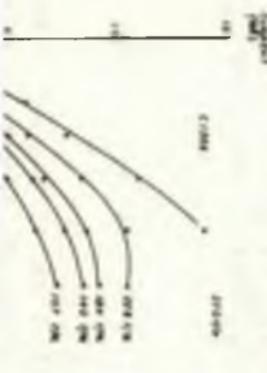
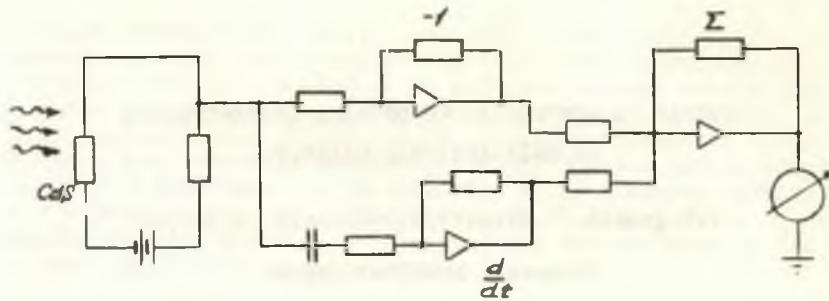
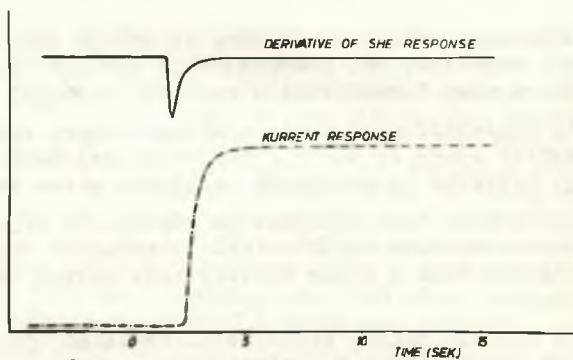


图.7

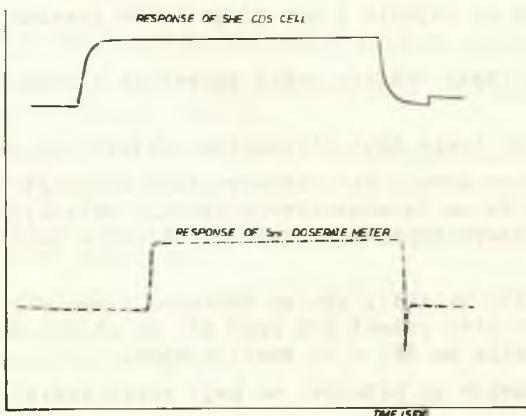




S1.7.



S1.8.



S1.9.

UREĐAJ ZA SIMULACIJU POVRŠINSKE KONTAMINACIJE
OD RADIOAKTIVNIH PADAVINA

V.Vojvodić, V.Stibilj, S.Ivanković, R.Buljan

Brodarski institut, Zagreb

UVOD

Efikasna zaštita od štetnog delovanja gama zračenja radioaktivnih padavina, RP, pretpostavlja izvesna prethodna znanja, koja se mogu formulirati u nekoliko pitanja:

- Koja su to najzaštićenija mesta u objektu (npr. kuća), gde treba smestiti ljude da bi bili minimalno izloženi gama zračenju (tj. potrebno je poznavati topološku slike doze).
- Kakvi zahvati mogu biti učinjeni na postojećim objektima, da bi se u smislu zaštite od RP učinili maksimalno otpornim, a poštivajući pri tome i druge zahteve koje objekt treba da zadovolji.
- Kakav je u slučaju nužde, prioritetni redosled operacija zaštite od RP (prioritetna dekontaminacija, vremenski faktor itd.).
- Koje površine na objektu i oko njega treba posebno štititi od RP.
- Kakvi su kvaliteti zaštite nekih prirodnih i drugih skloništa.
- Kakva uputstva treba dati korisnicima objekta za slučaj nužde.
- Kakvi se podaci moraju dati konstruktoru skloništa i drugih objekata, da bi se uz minimalnu potrošnju materijala i finansijskih sredstava napravio optimalni objekt u smislu zaštite od RP (Itd.).

Kao što se vidi, ovo su vanredno važna pitanja, na koje odgovor mora biti poznat pre nego što je objekt doživio sudbinu kontaminacije sa RP, a to znači u miru.

Postavlja se pitanje, na koji način rešiti ovaj problem.

Računske metode daju, zaista, samo vrlo grubu orijentaciju iz sledećih razloga: geometrijska konfiguracija kontaminiranih površina (izvora) i apsorbera je gotovo u pravilu toliko kompleksna, da se u proračun ne može ući da podacima boljim od druge aproksimacije. S obzirom da su zakoni transporta gama zračenja kroz materiju eksplonencijalni, a pošto gornji podaci ulaze u eksponent, to je očigledno da se linearna aproksimacija preslikava u eksponencijalnu, tj. i greške rastu eksponencijalno. Zaključak je očigledan: ovaj zadatak može se rešiti samo eksperimentalnim metodama.

EKSPERIMENTALNE METODE

Prva od ovih metoda sastojala bi se u tome da se reproducira očekivana kontaminacija, kontaminacijom površina sa smešom fisionih produkata. Zbog poznatih razloga ovakav se eksperiment apriori odbacuje, ne samo što bi bio iznimno skup, nego i zato što bi se pojavili takvi problemi dekontaminacije kakve još naša praksa ne poznaje. Druga metoda zasniva se na rasporedjivanju nekoliko tačkastih izvora po površini. Za slučaj većih površina trebalo bi raspolagati velikim brojem ovakvih tačkastih izvora, a problem manipulacije bio bi vrlo težak. Na prvi pogled izgleda da je simuliranje površinske kontaminacije gotovo tehnički neostvarljivo. Međutim, nadjeno je jedno elegantno rešenje sa putujućim tačkastim izvorom, na osnovu kojeg se mogu simulirati površinske kontaminacije objekta i njegove okoline u celini i parcijalno, u kojem su gore navedene poteškoće izbegnute.

Princip merne metode sa putujućim tačkastim izvorom.

Pošto je doza skalarna aditivna veličina, može se dokazati sledeća teorema (sl.1).

Teorema 1. Ako tačasti izvor aktivnosti A_0 putuje po površini S , sa brzinom v , i ako celu površinu prebriše u toku vremena T , tada će on fiksnoj tački N saopštiti isto toliku akumuliranu dozu D , koliko i stvarno kontaminirana površina specifične aktivnosti

$$\sigma(x, y, z) = \sigma_0 \left(\frac{v_0}{v} \right) \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad (1)$$

u istom vremenskom intervalu T

gde je:

$$G_o = \frac{A}{S} \quad (2)$$

$$V_o = \frac{L}{T} \quad (3)$$

- l - ukupna dužina putanje koju tačkasti izvor prevali u toku vremena T od tačke A do tačke B,
 v - trenutna brzina izvora na mestu (x, y, z) u trenutku $0 < t < T$,
 do - srednji korak izmedju susednih sukcesivnih putanja,
 d - korak izmedju dva sukcesivna dela putanje na mestu (x, y, z) .

Iz jedn.(1) se vidi da se specifična aktivnost, G , može regulisati promenom brzine izvora, v , ili promenom koraka d . Drugi način je bolji od prvog, jer se može fiksirati, e brzina v , ne može sasvim dobro, zbog inercije sistema i operatora.

Na ovom principu radi uredjaj za simuliranje površinske kontaminacije.

Način rada uredjaja (sl.1). Na površinu S postavljen je crevo dužine l, na način koji najbolje odgovara pretpostavljenoj kontaminaciji. Izvor se normalno nalazi u jednoj kapsuli, koja je smeštena u kontejneru K. U trenutku $t = 0$, jedinicom za upravljanje U, daje se komanda pogonskoj jedinici, PJ, da stavi u pogon pogonski fluid (etil-glikol), koji sa svoje strane stavlja kapsulu sa izvorom u kretanje. Na taj način izvor počinje svoje kretanje sa jednolikom brzinom, v , od tačke A do tačke B i zaustavlja se u graničniku G. Obrtanjem smera protoka fluida izvor se vraća po istoj putanji u kontejner. Time je jedan ciklus završen. Za vreme kretanja izvora u mernoj tački N, postavljeni su dozimetri (TLD, koje je razvio prof. Mihailović), koji u toku $2T$ ekumuliraju dozu D. Kontrola položaja izvora vrši se sa 5C sondi (s_1), koje svoje informacije predaju jedinicama "KONTROLA". (Ovaj uredjaj je razvijen u Brodarskom institutu u Zagrebu).

Tačkasti radioaktivni izvor. Za dva izvora gama zračenja kažemo da su slična ako su im slične (ili iste) funkcije selebljenja. U tom se slučaju dva izvora mogu zamjenjivati u smislu merenja zaštitnih osobina raznih apsorbera. Faktori gomilanja i refleksije (albedo), manifestuju se na isti način. U tom smislu, slični izvori izvoru RF su Ra-226 i Co-60. S ob-

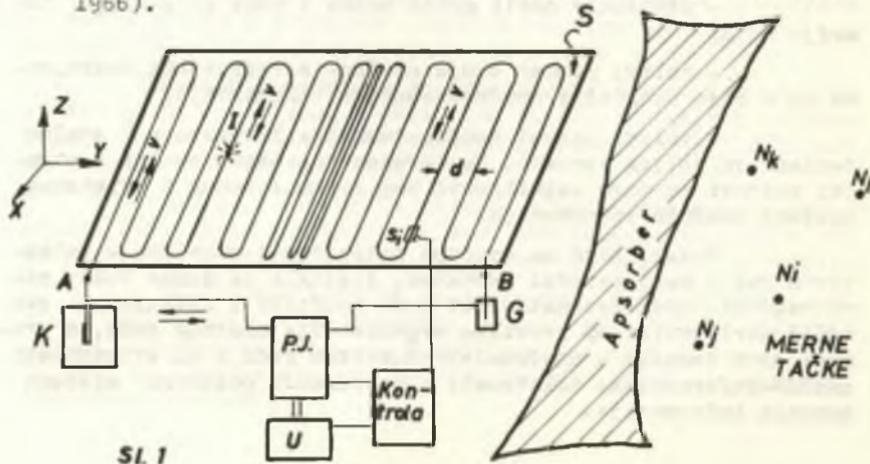
zirom na komercijalnu raspoloživost drugog i njegovu relativno malu cenu, kao i potreban veliki intenzitet, mi smo se odlučili za Co-60 (7 Ci). Jačina izvora od 7 Ci predstavlja tehnički kompromis između oprečnih zahteva zaštite operatora, manje težine kontejnera i lakoće operativnosti, nasuprot potrebnog vremena merenja i tačnijih mernih podataka.

ZAKLJUČAK

Uredjaj za simulaciju površinske kontaminacije od RP omogućuje merenje faktora zaštite, snimanje topološke slike doznih polja i generiranje niz drugih podataka potrebnih za projektovanje zaštite od gama zračenja RP. Merenjima pomoći ovog uredjaja mogu se dobiti podaci o prioritetnoj dekontaminaciji oko rovova, skloništa, kuća, transportnih sredstava itd. Uredjajem se može oceniti stepen valjanosti nekog objekta za slučaj zaštite od gama zračenja RP. Njegova upotreba ne stvara nikakvu kontaminaciju, pa zbog toga problemi dekontaminacije ne postoje.

LITERATURA

1. L.V.Spencer: Structure Shielding Against Fallout Radiation from Nuclear Weapons, NBS, Monograph 42; Washington (1962).
2. Radiation Shielding Analysis and Design Principles as Applied to Nuclear Defense Planning; Office of Civil Defense and Kansas State University; TR-40, Washington (November 1966).



PROBLEMATIKA NAUČNO-TEHNIČKIH INFORMACIJA U OBLASTI RADILOŠKE ZAŠTITE

V. Jevremović-Vladiković

Institut za naučno-tehničku dokumentaciju i
informacije, Beograd

Korišćenje savremenih iskustava i dostignuća uslov je za unapredjenje naučno-istraživačkog rada i podizanje produktivnosti, čime se jedino može ići ukorak sa razvijenim zemljama, a osnovu za korišćenje naših i stranih iskustava predstavlja savremeno organizovan sistem naučno-tehničkih informacija, koji u društvenoj podeli, naučno-istraživačkog rada ima svoje mesto.

Naučno-informaciona delatnost je danas očigledna neophodnost pristekla iz nekoliko činilaca (ovo se odnosi i na oblast radiološke zaštite):

- sve brži razvoj nauke i tehnike i povećanje obima naučno-istraživačkog i razvojnog rada;
- faktor "zastarevanje nauke" - danas je sve evidentnija činjenica;
- stvaranje novih grana nauke i veće prožimanje izmedju njih;
- veliki porast broja naučno-istraživačkog kadra, koje su u radu neophodne naučno-tehničke informacije;
- veliki porast naučno-tehničke literature i stalna tendencija daljeg porasta. To ogromno bogatstvo naučni i stručni kadrovi ne mogu asimilirati bez organizovanog i efikasnog sistema naučnih informacija.

Nauka, čije su osnovne zakonitosti razvitka - kolektivan rad i međunarodni karakter, dospjela je danas takav nivo razvoja, kada produktivnost rada naučnika i inženjera u sve većoj meri zavisi od pravilne organizacije naučnog rada, od primene nove tehnike u naučno-istraživačkom radu i od efikasnosti naučno-informacione delatnosti i savremenih postavki sistema naučnih informacija.

Pored kreativne komponente, u naučno-istraživačkom radu vrlo su važna dva činioca: sakupljanje dostignuća, odnosno informacija i njihova primena.

Brzi porast naučno-tehničkih informacija dovodi do toga da istraživač u oblasti radiološke zaštite, kao i u drugim oblastima, provodi veći deo svog radnog vremena ne na istraživanje već na upoznavanje naučno-tehničke literature i traženje potrebnih informacija. Tako prema podacima, američki hemičar troši na traženje informacija oko 44% svoga radnog vremena, dok na eksperimentalni rad ukupno 36%. U SSSR, zahvaljujući vrlo dobro organizovanom sistemu naučnih informacija, stručnjaci na traženje informacija utroše 22% vremena. Ne raspolažemo podacima kakva je situacija kod nas, ali možemo sa sigurnošću da tvrdimo da je taj procenat zabrinjavajuće veliki. Pored toga postavlja se pitanje i koliko se u radove unoši novih, egzaktnih informacija i koliko svi ti radovi imaju kao bazu naučne informacije.

U uslovima kada naučno-istraživački i razvojni rad svake godine dobija sve složeniji karakter, neopravданo dupliranje istraživanja negativno se odražava na opšti tempo razvoja nauke i tehnike. Prema orientacionim podacima, danas se na neopravданo dupliranje u SAD utroši 10% svih sredstava, koja se u zemlji daju na naučno-istraživačke i opitno-konstruktorske radove. Prema drugim podacima, američki naučnici utroše na neopravданo dupliranje 30-80% radnog vremena.

Stalni porast naučno-tehničkih informacija kao i složenost informacionih problema istraživanja stvorili su takvo stanje da dovoljno brza i iscrpna informacija može da bude obezbedjena samo uz uslove razrade i široke primene principijelno novih metoda i sredstava, specijalno namenjenih obradi i sintezi informacionog materijala.

Praksa potvrđuje da produktivnost rada istraživača znatno raste kada izbor i prethodnu analizu potrebnih informacija vrše naučni radnici i inženjeri, specijalno pripremljeni za vršenje ovog vida naučnog rada.

Danas je evolucija naučno-informacione delatnosti do stigla takvu etapu, kada je na bazi ove delatnosti počela da se stvara nova naučna disciplina - teorija naučnih informacija.

Radiološka zaštita je jedna kompleksna oblast i ona, kao i druge oblasti, ima potrebu za vrlo raznovrsnim informacijama. No, organizovan sistem naučno-tehničkih informacija u oblasti radiološke zaštite ne postoji, što se na nju svakako negativno odražava.

Objektivni razlozi nepostojanja sistema naučnih informacija u ovoj oblasti, kao i uostalom i u drugim, su:

- relativno veliki troškovi oko stvaranja ovog sistema - fond, oprema, eventualno mehanizacija (ne treba izgubiti izvida koliki bi bili troškovi, ako bi nastalo dupliranje, što je neminovnost neorganizovanosti i neobaveštjenosti);
- brzi porast broja dokumenata i vreme njihovog "zastarenja";
- nedostatak školovanih kadrova za ovu delatnost.

Subjektivni razlozi bi bili:

- nedovoljno shvatanje nužnosti i vrednosti ove delatnosti (njeno vezivanje za administriranje i klasično bibliotekarstvo);
- ili druga krajnost - zahtevanje od informacione delatnosti da daje gotova rešenja za konkretnе zadatke;
- "nepopularnost" ove delatnosti, nezadovoljenje ljudnih ambicija s obzirom na kolektivan i anoniman rad u informacionoj delatnosti zbog čega stručnjaci, a naročito mlađi ljudi nerado dolaze u ovu službu.

Kod naučno-tehničkih i stručnih kadrova još ne postoji razvijena navika korišćenja informacija, kao neophodne komponente u njihovom istraživačkom i razvojnom radu.

Podatak da šest časova u biblioteci može uštedeti 6 meseci laboratorijskog rada* dovoljno je eklatantan i treba ga u punoj meri respektovati, ali se često radije nešto ponovo otkriva nego što se traže i koriste podaci o već otkrivenom.

S obzirom da je nauka po svojoj prirodi struktura koja raste dodavanjem novog na staro, i da stoga istraživač koji ne zna šta je do tada bilo uradjeno u datoj problematici ima malo šansi da učini vredan doprinos, sa svom oštrinom postavlja problem sprovodenja obavezognog korišćenja naučno-tehničkih informacija kod svih vidova istraživačkog rada.

Ima istraživača koji tvrde da ne konsultuju literaturu pošto upoznavanje sa metodama drugih može da upropasti svežinu sopstvenih pristupa, reč je tu uglavnom ili o velikoj erudiciji i nagomilanom znanju, ili o svesnom riziku da se startujući naslepo ponove eventualno prevazidjene zablude.

Da ne možemo ni izdaleka biti zadovoljni situacijom

* Wilson, B.E. "An Introduction to Scientific Research", New York.

kod nas, potvrđuje i podatak da se jedan istraživač u svetu u toku svog jednogodišnjeg rada upozna sa 3000-5000 dokumenta, dok je kod nas taj broj oko 1000, ali vrlo često i oko 100.

Takodje, organizovanjem sistema naučnih informacija prestao bi kult gajenja individualne dokumentacije i stvaranje od toga nekog ličnog kapitala. Svakako da istraživač mora imati neku tzv. individualnu dokumentaciju, ali ona mora biti deo sistema informacije, sa mogućnošću njenog korišćenja i od strane drugih.

U oblasti radiološke zaštite po pitanju naučno-tehničkih informacija uspostavljena je pre dve i po godine saradnja između Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči i Instituta za naučno-tehničku dokumentaciju i informacije. U tu saradnju uključeni su i Uprava za civilnu zaštitu DSNO, Institut za tehničko-medicinsku zaštitu, Škola za civilnu obranu i dr.

Saradnja na polju naučno-tehničkih informacija u ovoj oblasti obuhvata, pored razmene primarnih i sekundarnih dokumenata i informacija, izradu i disemiranje naučno-tehničkih informacija - studija i bibliografskih informacija iz problematike radiološke zaštite, kao i nekih marginalnih oblasti. Ove studije radili su stručnjaci iz tih oblasti, a kod korisnika naišle su na vrlo dobar prijem. Ovaj prošli period saradnje predstavlja nesumnjiv doprinos širenju naučnih informacija i upoznavanje šire stručne javnosti sa obradjenim problemima. Sa ovim se počelo, ali još uvek ne postoji organizovani sistem naučno-tehničkih informacija u oblasti radiološke zaštite, koji bi uključio razmenu i izradu informacija između svih koji se bave ovom delatnošću i odgovaraju za nju, a u saradnji sa institucijom koja je specijalizovana za informacionu delatnost. Uspostavljanjem sistema informacija došlo bi se lakše i brže do potrebnih informacija, informacije bi se koristile u radovima, postojala bi njihova međusobna razmena, a bila bi sprečena tendencija zatvaranja unutar uskih okvira svoje organizacije, pa čak i grupa u jednoj istoj organizaciji.

Ako bude uspostavljen sistem naučnih informacija u oblasti radiološke zaštite i ako informaciona delatnost bude shvaćena i postavljena kao ravnopravni i prvi činilac u ciklusu - naučno planiranje - naučnoistraživački rad - realizacija, izbeglo bi se davanje i korišćenje rešenja koja su u svetu rešena pre desetak i više godina. Ovaj sistem treba da bude i neka vrsta filtra kroz koji sme da prodje samo ono što je dobro provereno, aktuelno i najkorisnije.

Značaj naučno-informacione delatnosti leži u tome što se pomoću nje izbegavaju pojave da se na istim problemima u isto vreme radi na raznim mestima, što izaziva beskorisan utrošak vremena i novca. Na taj način se smanjuje obim oblasti koje rešavamo sa postojećim kadrom i sredstvima. Dobar sistem naučnih informacija i na ovom planu može da oslobodi znatne ljudske kapacitete i stvoriti materijalne uštede.

oblasti nauke. Budući da samo dobar stručnjak može da bude dobar dokumentalist, to je nužna najuža saradnja Biblioteke i istraživača. Laboratorijska, odnosno istraživač u laboratorijskim su tim koji mogu da daju tačno informaciju, studiju, kritičan pregled svega što je uradjeno u njegovoj oblasti u svetu i kod nas. Nijedan dokumentacioni centar kao neko posebno telo ne bi mogao da zadovolji želje stručnjaka u potpunosti, tim više što je veoma širok dijapazon oblasti na kojima se radi u Institutu. Poznata je činjenica već u celom svetu da svaki dokumentacioni centar danas predstavlja "usko grlo" u sistemu naučnih informacija, ukoliko je prinudjen da sam izradjuje sve prikaze. Zato je UNESCO pokrenuo akciju da već prilikom izdavanja publikacija, članaka, knjige i dr. autor ili autori sami izradjuju i prikaze dela koje publikuju. Dakle, i u uslovima našeg Instituta ukoliko bi se oformio takav jedan centar bio bi glomazan po broju ljudi i tražio bi velika materijalna ulaganja, pa se odmah postavlja pitanje finansiranja ovakve organizacije.

Budući da je svaki istraživač najbolji poznavalač svoje oblasti i budući da on u svome svakodnevnom istraživačkom radu prati tekuću literaturu, on vodi i svoju ličnu bibliografiju, beleži, pravi izvode itd. Poslo se zato upravo od toga da istraživač koji prati literaturu svakodnevno, beleži i evidentirajući sve što je od interesa za njegovu oblast, biblioteka najefekasnije može da pomogne ako ga blagovremeno, tj. na najbrži i najpogodniji način informiše o sve му što je napisano u njegovoj oblasti (kroz sekundarne publikacije), a on za uzvrat vraća bibliotecu svoju dokumentaciju, koju, kako smo već napomenuli, i tako vodi u svom svakodnevnom radu. Biblioteka takve podatke koje prima od istraživača u sasvim neobradjenom stanju (sirovom stanju) obradjuje, izradjuje bibliografske informacije koje dopunjuje svim potrebnim podacima (naslov časopisa, ili drugog izvora, godina, strana i ostali podaci) kako je to uobičajeno po međunarodnom sistemu. Stvar je biblioteke da ovakve materijale umnožava, štampa, sređuje i diseminira zainteresovanima. Ovakvim radom pojedini istraživač Instituta ne zadržava svoje informacije, svoju dokumentaciju i reference samo za sebe, već ih daje na uvid svima zainteresovanim, a naročito mlađim saradnicima. Samo ovakav sistem rada može da omogući javnost naučnog rada, da unapređuje nivo naučnog rada i suzbija monopolizaciju znanja. U protivnom dešava se da kad jedan istraživač ode iz Instituta sa njim ode i sva dokumentacija i sve informacije o problematici na kojoj je proveo možda dugi niz godina. A ipak, svaki Institut je jedna celina i za sve iskustvo koje je istraživač stekao u njemu odužuje se na taj način što ostavlja mlađima u srednjem stanju podatke o svemu što je

do tada uradjeno u njegovoj oblasti.

Razlog da biblioteka IBK prvi put nastupa na ovom skupu leži u tome što je saradnja biblioteke upravo počela u oblasti radiološke zaštite, zahvaljujući razumevanju i želji pojedinih istraživača iz te oblasti da tu saradnju ostvare. Pojedini istraživači iz Laboratorije za radiološku zaštitu aktivno učestvuju u radu biblioteke, članovi su saveta biblioteke, saradjuju sa službenicima biblioteke u klasifikaciji i obradi primljenog materijala.

Sem saradnje sa ovom Laboratorijom biblioteka IBK započela je sa ovom delatnošću i u oblasti nuklearne energetike i elektronike, u kom cilju se udružila sa Institutom za naučno-tehničku dokumentaciju i informacije (INTD), Energoprojektom, Zajednicom Jugoslovenske elektroprivrede, Združenim elektroprivrednim preduzećem Srbije i ElektroSRBIJOM u zajedničku službu "NATIS" (Naučno-tehnička informativna služba). Razlog za ovakvo udruživanje leži dobrom delom i u tome da se uspostavi koordinacija u nabavci knjiga, časopisa i svih ostalih dokumenata i da u buduće ne nabavljamo svi se. Biti dobro informisan ne znači imati sve što je štampano u svetu u svojoj kući, već imati dobre informacije gde se takav materijal nalazi i imati mogućnost da se u svakom momentu do toga materijala može doći. Jedino tako možemo biti u mogućnosti da više nabavimo, jer nećemo duplirati iste materijale koji su ponekad čak i vrlo skupi. Primera radi navodim da časopis "Chemical Abstracts" košta 1.280 US \$ bez poštarine, a prima-mo ga samo u Beogradu u deset primeraka. Ovo je sekundarna publikacija i sigurno je da nam toliko primeraka nije potrebno. Danas u svetu izlazi prema statistikama oko 30.000 značajnijih naučnih i stručnih časopisa. Od toga, prema podacima Jugoslovenskog bibliografskog instituta u zemlju ne ulazi ni 40%. Neophodno je, međutim, da bismo bili dobro informisani da svaki značajniji publikovani izvor naučnih informacija udje u zemlju. Upravo zbog toga se pojavljuje kao neminovno potreba da se srodne naučne ustanove udruže i izrade zajednički plan nabavke stručne literature.

Ovo iznosimo upravo zbog toga što će i na ovom skupu prisutni sigurno videti na ovoj našoj izložbi knjiga, časopisa i publikacija mnogo toga što i sami kupuju, a mogli bismo udružujući se uštedeti sredstva i nabaviti i one druge materijale koje ni jedni ni drugi ne kupujemo, jer ne tretiraju možda direktno ovu oblast već su periferni, ali i kao takvi interesantni. Ukoliko bi podelili, odnosno sistematizovali politiku nabavke literature bili bi svi zajedno daleko bolje snabdeveni. Biblioteka IBK u zajednici sa INTD-em (sa

kojim već tri godine usko saradjuje na ovom planu) pokrivaju verovatno najšire u zemlji oblast koja se tretira na ovom simpozijumu.

Pored obimnog fonda primarnih i sekundarnih časopisa i knjiga, Biblioteka IBK je depozitna biblioteka Američke atomske komisije od koje prima sva deklasifikovana dokumenta atomskih instituta u okviru Američke komisije kao i mikrokarte. Ovaj fond je veoma bogat i sadrži 80.000 publikacija i 120.000 mikrokarta. Biblioteka poseduje tri mikročitača koji zadovoljavaju potrebe čitalaca, a postoji mogućnost da fotoslužba Instituta na zahtev korisnika izradi fotokopije postojećih mikrokarta.

Sem publikacija Američke depozitne biblioteke u fond Biblioteke IBK ulaze publikacije svih međunarodnih atomskih komisija i instituta. Biblioteka ima stalan depozit CNRS-a (Centre de la Recherche Scientific - Paris) preko koga nabavlja mikrofilmove članaka iz onih knjiga i časopisa koji ne postoje ni u jednoj biblioteci u zemlji i koji se na drugi način ne mogu nabaviti.

Velika prednost Biblioteke IBK je u tome što postoji mogućnost brzog i lakog umnožavanja svega postojećeg materijala, jer biblioteka poseduje aparate za brzo kopiranje i umnožavanje "Xerox 914" (automatic) i "Lumoprint". S postojećom mehanizacijom biblioteka je u stanju da jedanput nedeljno obaveštava istraživače u laboratorijama o sadržaju članaka iz časopisa za koje su laboratorije zainteresovane (preslikava stranu na kojoj je sadržaj članaka - Current contents). Jedanput mesečno izdaje Bilten prilova knjige, publikacija i mikrokarta. Bilten povremeno obuhvata i kalendar dogadjaja u zemlji i inostranstvu, tj. kalendar održavanja naučnih skupova, konferencija i ostalih naučnih sastanaka ili druga važnija obavestenja.

Sem postojećih aparata za umnožavanje u samoj biblioteci u okviru Instituta postoji štamparija i knjigoveznica, što služi dijsemnacije dokumenata čini još efikasnijom.

Biblioteka IBK saradjuje sa svima srodnim bibliotekama u zemlji i inostranstvu i sa njima vrši vrlo uspešno međubibliotečku razmenu.

Upoznavajući prisutne na ovom skupu sa radom i mogućnostima Biblioteke IBK istovremeno želimo i da obavestimo da smo spremni da naše usluge i saradnju proširimo i na ustanove čiji predstavnici prisustvuju ovom Simpozijumu.

KRATAK SADRŽAJ OSTALIH RADOVA

H. CEROVAC, D. CESAR
IMI JAZU, Zagreb

MJERENJE IONIZACIJSKOG ZRAČENJA KOD KONTROLE ZAKONOM PROPISANIH VELIČINA

Osnovnim zakonom o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i pravilnikima donesenim na osnovu njega, definirane su i odredjene veličine doza ili aktivnosti izvora ionizirajućeg zračenja sa ciljem sigurnog boravka ljudi u zoni zračenja.

Cilj ovog razmatranja je dobivanje slike o mogućnosti, tačnosti i potrebama mjerenja navedenih veličina, kod donošenja odluke o ispunjavanju ili neispunjavanju zakonskih propisa.

Ovo razmatranje bazirano je na nekoliko ključnih zakonom propisanih veličina, o čijem načinu i tačnosti mjerenja ovisi tačnost interpretacije zakona.

S. IGNJATOVIC
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović", Beograd

DOZIMETRIJA ZRAČENJA PRI RENTGEN DIJAGNOSTICI

Objašnjava se cilj dozimetrijskih merenja pri korišćenju rentgenovog zračenja u medicinske dijagnostičke svrhe. Prikaz mogućnosti metoda film dozimetrije za merenje doza zračenja u zoni pacijenta, lekara i tehničara. Vrednost ove metode za niske doze zračenja. Opis karakterističnih slučajeva pri prozračivanju traumatoloških, stomatoloških i internističkih prozračivanja (prelom kolena, snimanje zuba dece, snimanje gastrointestinalog trakta). Greška ove metode u odsustvu bažarnih instrumenata.

H. CEROVAC, DJ. PECIKOZOVIĆ, Z. BENČAK
IMI JAZU, Zagreb

ODREĐIVANJE KVALITETA ZRAČENJA DIJAGNOSTIČKIH RDG APARATA

Mjerenja ionizacijskog zračenja su često jedini način za dobivanje podataka o nekim veličinama važnim za zaštitu na rdg dijagnostičkom aparatu u normalnoj eksploataciji.

Za određivanje radnog napona, filtracije cijevi te doza koje

prima pacijent, neophodno je poznavati kvalitet zračenja cijevi.

Postoji nekoliko različitih metoda kojima se može odrediti kvalitet zračenja cijevi (kristalni spektrometri, absorbcija u materijalu).

Želimo izložiti primjenljivost dijelova tih općih metoda na rutinsko određivanje veličina važnih za zaštitu, i granice takosti takvih mjerena.

R. ILLIĆ
VP 6869, Beograd

UGLOVNA RASPODELA DOZNIH POLJA ZA POVRŠINSKI IZVOR GAMA ZRAČENJA

Rasmatrana je uglavna zavisnost doznih polja za površinski izvor gama zračenja u energetskom intervalu od 0,5 do 3 MeV sa posebnim osvrtom na izvore gama zračenja fisionih produkata. Izračunata je uglavna raspodela doznih polja za površinski izvor gama zračenja dimenzija do 1000 m u prečniku i za visine iznad izvora u vazduhu do 400 m. Uglavna raspodela doznih polja računata je s ciljem da se utvrdi uticaj kolimacije rasejanog i nerasejanog gama zračenja na merenje brzine doze kolimisanim detektorom. Dobijeni rezultati pokazuju, da kolimacija ima znatan uticaj na brzinu doze iznad kontaminiranog zemljišta. Zbog uslova merenja brzine doze iz letilice najpovoljniji ugao kolimatora jeste 30°.

Rad je objavljen u Naučno-tehničkom pregledu br. 9, 1967.

M. STERLE
Center za radiološko zaščito, Ljubljana

KONFIGURACIJA TERENA I DOZIMETRIJA PRIRODNE GAMA AKTIVNOSTI

Kod opažanja promena prirodne gama aktivnosti kao posledice konfiguracije terena, uzeta su u obzir tri principijelno različita zemljišta:

1. Teren sastavljen od čistih magmatskih stena (tonalit)
2. Teren sastavljen od čistog vapnenjaka
3. Morska obala različite konfiguracije.

Za sva tri zemljišta daju se najpre podaci o merenjima na horizontalnom terenu kao i neke sasvim teoretske pretpostavke o

promenama intenziteta doze zbog konfiguracije istog zemljišta. Te su teoretske pretpostavke proverene na izabranim tačkama sa takvom konfiguracijom, gde bismo mogli da isto približimo teoretskim pretpostavkama.

Merni rezultati se u principu sa tim pretpostavkama slažu.

M. KAČAREVIĆ

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

METODE RADIOLOŠKE KONTROLE U TEHNOLOGIJI URANA I MOGUĆNOSTI KORELACIJE IZMEDJU URANA U ATMOSFERI I URANA U URINU

U tehnologiji urana pri raznim procesima rada javljaju se mnoge opasnosti od kojih stalna izloženost radioaktivnoj i toksičnoj kontaminaciji predstavlja jednu od prioritetnih. U vezi sa tim prikazuju se metode radiološke kontrole i rezultati ispitivanja u cilju sagleđavanja mogućnosti za postavljanje korelacije izmedju urana u atmosferi i urana u urinu.

Dj. BEK-UZAROV, Z. ĐUKIĆ, V. ČAVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

CDRUDJIVANJE I PROCENA UNUTRAŠNJE KONTAMINACIJE LJUDSKOG ORGANIZMA METODOM DIREKTNOG MERENJA TELESNE RADIOAKTIVNOSTI

Uredjaj za merenje telesne radioaktivnosti izgradjen je u Institutu "Boris Kidrič", pružio je mogućnost da se i u našim uslovima pridje in vivo ispitivanjima i procenama unutrašnje kontaminacije ljudskog organizma kakoprofesionalno eksponiranih lica, tako i pojedinih grupa stanovništva.

Prikazana je osnovna konstrukcija uredjaja za merenje radioaktivnosti ljudskog tela. Navedene su takodje i osnovne karakteristike kao i baždarenje kompletirane aparature.

Data je kratka diskusija merenja telesne radioaktivnosti kod jedne grupe osoba, koje nisu imale profesionalni kontakt sa radioaktivnim materijalima, već su bile izložene samo kontaminaciji iz životne sredine.

B. PENDIĆ, V. PLEĆAŠ
Gradska bolnica, Beograd

NEKI BIOLOŠKI TESTOVI U DOZIMETRIJI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA^a

Problem odredjivanja doze zračenja kojoj mogu da budu izložene osobe prilikom radioloških akcidenata je od prvorazrednog značaja radi utvrđivanja postupaka prilikom medicinskog zbrinjavanja izloženih osoba. Veoma često postoje neslaganja između fizičkih dozimetrijskih podataka i kliničkih i bioloških pokazatelja i u radu se razmatraju ovi problemi.

Posebno se razmatra upotrebljivost nekih bioloških testova u proceni doze zračenja: odnos dvostruko obojenih limfocita, značaj pojave dvojedarnih limfocita i limfocita sa jedarnim inkluzijama u protoplazmi u biodetekciji zračenja, te posebno mogućnost potrebe hromozomskih aberacija u ćelijama periferne krvi i krvotvornih organa kao veoma osetljivih i dovoljno preciznih indikatora doze zračenja.

H. CEROVAC, DJ. PECIKOZOVIĆ, Z. BENČAK
IMI JAZU, Zagreb

KALIBRACIJA GAMA SPEKTROMETRA

Ako želimo pomoći gama spektrometru vršiti kvantitativna mjerenja nepoznatih uzoraka, najtačnije rezultate dobiti ćemo ako imamo baždarni etalon istoga izotopa ili smjese izotopa u jednim omjerima te u istoj geometriji, kao nepoznati uzorak.

Jednakost geometrije je uvjet koji se postiže relativno lagano. Problem je u manjim laboratorijama, koji obično posjeduju nekoliko uobičajenih standarda u obliku planšeta ili standardnih otopina, vršiti kvantitativna mjerena s uzorcima sastavljenih od onih izotopa za koje ne posjedujemo standard ili onih za koje ne postoje komercijalni standardi zbog kratkog vremena poluraspada ili kojeg drugog razloga.

Izlažemo ideju o kvantitativnom mjerenu uzorka koji su iste geometrije kao standard bilo kojeg drugog izotopa, granice primenljivosti i pogreške.

D. PALIGORIĆ, Lj. DOBRILIOVIĆ, Dj. BEK-UZAROV

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

ODREDJIVANJE EFIKASNOSTI TEČNOG SCINTILACIONOG BROJAČA

Jedan od osnovnih problema u merenjima radioaktivnosti nisko-energetskih beta emitera je problem odredjivanja apsorpcije zračenja u materijalu izvora - samoapsorpcija.

U slučaju kada je radioaktivni materijal homogeno pomešan sa (tečnim) scintilatorom čestice svu svoju energiju utroše u scintilatoru pa efektasamoapsorpcije nema, te, otuda i veliki interes za metodu tečnog scintilacionog brojača.

Metoda tečnog scintilacionog brojača je danas nezamenjiva kada je u pitanju unutrašnja kontaminacija čovečjeg tela mekim beta radioaktivnim preparatima, kao i u pojedinim slučajevima površinske kontaminacije i kontaminacije vode.

U radu je tretiran problem odredjivanja energetskog praga za detekciju tečnim scintilacionim brojačem preko koga se nalazi brojačka efikasnost detektora - osnovnog parametra ove metode.

M. SIMOVIĆ

Brodarski institut, Zagreb

KALIBRACIJA PROPORCIONALNIH I GM BROJAČA SA K^{40}

Ova metoda kalibracije, sastoji se u odredjivanju specifične aktivnosti prirodnog radioizotopa K-40, koji ima podesne radio-loške i hemijske karakteristike.

Izračunati broj impulsa za kalibracioni preparat od KCL u vidu soli i u vidu rastvora, i onaj koji je dobiven merenjem, pokazivali su dobro slaganje. U cilju postizanja što generalnijeg značaja ove metode, zbog energetskog odziva su uvedeni popravni faktori ili tzv. kalibracione konstante (za date uslove merenja) koje zavise od energije zračenja, debljine izvora i debljine detektorske folije.

T. TASOVAC, R. RADOSAVLJEVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

RADIOLOŠKI STANDARDI ZA VODU

MDK za vodu kod nas postoje samo za lica profesionalno zaposlena na radu sa izvorima ionizujućih zračenja.

Referat tretira problem standarda sa više aspekata uključujući i pregled stanja u toj oblasti u svetu.

V. VOJVODIĆ

Brodarski institut, Zagreb

PROJEKTOVANJE JONIZACIONIH KOMORA ZA MERENJE BRZINE
DOZA GAMA ZRAČENJA U POLJU RADIOAKTIVNIH PADAVINA

U referatu se daje prikaz proračuna jonizacionih komora za merenje brzine doze gama zračenja u polju radioaktivnih padavina. Izvedeni su opšti prikazi za voltamperske karakteristike jonizacionih komora bilo kakvog oblika i veličine. Posebno su razmatrane jonizacione komore cilindričnog, sfernog i plan-paralelnog oblika. Za jonizacione komore ovih oblika odredjene su relacije za minimalni napon zasićenja na elektrodnom sistemu za najveću brzinu doze. Izložen je način proračuna debljine zida jonizacione komore, kao i praktičan izbor konstruktivnih materijala. Iznose se neka iskustva i osvrta na izolatore elektrodnog sistema. Na kraju su dati eksperimentalni rezultati snimljeni na jednoj izvedenoj cilindričnoj jonizacionoj komori, iz čega se vidi dobro slaganje teorije i eksperimenta.

Z. PUJIĆ, Z. KNEŽEVIĆ

Prirodno-matematički fakultet,
Sarajevo

NOV SCINTILACIONI FOTO-DOZIMETAR

Razvijen je nov krajnje pristupačan postupak za dobijanje scintilatora nekoliko stotina puta jeftinijih od klasičnih. Ovako dobijeno scintilaciono tijelo upotrebljeno je kao frekventni transformator za registraciju ionizirajućih zračenja na običnom fotografskom materijalu. Koristeći u ovoj kombinaciji filtere za područje od 3500-4500 Å dobijen je scintilacioni foto-dozimetar pomoću kojeg je moguće vršiti procjenu doza u intervalu od 20 mr do 1000 r, bez upotrebe posebnog čitača.

M. TURINA

Fabrika za elektroniku i elektromehaniku
"Rudi Čajavec" Banjaluka

MJERAČI INTENZITETA RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA U
PROIZVODNOM PROGRAMU FABRIKE "RUDI ČAJAVEC" SA
POSEBNIM OSVRTOM NA UREDJAJ IT-65

Referat obuhvaća slijedeću materiju:

1. Pregled dosadašnjeg rada fabrike "Rudi Čajavec" na razvoju i proizvodnji uredjaja za mjerjenje radioaktivnih zračenja.
2. Kratki tehnički podaci o nekim uredjajima iz proizvodnog programa fabrike "Rudi Čajavec"
3. Osnovni tehnički podaci o uredjaju IT-65
4. Kratak opis principa rada i konstrukcije uredjaja IT-65
5. Zaključak.

A. BAUMAN, V. POPOVIĆ

Institut za medicinska istraživanja i
medicinu rada JAZU, Zagreb

MJERENJE GAMA AKTIVNOSTI U RADIOAKTIVNIM PADAVINAMA
NAKON KINESKE EKSPLOZIJE OD 9. V 1966. GODINE

Mjereni su uzorci radioaktivnih padavina nakon nuklearne eksplozije od 9. V 1966. Ispitivan je ideo kratkoživećih gama emitera na sastav spektra kišnice. Gama spektri, dobiveni mjerenjem uzorka 256-kanalnim analizatorom (kristal NaJ/tl/ 4"x4") pokazuju prisustvo kratkoživućih fisionih produkata doduše veoma niskih aktivnosti od ^{147}Nd , ^{141}Ce do ^{140}Ba - ^{140}La te ^{95}Zr - ^{95}Nb . Praćen je njihov raspodjel u uzorku junske kiše povremenim mjerenjem. Isto tako su mjereni uzorci sukcesivnih mjeseci i postepeno nestajanje kratkoživućih fisionih produkata iz njih.

R.RADOSAVLJEVIĆ, T.TASOVAC, V.VUJOVIĆ,

M.KOVAČEVIĆ, D.DJORDJEVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

LABORATORIJSKE METODE KONTROLE RADIOAKTIVNE
KONTAMINACIJE VODA

Iznešeni su rezultati ispitivanja nekoliko metoda za pripremanje uzorka za mjerjenje ukupne beta radioaktivnosti voda. Cilj ovih ispitivanja je bio određivanje gubitaka koji nastaju zbog različitih hemijskih operacija u toku pripremanja uzorka. Da bi se izbegli razni gubici i uprostio postupak pripremanja uzorka razvijena je metoda evaporacije na polietilenским folijama. Postupak je brz, pouzdan i jeftin.

D. STOJANOVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

ULOГA SPECIJALNIH METEOROLOШKIH MERENJA PRI
PROCENI RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE

Prizemni slojevi vazduha su medijum u koji dolaze radioaktivne materije nastale radom nuklearnih postrojenja ili pod drugim okolnostima. Prenos, rasturanja i deponovanje radioaktivnih materija, prema tome, zavisi od opštih dinamičkih uslova u prizemnim slojevima vazduha.

Pošto su prizemni slojevi vazduha pod velikim uticajem lokalnih geografsko-topografskih uslova, to je razvoj termodynamičkih procesa specifičan za svaki lokalitet. Pomoću specijalnih meteoroloških merenja dobijaju se podaci na osnovu kojih se mogu proračunati i predvideti termodinamički procesi i njihova uzajamna povezanost sa elementima kontaminacije prizemnih slojeva vazduha i tla.

Ovaj rad opisuje osnovne principe ovih merenja i njihove relacije sa metodama procene kontaminacije.

LJ. MELOVSKI

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

OBUKA KADROVA IZ OBLASTI NUKLEARNIH NAUKA I TEHNIKE

Referat daje:

1. pregled dosadašnjeg rada Odeljenja na obuci kadrova za rad i rukovanje radioaktivnim izotopima kao i u usavršavanju kadrova iz specifičnih oblasti primene radioaktivnih izotopa;
2. daje pregled dosadašnjeg iskustva u organizovanju kurseva za obrazovanje kadrova iz oblasti merenja i zaštite od radioaktivnog zračenja;
3. pregled sadašnjih mogućnosti Odeljenja na planu obrazovanja kadrova iz oblasti zaštite od radioaktivnog zračenja.

S.IGNJATOVIĆ, D.PANOV

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu, Beograd

ELEKTRO PROVODLJIVOST ORGANSKOG TKIVA
IZLOŽENOG X ZRACIMA

Prikaz početnih eksperimenata za ispitivanje promene omskog otpora organskog tkiva pri ozračivanju X zračenjem velikog intenziteta. Cilj eksperimenta je da se ispita odnos izmedju ionizacionog efekta u tkivu i njegove električne provodljivosti.

T. TASOVAC, R. RADOSAVLJEVIĆ, M. ZARIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

EVALUACIJA DOZA ZRAČENJA OD EFLUENATA Co^{60}
UPUŠTENOG U POTOK MLAKU

Tokom decembra 1966. godine i januara 1967. u potok Mlaku, koji protiče teritorijom IBK, upušteno je oko 2.000 $\mu\text{Ci Co}^{60}$. Na bazi zaostale količine radiokobalta u mulju i vodenom ras-tinju izvršena je evaluacija doze zračenja. Dat je takođe pre-gled promena koncentracija Co^{60} u vodi u periodu ispuštanja.

S A D R Ž A J

I SEDNICA Opšta i organizaciona pitanja

Pređsedavajući: S.Muždeka i V.Gajić Str.

P.BOJOVIĆ, P.MIRIĆ i dr.: Potreba i značaj merenja zračenja u normalnim i vanrednim uslovima 1

S.MUŽDEKA: Elektronska instrumentacija za radioološku zaštitu 9

D.BEK-UZAROV, P.MIRIĆ: Jedinice mere, metode i etaloni radioaktivnosti i ionizujućeg zračenja 1.

M.STERLE: Sredstva lične dozimetrije 34

M.PAVIĆEVIC: Značaj sistematske obuke kadra i primene savremene instrumentacije za zaštitu od zračenja u mirnodopskim i vanrednim uslovima 49

T.VELJIMCVIĆ, D.JOVIĆ i dr.: Neki stručni, pravni i organizacioni problemi zaštite od ionizujućih zračenja u našoj zemlji 61

II SEDNICA Kerenje radijacionih polja

Pređsedavajući: S.Ignjatović i P.Mirić

R.RADOVANOVIC, D.HAJDUKOVIĆ: Spektrometrijska metoda za merenje malih doza gama zračenja 70

Merenje medicinskih i bioloških uzoraka

Pređsedavajući: F.Čustović i D.Djurić

D.JANKOVIĆ, LJ.DOBRILOVIĆ: Radiohemetska metoda za odredjivanje ^{239}Pu u humanom urinu 77

Z.UBOVIĆ, D.PALIGORIĆ: Odredjivanje tritijuma u humanom urinu tečnom scintilacionom metodom 83

D.ĐURIĆ, D.PETROVIĆ, D.PANOV: Ispitivanje optimalnih uslova odredjivanje Po-210 u biološkom materijalu metodom depozicije 90

F.ČUSTOVIĆ, B.TOPIĆ: Depozicija radioaktivnog stroncijuma u ljudskim zubima u Sarajevu 96

III SEDNICA Baždarenje, etaloni

Predsedavajući: F.Bek-Uzarov, H.Cerovac

S.MUŽĐEKA, P.MIRIĆ, P.FRANTLOVIĆ: Preporuke za prenosne merače jačine ekspozicione doze	101
P.FRANTLOVIĆ, S.MUŽĐEKA, P.MIRIĆ: Preporuke za instrumente za merenje kontaminacije površina	108
F.RISTIĆ, M.PROKIĆ i dr.: Ispitivanje mogućnosti merenja beta-gama kontaminacije površina sa monitorima koji se koriste u Institutu "Boris Kidrič"	116
D.RISTIĆ, P.MIRIĆ, I.MIRIĆ: Ispitivanje strujnih karakteristika komore pištolj dozimetra PD-2	123
R.RADOSAVLJEVIĆ, T.TASOVAC, M.KOVAČEVIĆ: Etaloni za merenje celokupne beta radioaktivnosti uzoraka životne sredine	127
I.HORVAT: Konstanta doze i sekundarno zračenje	132
D.PALIGORIĆ, F.BEK-UZAROV i dr.: Apsolutno merenje radioaktivnosti rastvora ^{60}Co	139

IV SEDNICA Instrumentacija I - detektori zračenja

Predsedavajući: M.Mihailović, M.Sterle

M.STERLE: Zračno ekvivalentna ionizaciona komora sa centralnom simetrijom i mogućnosti njene upotrebe kao standarda kod dozimetrijskih merenja	145
B.KOVAČ, K.ĐANTAR: Orijentacioni sistem u polju nuklearnog zračenja	151
M.MIHAILOVIĆ, L.SEDEJ: Osobine termoluminiscentnih dozimetara sa $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ ugradjenim u emajl	156
M.MIHAILOVIĆ, V.KOSIĆ i dr.: Termoluminiscentni dozimetri sa $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ ugradjenim u emajl i odgovarajući čitati doza	163
K.JUŽNIĆ, I.KOBAL: Termoluminiscenca sistema $\text{LiF}:\text{CaF}_2$ in njegova uporaba v dozimetriji (II del)	168
I.KOBAL, J.KRISTAN: Metafosfatna stakla u dozimetriji	174
M.STOJANOVIĆ, M.NINKOVIĆ, I.SLAVIĆ: Metoda za određivanje relativne energetske efikasnosti $\text{Ge}(\text{Li})$ detektora gama zračenja	181
S.KOSTIĆ, B.ĆIRILOV: Primena poluprovodničkih detektora u dozimetriji nuklearnog zračenja	186

A.SLIEPČEVIĆ, B.BREYER, V.ANDREIĆ: Proporcionalni CH_4 brojač za merenje niskih aktivnosti	191
B.BREYER, A.GREGORAN: Elektronički sistem niskog šuma za merenje metodom C-14	196
B.M.KEMAL, A.B.MILOJEVIĆ, Đ.N.BEK-UZAROV: Odredjivanje energetskog praga za detekciju beta čestica kod gasnog proporcionalnog brojača	201
P.MIRIĆ, I.MIRIĆ, M.PROKIĆ: Odredjivanje karakteristika grafitne ionizacione komore namenjene za apsolutno merenje doza X i gama zračenja	207
V SEDNICA Instrumentacija, II	
Predsedavajući: M.Turina, S.Muždeka	
S.MUŽDEKA, R.RADOSAVLJEVIĆ i dr.: Pokretna radiološka laboratorijska	212
P.FRANTLOVIĆ, D.SPASOJEVIĆ: Scintilacioni merni komplet za pokretnu radiološku laboratoriju	217
M.ŠOBAJIĆ, R.BLAGOJEVIĆ: Prenosni instrument za merenje jačine eksponizacione doze zračenja PD-3F	222
D.SPASOJEVIĆ: Instrument za merenje kontaminacije KOMO-T2	226
M.ŠOBAJIĆ, R.BLAGOJEVIĆ: Uredaj za kontinualno merenje jačine eksponizacione doze gama zračenja	231
M.VOJINOVIĆ: Sistemi modularnih elektronskih nuklearnih instrumenata	236
A.KOTUROVIĆ, M.ĆULAFIĆ i dr.: Sistemi za sakupljanje podataka u radiološkoj zaštiti i kontroli	243
M.RADOTIĆ, V.MIKULIĆ: Pregled medicinskih zahteva koji se postavljaju pred poljske prenosne instrumente za merenje radioaktivnosti	248
D.VUKMIROVIĆ: Kontrola radioaktivnosti troposfere i donje stratosfere	253
VI SEDNICA Merenje kontaminacije vazduha i vode	
Predsedavajući: V.Popović, Ž.Petrović	
V.POPOVIĆ, M.PICER: Mogućnost brze registracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata	262

Ž.PETROVIĆ: Kritički osvrt na procjenu nivoa radioaktivnih aerosola porijeklom od svježih nuklearnih eksplozija	267
A.BAUMAN: Mjerenje i identifikacija ^{7}Be u radioaktivnim padavinama	272
M.NINKOVIĆ: Elementi radiološke kontrole tricijuma kod teškovodnih nuklearnih reaktora	277
Z.VUKMIROVIĆ, M.HADŽIŠEHOVIĆ: Apsolutno merenje beta radioaktivnih gasovitih izvora	282
M.PICER: Mogućnost mjerenja ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama koncentriranjem radionuklida na takom sloju jonoizmjenjivačke smole	286
M.PICER: Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama pojednostavljenom metodom uparivanja	293
B.ANIĆ: Plan mreže mernih stanica za kontrolu radioaktivnosti atmosfere i padavina na teritoriji SR Srbije	298
VII SEDNICA Merenje kontaminacije životne sredine	
Predsedavajući: A.Bauman, R.Radosavljević	
R.RADOSAVLJEVIĆ, T.TASOVAC, D.PATIĆ: Metodika kontrole radioaktivnosti okoline Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"	304
R.RADOSAVLJEVIĆ, T.TASOVAC, D.PATIĆ: Metode merenja radioaktivnosti životne sredine u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič"	308
A.BAUMAN: Odredjivanje ^{137}Cs u uzorcima tla gama-spektrometrijom	312
LJ.MORAČIĆ, R.G.RADOVANOVIC, M.VUKOTIĆ: Odredjivanje prirodnih radionuklida u hrani	316
M.PICER, P.STROHAL: Odredjivanje tragova torija i urana u biološkom materijalu metodom neutronske aktivacione analize	321
P.STROHAL, S.LULIĆ, O.JELISAVČIĆ: Ponašanje nekih radio-kontaminanata prilikom žarenja bioloških materijala	328
P.STROHAL, S.LULIĆ, M.J.HERAK: Primjena aktivacione analize kod odredjivanja koncentracionih faktora radio-kontaminanata u biološkim sistemima	331
O.JELISAVČIĆ, P.STROHAL i dr.: Metode merenja beta i gamma aktivnosti biota severnog Jadrana	335
Č.LUCU, O.JELISAVČIĆ i dr.: Odredjivanje kontaminacije morskih organizama nekim radionuklidima	338

VIII SEDNICA Slobodne teme

Predsedavajući: P.Strohal, D.Panov

B.VUJISIĆ, V.ČAVIĆ: Odredjivanje položaja pika totalne apsorpcije primenom metode najmanjih kvadrata na Cimermanovu linearizaciju pika i na funkciju $z=\ln y$	342
E.BEK-UZAROV, LJ.DOBRILOVIĆ, K.BURAEI: Apsolutno merenje radioaktivnosti izotopa koji se raspadaju putem elektronskog zahvata	346
M.NINKOVIĆ, P.BOJOVIĆ: Apsorpcija gama zračenja u zemlji	352
V.ŠKARIĆ, V.TURJAK-ZEBIĆ i dr.: Uklanjanje radioaktivnog stroncija iz organizma pomoću indazolon karbonskih kiselina	358
M.NINKOVIĆ, Z.MININČIĆ: Spoljašnje ozračivanje osoblja koje opslužuje reaktor RA u Vinči u periodu 1963-1966.	364
P.STROHAL, D.NÖTHIG:Uklanjanje niskih aktivnosti nekih produkata fisije i korozije iz vode	371
A.MATIJAŠIĆ: Rezultat jedne ankete sprovedene medju dozimetristima Instituta za nuklearne nauke "B.Kidrič"	375
M.MIHAILOVIĆ, M.V.MIHAILOVIĆ, J.PAHOR: Novi merilec brzine ekspozicije sa CdS	379
V.VOJVODIĆ, V.STIBILJ i dr.: Uredjaj za simulaciju površinske kontaminacije od radioaktivnih padavina	384
V.JEVREMOVIĆ-VLADIKOVIĆ: Naučno-tehničke informacije u oblasti radiološke zaštite	388
R.SAVIĆ: Mesto i uloga informativno-dokumentalističke službe u institutima i ostalim naučnim i stručnim organizacijama	393



INSTRUMENTACIJA ZA DETEKCIJU I MERENJE RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“ VINČA



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. Šabac 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



pokretna radiološka laboratorija

Pokretna radiološka laboratorija sadrži sisteme za detekciju i merenje izvora ionizujućeg zračenja u normalnim i okcidentalnim uslovima. Laboratorija sadrži uređaje koji obezbeđuju merenje:

- primljenih doza za lice,
- radijacionih polja gama zračenja i određivanje orientacije u odnosu na izvore zračenja,
- kontaminacije ljudi, odeće, terena i površina,
- radioaktivnosti uzoraka vode, hrane, vazduha.

Opšti pregled uređaja dat je u tabeli.

Kontrola radijacionih polja	Kontrola radioaktivne kontaminacije	Kontrola radioaktivnih uzoraka
<p>Lični dozimetri 0-100 mR 0-50 R</p> <p>Lovac zračenja zvučna indikacija</p> <p>Alarmski uređaji 0,1 - 1 - 10 mr/h</p> <p>Uredaj za merenje gama zračenja do 500 r/h</p>	<p>Uredaj za merenje kontaminacije beta/gama alfa/beta opsezi: 0-10 imp/sek 0-100 imp/sek 0-1000 imp/sek</p>	<p>Merjenje niskih beta aktivnosti (voda, hrana, tlo) osetljivost</p> <p>10^{-11} Ci</p> <p>Merjenje gama aktivnosti</p> <ul style="list-style-type: none"> - scintilacioni komplet - tečni, čvrsti uzorci - medicinska sonda

Nanajanje:

sopstveni akumulator 12 V

Potrošnja:

oko 20 W

Težina opreme:

130 kg



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. leb 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčinstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



**uredaj za merenje
radioaktivnih uzoraka niskog aktiviteta
LOLA-4**

Uredaj služi za merenje α i β -aktivnih uzoraka niskog aktiviteta (za potrebe radiološke zaštite i civilne zaštite, medicinska merenja, itd.). Merenje se može vršiti u laboratoriji ili na terenu.

Uredaj je zasnovan na primeni novog antikoincidentnog kola sa GM-brojačima*, čime se postiže sniženje spoljašnjeg fona i omogućuje merenje uzoraka veoma niskog aktiviteta. Uredaj sadrži tri osnovna dela:

1. Antikoincidentno kolo sa GM-brojačima izvedeno sa čisto pasivnim elementima. Kolo je smešteno u olovnoj glavi.
2. Dekadni skaler.
3. Deo za napajanje, koji daje stabilisane jednosmerne napone potrebne za rad uređaja.

Broj upotrebljenih elektronskih komponenata sведен je na neophodni minimum. Umesto klasičnih radiocevi primenjene su isključivo gasne cevi sa hladnom katodom i polupro-

* Jugoslavenski patent 297/62 nagradjen stebrom medaljom na XIII svetskoj izložbi proračaka u Bruselu 1964. godine. Ptolazari: B. Kovat, S. Muždeka, M. Šobajić, saradnici Instituta.

vodnički elementi, čime je obezbedjena velika pouzdanost uređaja i mala potrošnja energije.

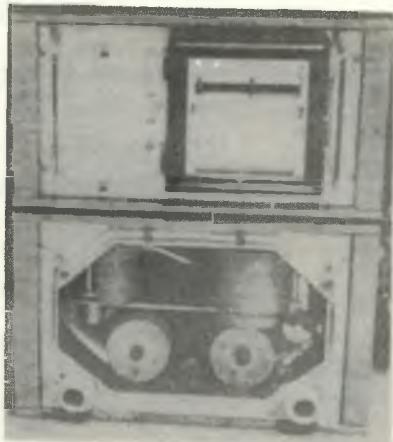
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Detektori:	halogeni GM u spec. antikoincidentnoj vezi
beta	Philips 18516/18518 debljina prozora 10 mg/cm^2
alfa-beta	Philips 18515/18517 debljina prozora $1-2 \text{ mg/cm}^2$
Osnovni nivo zračenja (fon)	manji od 2 imp/min
Osetljivost	10^{-12} C
Postavljanje uzorka	ručno
Skaler	1 dekada-gasni dekatron, EZ-10B sa direktnom indikacijom Sledeće 4 dekade-elektromehanički numerator SODECO
Napajanje	iz mreže 220 V, 50 Hz, ili iz akumulatora 12V, 5 W
Dimenzije skalera	$290 \times 220 \times 150 \text{ mm}$
Težina	3 kg.
Dimenzije glave	$320 \times 230 \times 200 \text{ mm}$
Težina	62 kg.



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961. telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola ACA-2

Aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola koristi se za merenje koncentracije pribora i veštačkih radioaktivnih aerosola u vazduhu. Može da se koristi u laboratorijsama gde postoji mogućnost zagadjenja vazduha radioaktivnim materijalima, kao i u kontrolnim stanicama za merenje zagadjenja vazduha radioaktivnom prašinom.

Upotrebom novog antikoincidentnog kola sa GM-brojačima* i primenom isključivo tranzistorских kola ova aparatura postiže osobine koje je stavlja u red najosetljivijih uređaja te klase, što asigurava maksimalnu zaštitu lica.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Mogućnost detekcije

alfa, beta, gama

Detektori

halogeni GM-brojači u specijalnoj antikoinciden-tnoj vezi

Osnovni nivo zračenja (fon)

manji od 3 imp/min

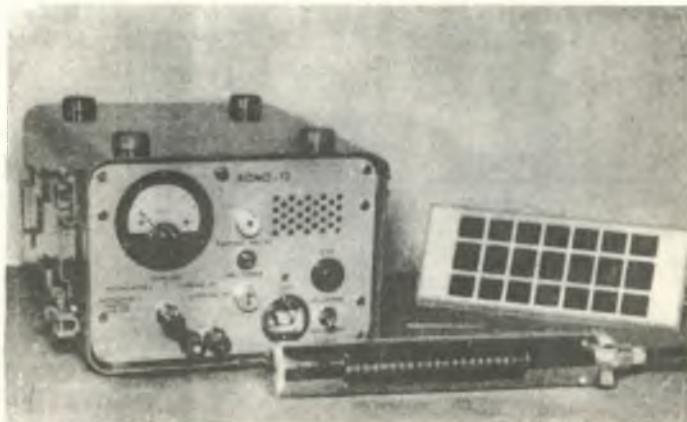
* Jugoslovenski patent 297/62 nagradjen srebrnom medaljom na XIII svetskoj izložbi pronađenaka u Brise-lu 1964. god. Pronalazači: B. Kovač, S. Muždeka i M. Šchajić, saradnici Instituta.

Protok vazduha	15 m ³ /h
Širina filtra	70 mm
Brzina filtra:	3-4-6 mm/h
Mogućnost merenja	od 0 do 96 časova (I glava 0 do 60 časova, II glava 17 do 96 časova)
Osetljivost	bolja od 10^{-13} C/m ³
Registracija podataka	dvakanalni pisač sa 4 logaritamske dekade, brzina trake pisača 60 mm/dan
Napajanje	instrumenti 220 V, 50 Hz, (5W) pumpa 3x 380 V, 50 Hz (800 W)
Dimenzije:	670 x 570 x 380 mm
Težina	62 kg. + pumpa 31 kg.



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fak 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Telefonski broj: 11563-YU Vinča



monitor zračenja KOMO-T2

Monitor zračenja KOMO-T2 je tranzistorizirani uređaj, koji služi za kontrolu i merenje spoljne kontaminacije površina, lica, odeće i sl. Sande za merenje alfa ili beta/gama zračenja odvojene su kablom od instrumenta koji ima tri linearna merna opsega. Postoji i akustička kontrola broja impulsa.

Napajanje se vrši sopstvenim akumulatorom. Predviđeno je punjenje akumulatora priključivanjem na mrežu ili akumulator vozila.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Detektor

beta/gama
alfa

halogeni GM brojač tip STS-6 debљina zida 40 mg/cm² proporcionalni brojač sa folijom debљine 0,006 mm

Opsezi

10-100-1000 imp/sek

Linearnost

bolje od ± 5%

Napajanje

ugradjena dva Ni-Cd akumulatora sa mogućnošću rada do 30 časova izmedju punjenja

Dimenzije

290 x 220 x 150 mm

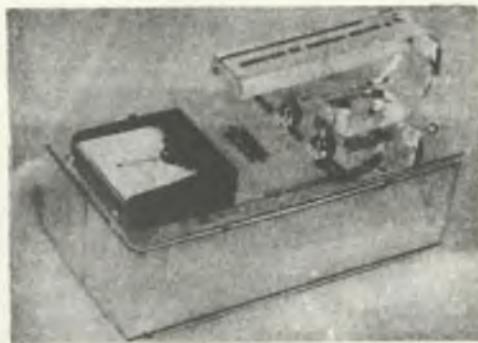
Težina

5,5 kg



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



instrument za orijentaciju u polju zračenja
KONURA
(kompas nuklearnih radijacija)

Tranzistorizirani instrument služi za pronađenje radioaktivnih izvora, određivanje centra izvora zračenja i određivanje gradjena polja zračenja.

U slučaju akcidenta može se vrlo brzo odrediti najefikasniji smer evakuacije ljudstva. Na mernom instrumentu sa logaritamskom skalom može se vršiti očitovanje nivoa zračenja do 20 mr/čas.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Detektor	dva GM brajača tipa Philips 18504
Merno područje	logaritamska skala 0,2 - 2 - 20 mr/čas, baždareno sa Co^{60}
Napajanje:	Baterija 1,5 V ili Ni-Cd akumulator 1,22 V
Dimenzije	200 x 100 x 65 mm
Težina	2,4 kg



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD – VINČA

Bogograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčanski institut
Teleks: 11563-YU Vinča



pištolj dozimetar PD-3F

Instrument je prenosnog tipa. Koristi jednosmernu ionizacionu komoru kao detektor zračenja. Namenen je za merenje jačine ekspozicione doze gama zračenja i detekciju beta-čestica. Predviđen je za upotrebu no mestima gde se radi sa radioaktivnim izvorima i očekuju jačine ekspozicione doze preko 1mR/h.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Opsezi merenja	10mR/h, 100mR/h, 1R/h i 10R/h
Linearnost	Bolja od 1%
Pomeranje nule	Manje od 5% za 24h
Napajanje	Dve baterije od 1,5V
Trajanje baterija	Preko 40h



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"
BEOGRAD - VINČA

BEOGRAD, pošt. fak. 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11463-YU Vinča



lovac zračenja PLZ-5G

Lovac zračenja je minijaturni džepni indikator zračenja sa zvučnom i svetlosnom indikacijom. Detektor zračenja je halogeni GM brojač čiji broj impulsa je proporcionalan intenzitetu zračenja. Pogodan je za otkrivanje povišenih nivoa zračenja (gama, neutroni) ili površinske kontaminacije (alfa, beta).

Napaja se iz ugradjenog minijaturnog Ni-Cd akumulatora. Veoma je pouzdan, ima dug život i vrlo male dimenzije.

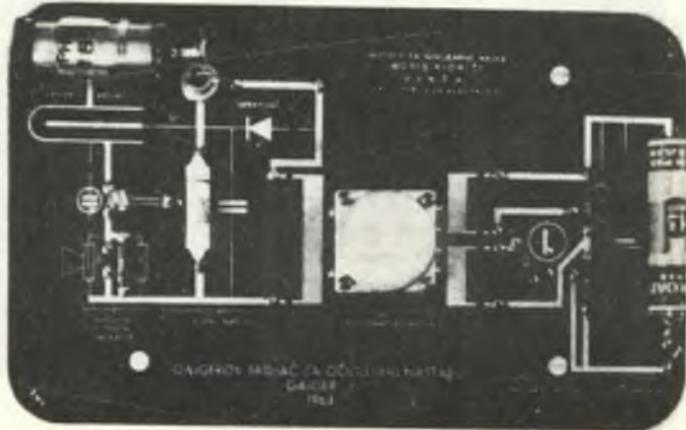
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Detektor	halogeni GM brojač tipa Philips 18504
Indikacija	zvučna - slušalice svetlosna - tinjalica
Napajanje	Ni-Cd akumulator 1,2 V omogućava neprekidni rad do 10 časova
Dimenzije	90 x 65 x 23 mm
Težina	160 grama
Punjač baterije:	Dimenzije 110 x Ø 30 mm. Težina 100 gr. Indikacija sa tinjalicom. Napajanje 220 V, 50 Hz.



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"
BEOGRAD - VINČA

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



gajgerov brojač za očiglednu nastavu **GAJGER-3**

Služi za demonstraciju detekcije radioaktivnog (gama i kosmičkog) zračenja. Namjenjen je za očiglednu nastavu u školama. Proste je konstrukcije tako da se lako prati njegov rad.

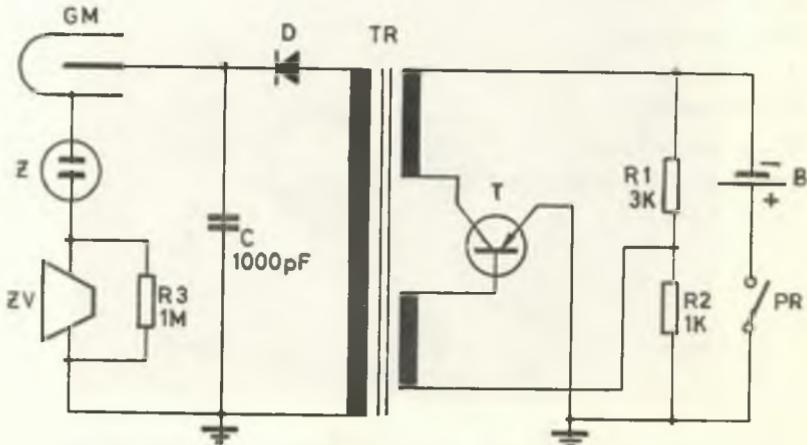
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Dektor	halogeni GM tipa 18504
Vrsta kontrole:	zvučna i vizuelna
Osnovni nivo zračenja (ton)	manje od 20 imp/min
Temperaturni opseg rada:	od -16°C do +50°C
Šema veza:	štampana kola
Napajanje	iz baterije 1,5 V
Dimenzije:	210 x 130 x 90 mm



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčinski institut
Teleks: 11563-YU Vinča



školski GM brojač

MAKETA I IZVORI

Na moketi školskog GM brojača se pored Gajgerovog brojača nalaze elektronska kola koja doju visoki napon potreban za rad Gajgerove cevi. Indikacija detekcije je svetlosna, preko tijanjalice, i akustična, pomoću ugradjenog zvučnika ili priključene slušalice.

Za rad školskog GM brojača potreban je izvor koji emituje alfa, beta ili gama zračenje.

Za izvođenje nekih eksperimenata i demonstraciju fenomena potrebni su apsorberi od aluminijuma i olova.

MOGUĆI EKSPERIMENTI

- merenje intenziteta zračenja u funkciji daljine
- apsorpcija beta zračenja u aluminijumu odnosno domet beta čestica u aluminijumu
- apsorpcija gama zračenja u olovu
- merenje osnovnog nivoa zračenja (fona)

LISTA DELOVA

- GM Gajigerov brojač, Philips 18504, debljina prozora 2-3 mg/cm²
Z tinjalica, za svetlosnu indikaciju
ZV.... zvučnik ili slušalice za akustičnu indikaciju
D dioda BZ 450
C kondenzator 1000 pF
TR.... transformator
T tranzistor OC 76
R1 – R3 otpornici
B baterija 1,5 volt
PR.... prekidač za puštanje u rad



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. tab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vlača



minijaturni nuklearni spektrometar

MINUS-1

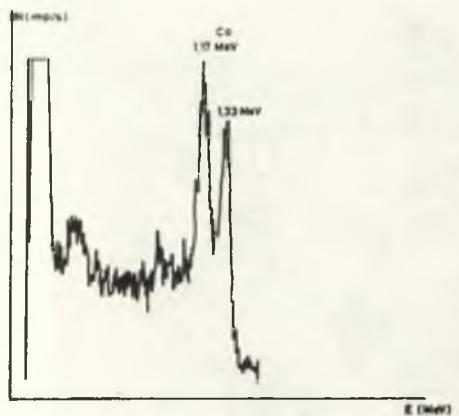
Uredjaj je namenjen za energetsku analizu radioaktivnih izvora i uzoraka. Može da se koristi sa scintilacionim, proporcionalnim i poluprovodničkim detektorima.

U svojoj blok šemi sadrži:

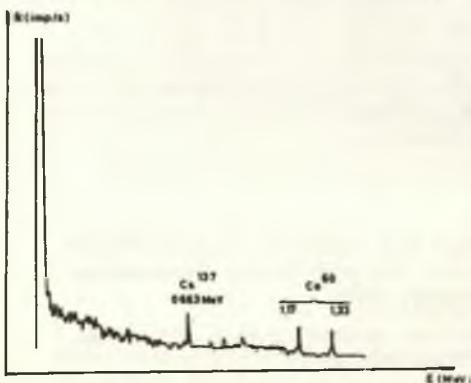
- linearni impulsni pojačavač
- jednokanalni amplitudski analizator
- generator linearne vremenske baze
- merač srednje brzine brojanja.

Analiza se može vršiti ručno ili automatski pri čemu se koristi generator linearne vremenske baze koji ceo opseg analize može da predje sa deset brzina izmedju 10 sekundi i 14 časova. Početak analize može biti postavljen na bilo koju tačku energetskog spektra.

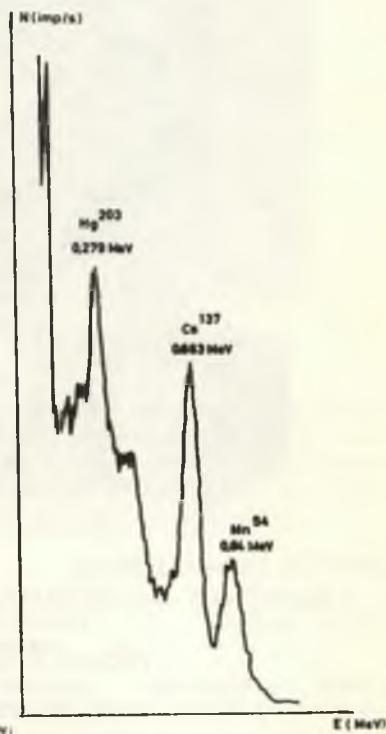
Analiza može biti integralna (brojanje svih impulsa iznad



Spektar Co^{60} animljen sa scintilacionim sondom $15''$ NaI(Tl) rezlaganje 64



Spektar Co^{60} i Cs^{137} animljen sa poluprovodničkim Ge-Li detektorom (rezlaganje 5 keV FWHM)



Spektar izvora Hg^{203} , Cs^{137} i Mn^{54} animljen sa supljim kristalom NaI(Tl)



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fab. 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



mikrologički skaler MIS-6N

Uredaj je namenjen za brojanje impulsa iz nuklearnih detektora. Primenjene linearne i mikrologičke kola omogućile je postizanje velike ulazne osjetljivosti i velike brzine brojanja, te o i kompaktnost konstrukcije.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Ulagani signal	pozitivan ili negativan, maksimalne amplitude 5 V
Ulagana osjetljivost	kontinualno promenljiva u granicama 20 mV do 200 mV
Ulagana impedanca	veća od 1 kOhm
Brzina brojanja	do 2 MHz
Kapacitet brojača	6 dekada sa Nixie cevima kao indikatorima
Napajanje	12 V, 6 W jednosmerni izvor
Dimenzije	290x220x150



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIĆ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fah 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



modularni sistem za sakupljanje podataka sa 20–100 kanala

Sistem centralizovano sakuplja analogne podatke, vrši njihovu konverziju u digitalan oblik, a dobijenu digitalnu informaciju prikazuje optički i štampa je. Koristeći odgovarajuće transduktore - merno pretvaračke organe - ovakav sistem omogućuje centralizovano sa-
kupljanje i primornu obradu informacija o temperaturi, pritiscima, protocima i sl. na većem broju mernih mesta. Informacije se mogu sakupljati kontinualno ili se može u željelim vremenskim intervalima dobiti po jedan skup informacija sa svih mernih mesta.

Sistem je sastavljen od modularnih jedinica koje pojedinačno predstavljaju jedinice sa određenim funkcionalnim osobinama, a izabranim skupom jedinica ostvaruje se potrebna celina sa predviđenim funkcionalnim mogućnostima. Osnovni model, sačinjen od osnovnih modularnih jedinica, predviđen je za rad sa 20 kanala. Međutim, jednostavnim dodavanjem modula ulaznih jedinica sistem se može proširiti za rad sa do 100 kanala. Dodavanjem ovom osnovnom modelu daljih modularnih jedinica, koje se ne smatraju osnovnim, dobijaju se sistemi raznovrsnih funkcionalnih mogućnosti. Tako se može dobiti sistem u kome se može unapred izvršiti izbor i redosled kanala sa kojih se informacije skupljaju; jedan se kanal može izdvajati kao prioriteten i sa njega uzimati informacije češće nego sa ostalih ili, informacija se može komparirati sa odobronim donjim i gornjim graničnim vrednostima i indicirati prelazak tih granica, itd.

Ovakvo izvođenje sistema pomoći modularnih jedinica omogućuje i primenu mehaničke standardizacije: sve modularne jedinice su smeštene u n/8 rack sistem. Time se, pored ostalog, veoma pojednostavljuje komponovanje različitih varijanti sistema.

KARAKTERISTIKE OSNOVNOG MODELA

Kapacitet	20 - 100 kanala
Brzina	2 sec. po kanalu (određena brzinom štampača)
Uložni signal	0 + 20 mV, 0 + 100 mV, 0 + 200 mV, 0 + 1 V, 0 + 10 V, 0 + 200 V
Tačnost	0.1 % na opsegu 0 + 100 mV
Informacija	Sadrži dve cifre adrese i tri cifre podataka izmeđenog na kanalu
Noćin rada	<ul style="list-style-type: none"> - automatski (jednacikličan ili kontinualan) - ručni
Izbor granica skaniranih kanala	proizvoljno postavljanje prvog i zadnjeg kanala u nizu kanala sa kojih se uzima informacija
Komande	<ul style="list-style-type: none"> - ručni ili automatski "start" - početak skaniranja - ručni ili automatski "stop" - zastavljanje skaniranja - ručni "reset" na prvi kanal
Dimenzije:	528 x 445 x 483 mm
Težina:	oko 35 kg



INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD – VINČA

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



univerzalni scintilacioni detektor USD-4

Univerzalni scintilacioni detektor USD-4 služi za analizu i detekciju nuklearnih zračenja α , β čestica, neutrона, X i γ zračenja. Dimenzije detektora omogućavaju naknadno ugradjivanje pomoćnih uredjaja za specijalne uslove merenja.

Skidanjem kristala fotokatoda fotomultiplikatora ostaje slobodna. Fotomultiplikator može da služi kao detektor svetlosnog zračenja, pa se tako može napraviti i vrlo osetljivi fotometar.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Detektori:

- za α čestice-ekran ZNS (Ag);
- za β čestice-plastični scintilator;
- za neutrone - „hornijak“, ZnS(Ag) obogaćen sa B-10;

za γ kvante-kristal NaJ(Tl)

Kristali su postavljeni na adapttere i zavrću se neposredno na gnezdo fotokatode.

Radni naponi:

za α čestice do 800 V

za ostale zračenja do 1500 V

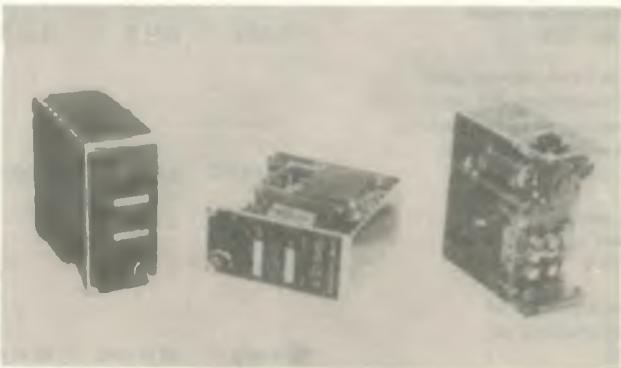
Proporcionalna oblast fotomultiplikatora do 1100V

Opseg merenja:	najveći prostorni ugao do 2π Podešavanjem geometrije prostorni ugao se može proizvoljno menjati
Dijametar fotokatode:	efikasno do 40 mm
Mrtvo vreme	do $0,5 \mu\text{sec}$
Energetska razlaganje	za γ liniju Cs-137 od 7-12%
Osnovna aktivnost (fon)	za α energije od 1 MeV- α do 2 imp/sat; za β energije od 50 keV- β 30 imp/min; za γ energije od 100 keV- γ do 300 imp/min (kristal $2'' \times 2''$)
Radioaktivni izvori:	Osnovna aktivnost je integralno mereno sa naznačenim početnim energijama bez zaštite.
Oprema:	čvrsti dijametra do 40 mm standardno je detektor opremljen za rad u impulsnom režimu. Na zahtev se može napraviti željeni specijalni tip
Elektronska oprema	brojački komplet SK-T3



**INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD – VINČA**

Beograd, pošt. fab 522, tel. 40-871, 44-961, telegram: Vinčainstitut
Teleks: 11563-YU Vinča



izvori napajanja niskog napona NN-6/1, NN-12/1 i NN-24/0,5

Izvori napajanja niskog napona NN-6/1, NN-12/1 i NN-24/0,5 služe za napajanje tranzistorских uređaja.

Naponi napajanja 6, 12 i 24 V usvojeni su u skladu sa preporukama Međunarodne Elektrotehničke Komisije (IEC), prihvaćenim u većim zemljama, kao standardni naponi za tranzistorске instrumente.

Dimenzije i karakteristike izvora napajanja omogućuju njihovo korišćenje u instrumentima, mernim kompletima, šasijama instrumenata modularnih sistema ili u samim modulima.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Izvor napajanja	NN-6/1	NN-12/1	NN-24/0,5
Izlazni napon	6 V	12 V	24 V
Maksimalna izlazna struja	1 A	1 A	0,5 A
Polaritet izlaznog napona.			
Prije potrebi može se uzemljiti - ili + pol izvora napajanja			
Stabilnost izlaznog napona.			
Za promenu napona mreže od -15% do +10%	0,05 %	0,01 %	0,01 %
Promena izlaznog napona usled promene temperature. Pri nominalnom napunu mreže i pri maksimalnom opterećenju u granicama od +10 do +45°C	0,004 V/°C	0,001/V°C	0,0005 V/°C
Prelazno stanje			
Pri promeni opterećenja od 10% do 90%	2 μ s	2 μ s	1 μ s
Unutrašnja otpornost pri promeni opterećenja od 0 do 100 %	60 m omu	60 m omu	40 m omu
Talasnost			
Pri maksimalnom opterećenju	50 μ Vpp	50 μ Vpp	20 μ Vpp
Dimenzije	50x110x110 mm	50x110x110 mm	50x110x110 mm
Težina	1,25 kg	1,25 kg	1,25 kg

Stabilnost izlaznog napona za promenu mreže od - 15 % do + 10 %	0,01 %
Temperaturna stabilnost od 0 do 55°C	0,01 V/°C
Prelazno stanje od 10 % do 90 % opterećenja	20 μ s
Izlazna impedanca	200 m ohm
Talasnost	50 μ Vpp
Dimenzije	285 x 245 x 160 mm
Težina	7,5 kg

