JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU
BEOGRAD

RADOVI
V. jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti

Plenarno zasedanje
Sekcija b
Sekcija c
Sekcija d
Sekcija e
Sekcija f
Sekcija g
Sekcija h
Sekcija i

BLED
od 6. do 9. oktobra 1970

Radovi izloženi na V. jugoslovenskog simpozijumu o radiološkoj zaštiti koji je održan na Bledu od 6. do 9. oktobra 1970. godine nisu štampani u jedinstvenom zborniku radova, već su kao separati dati u 3 zasebne korice:

- Plenarno zasedanje
- Sekcije b, c, d, e
- Sekcije f, g, h, i

Kad smo odlučili da napravimo zbornik u elektronskom obliku, uvideli smo da neki brojevi nedostaju. Kontrolom više primeraka zbornika sa separatima utvrdili smo da u svima nedostaju radovi sa istim brojevima, ali nije isključeno da mi nismo imali te radove u našim primercima. Izvinajvamo se autorima ako zbog toga neki od radova nedostaju u ovom elektronskom izdanju.

Gordana Pantelić

11.04.2016. godine

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU
BEOGRAD

RADOVI
V. jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti

Plenarno zasedanje

BLED
od 6. do 9. oktobra 1970

1. Uvod

Primena izvora zračenja je svakako jedan od indikatora razvijenosti jedne zemlje, njenog tehničkog, ekonomskog i naučnog nivoa. Sa privredom raste broj radioaktivnih izotopa i drugih izvora zračenja primenjenih u industriji i kontroli procesa, kvaliteta i kvantiteta proizvodnje i u automatizaciji. Rastu takodje potrebe u energiji koju sve više proizvode nuklearne elektrane. Porast standarda stavlja u prvi plan brigu o čoveku te se izvori zračenja sve masovnije primenjuju u medicini za dijagnostiku i terapiju. Naravno da i nauka sve više koristi izvore zračenja za izučavanje prirode i njenih manifestacija.

Tema ovog simpozijuma, medjutim, nije da diskutuje koristi od sve masovnije primene sve većeg broja sve jačih izvora zračenja. To je neminovnost. Ali, kao i u mnogim drugim delatnostima, čovekov uticaj na prirodu krije često i neke negativne posledice koje se ne mogu odmah sagledati. Osnovna tema simpozijuma je tako izabrana da u prvi plan istakne upravo moguće negativne posledice od primene izvora jonizujućih zračenja i to u jednom užem kontekstu: u akcidentima (udesima) i u vanrednim situacijama. Pri tome genetske posledice masovnog ozračivanja stanovništva i povećanja fona zračenja iznad prirodnog, nisu zanemareni. Naprotiv, u referatu će se pobrojati osnovni uzroci koji povećavaju opasnost. Neki od njih će biti i obradjeni detaljnije.

Medjutim, za momenat je ocenjeno da je ovog trenutka oportunije koncentrisati se na neke očiglednije i neposrednije opasnosti koje se manifestuju somatskim efektima, dok bi se njihove šire posledice mogle obraditi bilo u drugim referatima, bilo na nekom od sledećih simpozijuma.

2. Akcidenti i akcidentalno ozračivanje

Akcidentalno ozračivanje još nije dovoljno jasno definisano zbog toga što nema zračenja koje ne može da ostavi neke štetne posledice. Najveći svetski stručnjaci još nemaju jedinstven stav o definiciji radijacionog akcidenta i akcidentalnog ozračivanja. To što se posledice ne manifestuju odmah ili tokom života ozračenog nije znak da ih nema, već više da ih ne možemo otkriti sada raspoloživim sredstvima, u ovom trenutku, u ovoj generaciji (primer Hirošime i Nagasaki).

Medjutim, neki dogovori i konvencije postoje. Pre svega treba utvrditi neke norme ozračivanja koje se smatraju tolerantnim (ne i dozvoljenim u bukvalnom smislu reči). Njihovo premašivanje bi trebalo da privuče pažnju odgovornih i da dovede do preduzimanja potrebnih mera, jer je indikacija nenormalnog stanja ili postojanja akcidenta.

Lica koja u svakodnevnom životu ne rade sa zračenjem te nemaju ni sredstva da otkriju njegovo prisustvo, pa prema tome ne mogu da preduzmu nikakve mere zaštite, ne bi smela da se nadju u situaciji da budu ozračena. To su "pojedinci iz stanovništva" i "stanovništvo" u celini. S druge strane, bez obzira na mere zaštite, praktično (a i teorijski) je nemoguće da oni koji rade sa izvorima zračenja ne budu ozračeni više nego "pojedinci iz stanovništva".

Već do sada su pomenute dve grupe kriterijuma prema kojima je moguće definisati akcident:

A - prema posledicama

a) somatskim

b) genetskim

B - prema broju ozračenih

a) masovno (stanovništvo, ili posebno osetljive grupe stanovništva; trudnice, fetusi, odojčad, odredjene kategorije bolesnika i sl.)

b) pojedinačno (ili manje grupe): radnici sa izvorima zračenja, povremeno zaposleni pored izvora, slučajno prisutni.

Razmatranje ove dve grupe kriterijuma dovodi do zaključka da masovno ozračivanje stanovništva daje veću verovatnoću nastajanja težih genetskih posledica (lokalno, za oblast, naciju ili čovečanstvo), dok čak i vrlo teške somatske posledice od ozračivanja pojedinaca ne moraju da imaju ozbiljne posledice po naciju. Prema tome, i kriterijumi za nedozvoljeno i akcidentalno ozračivanje stanovništva i pojedinaca s jedne strane i radnika s druge strane su različiti.

Ranije se smatralo da u praktične svrhe kod definicije akcidenata treba poći od norme za ozračivanje najugroženijih, tj. od radnika. Danas to nije toliko bitno. Svi akcidenti se unapred analiziraju i sve mere se predvidjaju da se obezbedi da ozračivanje stanovništva bude što manje, pri čemu je jasno da su time obuhvaćeni i profesionalno uposleni sa izvorima zračenja.

Mera akcidentalnog ozračenja nije prosta, jer se mogu koristiti doza ekspozicije ili apsorbovana doza. Medjutim, u praksi ovo ne pravi velike probleme, ako se definišu uslovi i vreme ozračivanja i daju sve ostale potrebni veličine. U diskusijama oko toga se napredovalo utoliko što su sve manifestacije ozračivanja i kontaminacije svedene na dozu. Tako se u poslednje vreme odstupilo od definisanja dozvoljenih koncentracija (iako se sa njima vrlo lako manipuliše). Umesto toga sve se više u praksi i stručnoj litsraturi definišu unete količine radioaktivnih materijala u organizam, jer se preko njih relativno lako dolazi do doza. Time je doza postala univerzalni kriterijum za sve slučajeve ozračivanja, spoljašnjeg i unutrašnjeg.

Svako preterano ozračivanje, tj. svako ozračivanje iznad tolerantnih granica ne mora se smatrati akcidentom. Na primer, ne smatra se akcidentom ako se neko planirano i smišljeno izloži većem zračenju i primi veću dozu da bi obavio neki zadatak ili sprečio veću nezgodu širih razmera. Na primer, ima radnih operacija koje se ne mogu izvršiti bez jačeg ozračivanja, kao kod remonta reaktora, pri saniranju akcidenata, u rudnicima fisibilnog materijala, pri proizvodnji izotopa, pri rentgenskim pregledima ili pri terapiji zračenje, itd. Sve to nisu akcidenti.

Znači, pod akcidentalnim ili vanrednim ozračivanjem se smatra pre svega nevoljno ozračivanje, izmudjeno sticajem okolnosti pri kome ozračeni prima dozu veću od tolerantne. Sad se postavlja pitanje:za koliko veću dozu? Neka čvrsta granica se ne može dati, ali se mogu definisati različiti nivoi koji daju u proseku odredjene posledice, te zahtevaju odredjene akcije.

Smatra se da odrastao čovek može godišnje primiti 5 mrem-a. Medjutim, preporučuje se da se za tri meseca ne primi više od 3 rem-a na celo telo. Zbog toga su ponegde doze od 3 rem-a uzete kao nivo početne akcije, tj. češće medicinske kontrole ozračenog.

Ozračivanja do oko 10-12 rem-a obično ne ostavljaju nikakve posledice. Neke zemlje, medju kojima i naša ("Službeni list SFRJ", br. 31/65, Pravilnik o dozvoljenim dozama..., čl. 3) zbog toga su ograničene godišnje ozračivanje na 12 rem-a za planirana vanredna ozračivanja radnika. Preporuke Medjunarodne agencije za atomsku energiju govore o 25 rem-a kao o akcidentalnoj dozi i ukoliko se primi jednokratno ili akumulira u kraćem vremenskom periodu.

Kod doza do oko 70-75 rem-a nastaju prvi znaci radijacionih oštećenja, ali još nema simptoma akutne radijacione bolesti, koji se javljaju tek iznad ovih ozračivanja. Do oko 130 rem-a još nema smrtnih slučajeva medju ozračenima. Neki autori zbog toga pominju dozu od 100 rem-a kao krajnju granicu, odnosno kao početak ozbiljne medicinske intervencije.

Medjutim, sve ovde pomenute veličine zavise i od niza drugih faktora: starosti osobe, dotle akumulirane doze, itd. S druge strane uvodi se i kriterijum dobrovoljnog ozračivanja iznad ovih granica, a definišu se i dopunski kriterijumi; kao: doza od 300 rem-a za tiroidu od udisanja jodа 131, 10 rad-a za fetuse, 2.000.000 ljudi-rema za masovna ozračivanja stanovništva kod nuklearnih akcidenata, itd.

Sve to govori:

1. da definicija akcidentalnog ozračivanja još nije definitivno usvojena, najviše zbog toga što postoji niz faktora i kriterijuma koji se moraju uzeti u obzir (ovde nisu svi navedeni);

2. da akcidentalnim ozračivanjima treba pristupiti kao i drugim opasnostima, realno procenjujući sve okolnosti, rezultate merenja i ostale faktore od uticaja.

To se može ilustrovati sa nekoliko primera:

1. Kod akcidenta na nuklearnom postrojenju uz emisiju radioaktivnih materija u atmosfer pravilo je da se posada evakuiše. Medjutim, svesno se ostavljaju jedno do dva lica sa zadatkom da pokušaju da spreče emisiju u okolinu, a time i veću nesreću. Da ta lica ne bi bila preterano ozračena, procenjuju se doze koje će primati i posle izvesnog vremena dežurni se zamenjuju. To je svesno i dobrovoljno ozračivanje, mada je nastalo kao posledica akcidenta. Međutim, medicinski tretman ozračenih zavisi isključivo od primljenih doza, bez obzira da li je ozračivanje voljno ili nevoljno, da li su u pitanju profesionalci ili stanovni vo.

2. Teleterapeutski izvor od oko 2 kCi je ispao iz zaštite i daje visoki fon zračenja u svim okolnim prostorijama (ili u okolini uopšte, ukoliko se akcident dogodio tokom transporta). Da bi se život normalizovao izvor se mora ukloniti, a to može da učini samo čovek koji će svesno i planirano primiti veliku dozu (planirano ozračivanje kao posledica akcidenta).

3. Radioaktivni materijal se rasuo na javnom mestu (saobraćajnica, bolnica, izložba, železnička stanica, itd.). Ukloniće ga ekipa za dekontaminaciju, ali će svaki njen član primiti veću dozu.

4. Jako kontaminiran teren u ratnim uslovima. Vojna jedinica je relativno dobro zaštićena u pokrivenom rovu, kao i grupa stanovnika u podrumu zgrade. Ali, oni nemaju životne namirnice ni vodu. Dotur potreba je neophodna, ali se ne može izvesti bez ozračivanja snabdevača (2 do 3 lica) - inače se razlikuje ozračivanje većeg broja ljudi ako bi se vršila evakuacija. Isti problemi će se javiti kod uklanjanja ranjenika sa kontaminiranog terena (dobrovoljno, odnosno planirano ozračivanje).

Ovi primeri, a naročito poslednji pokazuju da je definisanje doza za ratne slučajeve a za vojne potrebe, kao što su to neke armije uradile - dosta konzervativno. Kao što komandant, planirajući klasičnu ratnu operaciju mora da pretpostavi gubitke, a u konkretnoj akciji vodi računa da sačuva živu silu, u slučaju nuklearnog rata mora da primeni potpuno iste kriterijume. Drugim rečima, kad poznaje prirodu opasnosti (jačinu vatre, dozno polje i sl.) i zadatak, planira najefikasniji način njegovog izvodjenja da bi postigao potreban uspeh sa što manje gubitaka. Medjutim, to može da izvede samo lice koje dobro poznaje posledice ozračivanja i na osnovu toga može da ceni efektive sa kojima će raspolagati na kraju operacije. Na primer, izvesti akciju u trajanju od nekoliko sati tokom koje bi ljudi primili od 100 do 200 rem-a je besmisleno, jer će posle tog vremena većina vojnika biti bolesna i nesposobna za borbu.

U zaključku ovog poglavlja može se reći da svako ozračivanje iznad granica datih medjunarodnim preporukama (ICRP, IAEA) treba da bude predmet posebne pažnje, ali svako takvo ozračivanje ne mora se smatrati akcidentalnim. Akcidentalno ozračivanje nosi u sebi elemente slučajnosti, a primljene doze treba da su premašene, po jednim autorima 12 rem-a, odnosno 25 rem-a po medjunarodnim preporukama.

Svaki akcident zahteva mere intervencije i saniranja. Doze primljene u tim operacijama obično se ne smatraju akcidentalnim. Medjutim, čak i ako se neke brojke usvoje kao mera akcidentalnog i vanrednog ozračivanja, treba se čuvati svakog krutog i birokratskog držanja tih brojki, već treba realno i celovito prosudjivati situaciju.

3. Klasifikacija izvora

Izvori zračenja se mogu razvrstati na razne načine. Ovde ćemo usvojiti podelu prema načinu primene izvora i prema mogućnostima nastajanja akcidenata i njihovim posledicama. (T. Tasovac, diskusija na Savetovanju o zaštiti od zračenja, Herceg Novi, septembar 1963):

1. Nuklearna postrojenja za proizvodnju nuklearne energije i radioaktivnih izotopa (nuklearni reaktori i dr.);
2. Primena radioaktivnih izotopa u privredi, medicini i nauci;
3. Primena izvora X-zračenja (rentgen aparati) i
4. Radioaktivne padavine.

Svaka od ovih grupa izvora ima svoje karakteristike u odnosu na moguće akcidente, način njihovog nastajanja i razvoja, težinu i lokaciju akcidenta.

3.1. Nuklearna postrojenja

Nuklearna postrojenja su uglavnom stacionarni objekti sa izuzetkom nuklearnih brodova, podmornica i letilica. U većini njih se odvijaju procesi fisije koji se koriste za

proizvodnju energije, zračenja i radioaktivnih materija (nuklearni reaktori). U manjem broju postrojenja odvijaju se fizičko-hemijski procesi (izotopsko razdvajanje i obogaćivanje), hemijsko odvajanje elemenata, obrada, prerada, mehaničko oblikovanje ili naučna istraživanja. Zajednička im je osobina što stvaraju ili raspolažu vrlo velikim količinama radioaktivnih materija velikih intenziteta zračenja ili visokih radiotoksičnosti, ili svega zajedno. Skoro sva postrojenja iz ove grupe proizvode i radioaktivne otpatke.

Teorijske mogućnosti da nastane akcident u nuklearnim postrojenjima su neograničene. Neki od mogućih akcidenata mogli bi da dostignu razmere lokalnih katastrofa. Medjutim, baš zbog toga, nuklearna industrija i nuklearna privreda uopšte spadaju u najsigurniju privrednu granu, posebno u poredjenju sa saobraćajem, rudarstvom, gradjevinarstvom, domaćinstvom itd. Sigurnosno-zaštitne mere i uredjaji u praksi čine verovatnoću nastajanja akcidenata u nuklearnim postrojenjima neobično malom, što potvrdjuju i statistike.

Osnovne karakteristike mogućih akcidenata su sledeće:

- Nastaju nekom tehničkom greškom u postrojenju ili su prouzrokovani prirodnim nesrećama. Moguća je superpozicija akcidenata.

- Osnovni izvor zračenja je uvek nepokretan. Opasnost od direktnog spoljnjeg ozračivanja ljudi uvek je lokalizovana unutar postrojenja ili u krugu, i ugrožava samo zaposlene.

- Izvor opasnosti po okolinu je akcidentalna emisija radioaktivnih gasova i aerosola u znatnim količinama

i visoke aktivnosti. Akcidentalnu emisiju je vrlo teško staviti pod kontrolu, ako je jednom započela. Takodje postoji opasnost od ispuštanja tečnih radioaktivnih otpadnih materija.

- Širenje opasnosti po okolini zavisi već jedino od meteoroloških uslova i konfiguracije terena, ali težina posledica zavisi i od naseljenosti, prirode privrednih aktivnosti u okolini, i sl.

- Saniranje posledica takvih akcidenata, ukoliko je ekonomski opravdano, traje mesecima i zahteva vrlo velika materijalna i tehnička sredstva.

- Odbrambene i zaštitne mere zasnivaju se na tzv. analizama sigurnosti. Njima se verovatnoće, nastajanje, razvoj i posledice akcidenata unapred predvide, pa se na osnovu toga izvrši dobar izbor lokacije nuklearnog objekta, usmerava dalji privredni razvoj i naseljavanje okoline, i odrede inherentne sigurnosno-zaštitne mere i oprema.

Proizvodnja radioaktivnih izotopa se vrši u nuklearnim postrojenjima. Akcidenti sa izvorima u procesu proizvodnje i pripremanja ostaju lokalizovani unutar postrojenja, a posledice po okolinu su beznačajne. Medjutim, dosta radnika je do sada prezračeno greškama i akcidentima u proizvodnji.

Nuklearne mašine, kao akceleratori, ciklotroni i sl. spadaju u ovu grupu. Medjutim, oni predstavljaju opasnost ozračivanja samo dok su u radu. Ukoliko proizvode i izotope važi ono što je rečeno napred.

Hemijska nuklearna postrojenja mogu da sadrže velike količine toksičnih i otrovnih materijala (na primer, fluor, berilijum i sl.) i radiotoksičnih materija kao uranove

izotope, plutonijum, radioaktivni jod, stroncijum, cezijum i sl.

O nuklearnim postrojenjima će biti više govora u posebnom poglavlju rada.

3.2. Primena izotopa

Osnovna razlika ove grupe izvora od prethodne sastoji se u sledećem:

- Radioaktivni izotopi zrače tačno definisanim zračenjem, tako da se svakog trenutka može znati kakva je maksimalna moguća opasnost od njih.

- Klasa radiotoksičnosti je poznata, kao i količina materije.

- Zaštitne mere se preduzimaju prema prirodi izvora i primene.

- Akcidenti nastaju greškom u transportu ili primeni ili oštećenjem zaštite. Ljudski faktor u nastajanju akcidenata je mnogo značajniji.

- Mesto akcidenta može da bude bilo gde od momenta isporuke izvora od proizvodjača do stokiranja u radioaktivne otpatke. Tj. izvori mogućih opasnosti mogu doći u publiku, za razliku od nuklearnih postrojenja gde dolazi publika. Akcidenti se mogu dogoditi i dogadjali su se u transportu, na putevima, ulicama, magacinima, fabrikama, bolnicama, izložbama, naučnim institutima, itd.

- Priroda opasnosti je mnogo češće direktno ozračivanje, nego lokalna kontaminacija, a vrlo retko dolazi do ugrožavanja šire okoline.

- Akcident se vrlo lako stavlja pod kontrolu i lokalizuje, a posledice se mogu brzo i trajno ukloniti.

Primena radioaktivnih izotopa i izvora zračenja zavisi jedino od potrošača i korisnika, a ne od mogućnosti zemlje da ih proizvodi, pošto se lako uvoze. I primeni izotopa biće posvećeno posebno poglavlje.

3.3. Rentgenski aparati i izvori X-zračenja

Rentgenski aparati nalaze sve masovniju primenu u medicini i privredi. To su uglavnom nepokretni izvori zračenja koji predstavljaju opasnost od mogućeg preozračivanja pojedinaca samo dok su u radu. Kada su isključeni ne predstavljaju izvore zračenja. Za razliku od do sada navedenih izvora rentgen aparati ne mogu nikoga usmrtiti dejstvom svog zračenja, ukoliko nije u pitanju krajnji nehat, neznanje ili namera. Veći akcidenti zbog tehničkih nedostataka su isključeni. Neispravnost samog uredjaja ili zaštite, kao i neumešno rukovanje u medicinskim ustanovama predstavljaju često veću opasnost za osoblje nego za pacijente.

Zbog toga što ne predstavljaju opasnost akcidentalnog ozračivanja, rentgen aparati neće biti posebno diskutovani u ovom referatu. Njima bi trebalo posvetiti veću pažnju sa drugih aspekata:

- posledice ozračivanja personala (tehničara i lekara) po zdravlje, dužinu života i sl.

- mogućnost masovnog ozračivanja stanovništva, što u suštini diže fon prirodnog zračenja i narušava ravnotežu u prirodi te može imati i genetske posledice.

Medjutim, to nije osnovna tema ovog simpozijuma.

3.4. Radioaktivne padavine

Radioaktivne padavine mogu nastati i prilikom akcidenata na nuklearnim postrojenjima, ali zato što su lokalnog karaktera o njima će se govoriti kada i o tim postrojenjima.

Osnovne količine radioaktivnih padavina iz atmosfere posledica su preko 500 izvršenih nuklearnih eksplozija u svetu. Osnovna karakteristika nuklearnih eksplozija je da su sve izvršene vrlo daleko od naše zemlje, ali da su se njihove posledice osetile na celoj zemaljskoj kugli, pa i u našoj zemlji. Nailazak radioaktivnog "oblaka", količina padavina, površina izložena njima i nivo kontaminacije potpuno su van moći čovekove kontrole.

Dejstvo nuklearnih eksplozija se može izraziti zonama efekata:

- prvu zonu obuhvata razorna moć udarnog talasa sa svim posledicama: masovna smrt, radijaciona bolest, kontaminacije, a dugo vremena kasnije - umiranje i genetske posledice;

- velike površine jakih kontaminacija (pojasevi dugi i stotinama kilometara, a desetinama široki) zavisno od visine i snage eksplozije i lokalnih meteoroloških prilika. Posledice su pojava radijacionih bolesti i genetskih posledica u budućnosti. Smatra se da u ovoj zoni neće biti smrtnih slučajeva, mada računi pokazuju i tu verovatnoću;

- ostali deo sveta: povećanje fona zračenja iznad normalnog. Verovatnoća genetskih posledica nije zanemarljiva. Intenzitet padavina, vreme nastanka posle eksplozije, kao i druge karakteristike zavise skoro isključivo od visinskih strujanja vazdušnih masa. Mesto mogućih padavina i vreme

nailaska posle eksplozije nuklearnog oružja moguće je relativno tačno predvideti ako se prati razvoj meteorološke situacije u svetu na potrebnim visinama. Čovek još ne raspolaže sredstvima da izbegne padavine. Njih nisu u stanju da spreče ni bitno skrenu ni druge nuklearne eksplozije. Za sada se smatra da posebna odbrana u ovoj zoni nije ni potrebna. Medjutim, od tog "ostalog dela sveta" i njegove sposobnosti da se zaštiti od ove vrste padavina u slučaju nuklearnog rata dveju nuklearnih supersila - zavisiće opstanak čovečanstva. Životu u prve dve zone ništa neće moći da pomogne. Medjutim, ovaj problem je tema drugih referata.

--- oOo ---

U nastavku ovog referata biće posebno obradjene samo dve kategorije izvora: izotopi sa kojima su mogući akcidenti na svakom mestu, i nuklearni reaktori kao najjači mirnodopski izvori zračenja koje je čovek stvorio.

Ostali uvodni referati obradiće: procenu razvoja posledica akcidenata, merenja za utvrdjivanje veličine posledica, mere i nivoe akcija i na kraju medicinsko zbrinjavanje ljudi obuhvaćenih posledicama akcidenta.

4. Radioaktivni izotopi

Svaki radioaktivni izotop predstavlja potencijalnu opasnost i to ne samo za osobe koje ga koriste. Ova opasnost se najčešće, da ne kažemo isključivo, javlja prilikom akcidenata koji se mogu desiti i dešavaju se u ma kojoj fazi rada. Stepen opasnosti zavisi od vrste i količine radioaktivnih materijala i od njihovog fizičkog i hemijskog oblika, a naravno i od prirode i težine akcidenta.

U našoj zemlji proizvodnja i primena radioaktivnih izotopa raste iz godine u godinu po broju, intenzitetu zračenja i po oblastima primene. Podaci koji se iznose u ovom referatu odnose se samo na radioaktivne izotope proizvedene, odnosno isporučene od strane IBK u Vinči, pa ne obuhvataju izotope proizvedene u drugim institucijama (IRB,IJS) ni uvezene iz inostranstva. U tabeli 1, prikazane su količine radioaktivnih izotopa u (Ci) proizvedene u periodu 1961. - 1969. god. u IBK i isporučene raznim ustanovama i preduzećima u zemlji. U poslednjem horizontalnom redu naveden je ukupan broj isporuka (pošiljaka) za svaku godinu.

U tabeli 2, dat je detaljniji pregled broja isporuka i količina pojedinih radioaktivnih izotopa za (1968), (1969) god. i period januar - maj 1970. god.

U tabeli 3, prikazan je pregled kretanja broja korisnika radioaktivnih izotopa za period 1966. - 1969. god.

Kao što je već rečeno, akcidenti se mogu desiti, a i dešavaju se, u ma kojoj fazi: proizvodnji, pakovanju, transportu i primeni. Pri svakom akcidentu biva ugroženo mesto na kome se on dogodio i, zavisno od okolnosti (obim i priroda akcidenta, fizičko-hemijski oblik izotopa, meteorološki uslovi, karakteristike mesta na kome se akcident dogodio i sl.), njegova bliža i dalja okolina.

Poznato je da se proizvodnja i pakovanje radioaktivnih izotopa u svetu, pa i kod nas, obavlja u specijalizovanim ustanovama, koje imaju obučeni kadar i specijalno za to opremljena mesta na koja ima pravo pristupa ograničen broj stručnjaka. Pored toga, čitav taj posao se obavlja pod stalnom riguroznom kontrolom službe zaštite od jonizujućih zračenja.

Zahvaljujući svemu ovom, akcidenti koji nastaju pri proizvodnji i pakovanju radioaktivnih izotopa nisu tako česti i lokalnog su karaktera. Ovim se želi reći da je opasnost koja se pri ovim akcidentima javlja najčešće prostorno ograničena na samo mesto dogadjaja a po neki put i na njegovu najužu okolinu (prostoriju u kojoj se desio akcident). Naravno, može da dodje i do ugrožavanja šire okoline, ali je dosadašnja praksa u svetu pokazala da je verovatnoća za nastajanje ovakvih akcidenata zanemarljivo mala - praktično jednaka nuli.

Nešto je drugačija situacija sa transportom jer akcident može da se desi i van kontrolisanih zona, na mestima gde je cirkulacija ljudi i vozila velika i u uslovima koji omogućuju širenje radioaktivnih materijala i na veća udaljenja.

Medjutim, i ako akcidenti u transportu nisu veoma retki, dosadašnje iskustvo u svetu je pokazalo da je u samo malom broju slučajeva bilo ugroženo šire područje. Radi se naime o tome da su propisi o pakovanju radioaktivnih izotopa za transport takvi da zahtevaju da ambalaža garantuje odredjeni stepen bezbednosti i u slučaju akcidenta. Ovo je naročito slučaj kada se radi o transportu takvih količina radioaktivnih izotopa većeg intenziteta zračenja kada se zahteva ambalaža tipa "B" koja skoro potpuno onemogućuje curenje sadržaja pošiljke pa i onda kada je zahvaćena požarom ili potopljena u vodu.

Ambalaža tipa "A" ne pruža toliki stepen bezbednosti u akcidentima, pa može da se desi da dodje do curenja sadržaja iz paketa u slučaju požara, oštećenja paketa i sl. Naravno, ne sme se odbaciti ni slučaj gubljenja pošiljke u toku transporta pri čemu nalazač može da prouzrokuje kontaminaciju i njeno širenje ako nestručno otvori paket.

Za procenu stepena opasnosti koja može da se javi pri transportu radioaktivnih izotopa mogu se uzeti do sada maksimalno transportovane količine (samo one koje se još uvek pakuju u ambalažu tipa "A") i pretpostaviti da će pri akcidentu iz ambalaže iscureti ceo sadržaj koji je u takvom obliku da se lako može širiti po okolini. Za ova razmatranja koristan je i podatak da se iz IBK jednim prevoznim sredstvom u jednoj turi nije transportovalo nikad više od 3 Ci raznih izotopa u ambalaži tipa "A".

Maksimalne količine pojedinih radioaktivnih izotopa u jednoj pošiljci navedene su u tabeli 4. U istoj tabeli date su i maksimalne količine radioaktivnih izotopa koje se mogu transportovati u ambalaži tipa "A".

Do sada najevći akcident pri transportu radioaktivnog materijala u našoj zemlji se desio 1960. god. kada je na autoputu Beograd-Zagreb izgoreo kamion kojim je za izložbu u Beogradu iz Francuske prevožen izvor od nekoliko desetina mCi Co^{60}. Tom prilikom došlo je do kontaminacije kolovoza koja je uklonjena vodom. Skoriji akcident, bez posledica, bio je 1970. god. kada je iz voza izbačena pošiljka od 6,5 mCi koloidalnog radioaktivnog zlata.

Praksa u svetu i kod nas je pokazala da se najveći broj akcidenata dešava pri primeni radioaktivnih izotopa. Uzorci akcidenata su različiti ali je ipak najčešće ljudska greška. Da napomenemo samo akcident u Onkološkom institutu u Ljubljani 1961. god. gde je zbog nestručnog rukovanja prosut sadržaj jedne ampule od 10 mg Ra_2SO_4 i kontaminirano preko 1000 m^2 površine.

Vrlo je teško uopšteno predvideti stepen opasnosti koji se može javiti pri primeni izotopa. To se, medjutim, može izvršiti dosta precizno ako se zna količina i fizičko-hemijski oblik radioaktivnog izotopa kojim se rukuje.

Iz ovih razmatranja ne treba isključiti radiografske izvore zračenja, i ako oni obično predstavljaju opasnost za pojedince ili manje grupe ljudi. U više zemalja su ovakvi akcidenti imali teške posledice. U Meksiku su 4 osobe umrle ozračene radioagrafskim izvorima Co^{60}. U Argentini su jednom radniku koji je bio ozračen radiografskim izvorom morale biti amputirane obe noge. Ne treba zaboraviti da je u Zenici nestao jedan izvor Co^{60} koji nije nadjen.

Postoji još jedan vid u kome radioaktivni izotopi predstavljaju opasnost čija se veličina teško može odrediti. To su radioaktivni otpaci. Poznato je da se o radioaktivnom izotopu vodi briga i evidencija dok god je u upotrebi. Onog momenta kad on postane radioaktivni otpad jedina briga onog ko ga poseduje je da ga se na neki način otarasi. Radioaktivni otpadni materijali u skoro svim zemljama predstavljaju problem. Značaj ovog problema ilustruje i činjenica da je prilikom preporučivanja MDD za stanovništvo (čime je određen i broj osoba koji profesionalno može da radi sa izvorima zračenja) uzeto u obzir i ozračivanje širokih masa od uskladištenog radioaktivnog otpada. Zbog toga veliki broj zemalja ima posebne službe, ustanove ili preduzeća koji se brinu o sakupljanju, stokiranju, tretiranju i odlaganju radioaktivnog otpada. U našoj zemlji ovakva služba još ne postoji, mada IBK ima svoje privremeno skladište radioaktivnog otpada.

5. Nuklearni reaktori

5.1. Pregled akcidenata koji su se dogodili prvih petnaest godina rada reaktora u svetu

Akcidenata kritičnosti i ekskurzije snage bilo je 22. Pri tome je 6 lica izgubilo živote, 25 lica je primilo preko 25 rem-a, a izmedju 25 i 3 rem-a ozračeno je 46 lica. Medju ove akcidente spada i akcident na reaktoru RB u Vinči ujesen 1958. god. Skoro trećina akcidenata je nastala u prvih pet godina postojanja reaktora, velika većina u SAD, od toga većina u Los Alamos-u. Ovi akcidenti u principu ne daju veće materijalne štete. Najteži akcident kritičnosti je bio na reaktoru SL-1, kada je poginulo 3 lica.

Zbog grešaka u gorivnim elementima bilo je 24 akcidenta. Mrtvih i jako ozračenih nije bilo, ali je 32 lica primilo doze od 3 do 25 rem-a. Ovo su akcidenti koji obično prouzrokuju veće materijalne štete i zastoje u radu, a neki od njih su prouzrokovali vrlo ozbiljne kontaminacije okoline. Referentni akcident u ovoj grupi dogodio se 10.10.1957. god. na reaktoru za proizvodnju plutonijuma. Pored toga što su dva reaktora izgubljena (zatvorena) i ozračeno 14 lica medju personalom, šteta u okolini iznosi 60.000 (funti) samo na mleku jer je 1100 farmi sa 500 km^2 moralo da obustavi proizvodnju mleka za mesec ipo dana. Ova zabrana je usledila zbog emisije 20 kCi ^{131}I, 20 kCi Te, 600 Ci Cs, 90 Ci Sr itd. Nepunu godinu dana kasnije reaktor NRU u Kanadi je izazvao kontaminaciju 40 ha na kojima je oko 600 ljudi primilo srednju dozu po 2 rem-a. Zračenje unutar reaktorskog postrojenja iznosilo 100 r/h, a 18 lica iz personala je ozračeno. Dekontaminacija je trajala 3 meseca.

Pet akcidenata zbog korozije reaktorskih sistema sem većih materijalnih šteta nisu prouzrokovali ozračivanje osoblja ni kontaminaciju okoline.

Ostalih 20 akcidenata je nastalo kontaminacijom reaktorskih postrojenja i opreme. Broj ozračenih nije veliki, kontaminacija okoline nije bilo, a materijalna šteta na nekim reaktorima je znatna.

Poslednjih 10 godina nije bilo tako velikih akcidenata kao u prvih 15, iako se broj reaktora skoro utrostručio. Jedan od najtežih je u Aucensu u Švajcarskoj. Na sreću - ili nesreću, reaktor je izgradjen pod zemljom te je ozbiljna kontaminacija okoline sprečena, ali je reaktor nepovratno izgubljen. Sigurnost nuklearnih postrojenja dokazuje veliki broj nuklearnih podmornica (računa se 2 do 3 stotine). Neke od njih su imale ozbiljne havarije, nekoliko ih je potopljeno, ali nisu zabeleženi akcidenti kontaminacije.

Kao što se vidi iz datog pregleda za osoblje je najopasniji akcident kritičnosti, odnosno ekskurzije snage, a za okolinu oštećenja gorivnih elemenata uz narušavanje hermetičnosti reaktorskih sistema, jer se tada oslobadjaju fisioni produkti u okolinu. Za savremene energetske reaktore velike specifične snage, ekskurzija snage bi bila skoro katastrofalni akcident jer bi dovela do vrlo velikog zračenja usled koje bi na većini reaktora došlo do topljenja goriva i dehermetizacije sistema. Medjutim, kao najopasniji akcident smatra se gubitak rashladnog medijuma, kada usled velike zaostale snage počinje topljenje goriva, u roku nekoliko sekundi dolazi do ogromnog oslobadjanja toplote koja se ne može odvesti, do vrlo velikih pritisaka koji narušavaju hermetičnost, što dovodi do curenja fisionih produkata u okolinu.

Medjutim, ovakvi, najteži mogući akcidenti su istovremeno i najmanje verovatni zbog niza mera koje se preduzimaju prilikom projektovanja i gradnje. Na primer, u slučaju gubitka rashladjivača stupaju u dejstvo pomoćni uredjaji za rashladjivanje pre no što počne topljenje goriva. U nekim slučajevima jezgro, odnosno gorivo polivaju moćni vodeni tuševi. Istog trenutka se otvaraju sigurnosni ventili i ispuštaju višak pritiska vodene pare. Oko reaktora u tehnološkim postrojenjima počinju rad drugi tuševi sa trostrukim zadatkom: smanjenje pritiska, odvodjenje toplote i prva dekontaminacija. Voda se sliva u prostore predvidjene baš za ove slučajeve. Ventilaciju odmah zamenjuju kompresori koji gasove i vazduh vode u posebne rezervoare. U nekim slučajevima se samo reducira ili sprečava izbacivanje vazduha u okolinu, tj. uvodi se zatvorena cirkulacija, prečišćavanje vazduha kroz jodne i apsolutne filtre pre izbacivanja itd. Ova sigurnosno-zaštitna oprema stupa u dejstvo i radi potpuno automatski. Njen obim dejstva se predvidja na osnovu prethodnih proračuna mogućih akcidenata. Cena ove opreme iznosi od 20 do 60 % ukupnih investicija, što zavisi od tipa i snage reaktora. Medjutim, to je istovremeno i razlog više suprotnih tendencija:

- približiti energetske reaktore potrošačima, tj. većim naseljima zbog vrlo sigurnog rada;

- udaljiti ih od naselja kako bi se postigla veća ekonomičnost smanjivanjem investicija za sigurnosno-zaštitnu opremu.

Činjenica je medjutim, da dobro projektovan nuklsarni reaktor u normalnom radu izbacuje u atmosferu manje radioaktivnih materijala nego termoelektrana na fosilno gorivo,

a nema ni dima ni drugih štetnih materijala. Ali, ako nastane akcident...

5.2. Primeri nekih mogućih akcidenata

Da bi se dokazalo, pre svega organima nadležnim za izdavanje dozvola, a zatim i javnosti da je jedan reaktor siguran u svim uslovima rada i pri akcidentima, - radi se tzv. "Izveštaj o sigurnosti". On sadrži:

- opis reaktora i lokacije
- opis normalnih uslova rada
- analizu nastajanja, razvoja i posledice najznačajnijih mogućih akcidenata
- analizu verovatnoće nastajanja akcidenata
- analizu pouzdanosti i efikasnosti sigurnosno-zaštitne opreme u svim, pa i akcidentalnim uslovima
- planove akcija za pojedine akcidente, i sl.

Na osnovu ovih izveštaja, koji se obično sastoje iz nekoliko volumena sa po nekoliko stotina strana, slika, šema, rezultata ispitivanje opreme, rezultata ispitivanja fizičkih i matematičkih modela, - izdaju se dozvole za lokaciju, gradnju, probni pogon i normalnu eksploataciju. Važno je istaći da u principu jedna dozvola ne uslovljava sledeću jer se cela procedura sigurnosne analize ponavlja u svakoj etapi. Zato ima reaktora čija gradnja neće nikada biti završena.

Da bi se ilustrovalo kakvi se akcidenti očekuju navešće se nekoliko primera:

a) Reaktor RA u Vinči. Maksimalni mogući akcident je topljenje jezgra. Reaktorska zgrada se ne može hermetizovati, a izlazna ventilacija nije filtrirana. U normalnom radu, u trenutku nastajanja akcidenta ukupna aktivnost jezgra bi bila oko 10,000.000 Ci, da bi odmah posle zaustavljanja reaktora počela da opada, grubo srazmerno zakonu

$$t^{-0,2}$$

Tako bi u toku prvog sata posle akcidenta, kada bi počelo topljenje goriva, bilo oslobodjeno oko 870 kCi ukupne aktivnosti, a posle 24 časa - tokom jednog sata - 320 kCi. Pretpostavljeno je da će u okolinu difundovati oko 1% oslobodjene ukupne aktivnosti. Boravak u toku prvih 24 časa u krugu poluprečnika 100 m oko reaktora dao bi metalnu dozu od direktnog zračenja.

Sadržaj najznačajnijih izotopa dat je u sledećoj tabeli:

Izotop	kCi u momentu akcidenta	kCi posle 24^h	Klasa radiotoksičnosti
^{131}I	162	149	III
^{133}Xe	351	305	III
^{89}Sr	254	254	III
^{90}Sr	3,9	3,9	II
^{137}Cs	3,6	3,6	III

Pošto su obračunate količine emitovane tokom prvih 24 časa, izračunate su doze od kontaminacije okoline i to od direktnog ozračivanja iz oblaka, sa tla, unošenjem

preko životnih namirnica i udisanjem, a za srednje vremenske uslove (brzina vetra 5 m/sec) i nepovoljne (v = 2 m/sec), dobijeni su rezultati koji pokazuju:

- Morala bi se izvršiti hitna evakuacija na rastojanju od 300 do 600 m zbog velikih doza koje bi bile primljene od spoljnjeg ozračivanja iz oblaka fisionih produkata i sa tla.

- Zbog opasnosti od udisanja joda deca bi morala biti evakuisana na rastojanju od 800 do 2000 m, a odrasli od 400 do 800 m.

- Zabrana korišćenja povrća bi obuhvatila rastojanja od 4 km, a mleka od 18 do 25 km.

Ovo su mere koje bi trebalo automatski primeniti u momentu nastajanja akcidenta a u pravcu vetra. Ugroženi prostor bi se mogao tačno odrediti isključivo kasnijim merenjima.

b) Indijski reaktor blizu Trombaja u Indiji, snage 400 MW. Na lokaciji su karakteristična različita str anja vazduha danju i noću. Topljenje jednog gorivnog elem - ta i pored efikasnosti filtera od 99,99% dalo bi dozu od 16 mrem-a/h na 1 km preko dana, ali preko noći 25 mrem/h čak do 25 km. U slučaju maksimalnog akcidenta ove doze treba pomnožiti sa 100.

c) Reaktor BR-3 u Belgiji, hermetizovan, ima filtre, tuševe i dr. U slučaju maksimalnog akcidenta došlo bi do oslobodjenje nekoliko stotina kirija fisionih gasova i halogenih elemenata. Tolerantne doze bile bi tek na oko 10 km od reaktora.

d) Ukoliko u slučaju zemljotresa ili sl. padne

gornja četvrtina dimnjaka reaktorske ventilacije, na rastojanju od 15 do 60 m doze će porasti za 1/4 pri istim ostalim uslovima. Tek na daljini od preko 180 m neće se osetiti bitna razlika.

Kao što se vidi iz ovih nekoliko primera reaktori su onoliko sigurni koliko imaju ugradjene sigurnosno-zaštitne opreme i kako se sa njima rukuje. Medjutim, osoblje reaktora, ali i okolno stanovništvo moraju stalno imati sveže znanje o tome šta se na reaktoru može dogoditi i šta treba tog trenutka učiniti. Ovo znači stalan trening za osoblje, a povremene vežbe za stanovništvo, što i jednima i drugima može koristiti u vanrednim situacijama.

Zaključak

Ni vreme ni prostor nisu dozvolili da se o samim akcidentima detaljnije govori, što bi, verovatno, celu sliku učinilo realnijom i jasnijom. Medjutim, u našoj zemlji zbor relativno niskog nivoa primene izvora zračenja i nuklearne energije još nije postalo krajnje aktuelno da se akcidenti svestrano i detaljno obradjuju u cilju generalizacije iskustava i dogovora o širim merama. S te strane smo u relativno povoljnom položaju u odnosu na razvijene zemlje jer se možemo koristiti njihovim iskustvima, da ne bi smo sami kroz njih prolazili kada definitivno krenemo putem "nuklearizacije".

Medjutim, iskustva nećemo morati samo da sakupljamo na svojim sopstvenim akcidentima ukoliko blagovremeno omogućimo da o problematici rada sa izvorima zračenja i

merama zaštite odlučuju oni koji sa time najviše rade i o zračenju najviše znaju, kao i ukoliko se brže oslobodimo navike da više sredstava izdvajamo za saniranje posledica raznih nedaća umesto da blagovremeno izdajemo manja sredstva da se nesreće ne dogode.

Tabela 1.

Pregled isporuka nekih radioizotopa od 1961. - 1969. (aktivnost Ci)

Radioizotop	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
J-131	0,3	6,6	3,7	17,9	31,5	39,9	44,0	52,8	66,0
Au-198	0,1	4,4	-	6,2	8,1	27,3	25,0	16,2	15,7
P-32	0,1	0,5	0,4	1,5	1,7	1,7	1,2	1,5	1,3
S-35	0,1	0,1	0,3	0,3	1,1	0,6	1,0	1,0	0,8
medicinski aplikatori Au-198, Co-60, Ir-192	-	-	-	1,0	5,6	29,6	41,8	23,4	8,2
J-131 obalež.jed.	-	-	-	-	-	0,1	0,8	0,9	1,3
Ir-192 sa radiograf.	142	263,2	303,1	754,3	2310,3	1920,1	2069	2188	1991,9
Co-60	8,2	231,2	16,8	22,3	41,7	12467	7000	1926	2050,4
Broj isporuka:	1929	804	437	926	1183	1307	1517	1906	2041

Tabela 2.

Pregled isporuka radioaktivnih izotopa za period

januar-decembar 1968. god.
januar-decembar 1969. god.
januar-maj 1970. god.

Red. broj	I z o t o p	Broj isporuka			Aktivnost u mCi		
		1968.	1969.	1970.	1968.	1969.	1970.
1.	J-131	568	537	310	52782	66038	34300
2.	Au-198	409	445	214	1449	15748	6336
3.	P-32	97	96	52	1449	1324	577
4.	Cr-51	41	70	46	175	669	236
5.	Ca-45	4	9	33*	23	55	1668*
6.	S-35	5	9	-	1064	814	-
7.	Fe-55, 59	3	6	-	12	27	-
8.	Sr-85, 89	8	10	-	415	291	-
9.	Co-60	3	2	-	12	14	-
10.	La-140	2	3		10	440	-
11.	Ce-141	9	5		817	957	-
12.	Na-24	1	-	-	11	-	-
13.	Br-82	2	5	-	2	644	-
14.	K-42	1	1	-	12	2	-
15.	Ag-110	3	-	-	25	-	-
16.	Zn-65	1	2	-	1	9	-
17.	Ba-131	2	-	-	5	-	-
18.	Zn-95	2	-	-	25	-	-
19.	Obeležena jedinjenja J-131	192	290	173	893	1[illegible]8	800
20.	Medicinski aplikatori Au-198	23	16	14	23398	8256	6874
21.	Co-60 gromobrani		240	100		60100	17800
22.	Co-60	138	5	6	25795	90341	69
23.	Ir-192 radioaktivni izotop	193	186	77	2188580	1991900	747800
24.	Ozračen materijal	193	70	50	133959	4524	7570
25.	Kontrolni izvori	19	27	27	31	173	10
26.	Teleterapeutski izvori Co-60	1	1	-	1900000	1900000	-
	S v e g a :	1906	2041	1002	4345659	4143743	824040

* Dato zbirno za Ca-45, Sr-85, 89; Zn-65, Ce-141 i dr.

Tabela 3.

Pregled broja korisnika radioaktivnog materijala
1966. - 1969.

Oblast primene	1966.	1967.	1968.	1969.
Industrija	32	33	39	43
Medicina	29	34	36	37
Naučne ustanove	25	29	32	35
Vojne pošte	3	3	3	1
Inostrane firme	1	1	1	1
Svega:	90	100	111	118

BR. 248/70

Tabela 4.

Pregled isporuka radioaktivnih izotopa

- za period januar-maj 1970. -

I z o t o p	Maksimalna količina izotopa u ambalaži tipa "A" (Ci)	Maksimalna kolicina izotopa u jednoj pošiljci IBK (Ci)
J-131	3	0.35
Au-198	20	0.2
P-32	20	0.05
Cr-51	20	0.01
Ca-45, Sr-85,89, Zn-65, Ce-151 i dr.	3-20	2
Obeležena jedinjenja J-131	3	0.02
Medicinski aplikatori	3-20	5
Ir-192 radiografski izvor	3	40 a
Co-60 radiografski izvor	3	100 a
Co-60 radioaktivni gromobrani	3	0.245

a) Transport je vršen u ambalaži tipa "B"

TVEGANJE PREBIVALSTVA V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE V PRIMERU NESREČE

Z. Gabrovšek
Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

Uvod

Med rednim obratovanjem nuklearne elektrarne je ravnotežje med proizvedeno toplotno energijo pri izgorevanju v sredici in prenosom te energije preko hladila in toplotnih izmenjevalcev do turbogeneratorjev. Kadar pa bi se zaradi kateregakoli vzroka porušilo to ravnotežje ter bi bila proizvedena toplotna energija večja od odvzete, lahko pride do stalitve sredice in do uhajanja nevarnih radioaktivnih razcepkov iz sredice reaktorja v okolico. Radioaktivni razcepki ogrožajo prebivalstvo v okolici in kontaminirajo znatne površine.

Takoj po gradnji prvih nuklearnih elektrarn so pričeli proučevati ta problem. Tako je že leta 1957 izšlo znano poročilo WASH-74o (1) v katerem se analizirajo posledice katastrofalnih nesreč v velikih nuklearnih elektrarnah. Znano je, da je prav to poročilo občutno zavrlo razvoj nuklearne energetike in da so pričeli pred gradnjo novih elektrarn proučevati posledice možnih nesreč ter vgrajevati v projekte varovalne in zaščitene sisteme (filtri, varovalni hrami, tuši, itd.). Druga posledica je bila, da so izbrali lokacijo nuklearnih elektrarn v manj obljudenih predelih. Prve nuklearne elektrarne so bile precej oddaljene od gosteje naseljenih središč. Za vsako vrsto reaktorja so določili maksimalno verjetno nesrečo (MCA) in raziskovali, kakšna bi bila sprosti-

tev radioaktivnih razcepkov v okolici pri taki nesreči in kakšne bi bile posledice sprostitve. Osnovni parametri so bili jakost in trajanje izvora (sprostitve), porazdelitev prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne in meteorološke prilike v okolici lokacije. Na podlagi teh študij so v nuklearno razvitih državah (ZDA, Velika Britanija, Kanada in SSSR) izdelali kriterije za izbiro lokacij za nuklearne objekte. Osnovna karakteristika vseh teh kriterijev in predpisov za odobravanje lokacije je bila, da so dopuščali le lokacije v redko naseljenih predelih. Taka izbira lokacij ima dva velika nedostatka. Nuklearna elektrarna je preveč oddaljena od potrošnikov, kar podraži ceno električne energije, zaradi dolgega prenosa energije pa se poveča tudi frekvenca okvar na dolgih daljnovodih. Drugi nedostatek je bil viden kmalu po pričetku obratovanja prvih večjih nuklearnih elektrarn. Čeprav so skušali administrativno omejiti priseljevanje v okolico nuklearne elektrarne niso uspeli preprečiti gradnjo industrijskih objektov v bližini nuklearne elektrarne, kar je predvsem v Veliki Britaniji že v nekaj letih bistveno spremenilo prvotno porazdelitev gostote prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne (3). Ti nedostatki, predvsem pa težnja po ekonomičnosti in varnosti nuklearnih elektrarn so vzpodbudili nadaljno raziskovalno delo s ciljem, da se podrobneje analizirajo posledice nuklearnih nesreč.

Prvi korak v tej smeri je bila revizija poročila WASH-74o. V tem poročilu so ocenili, da je verjetnost za nastop MCA 10^{-5}-10^{-9} na reaktorsko leto, pri čemer pa niso imeli nobenih obratovalnih izkušenj. 10 let pozneje, ko je samo v ZDA obratovalo okoli 4o reaktorjev z močjo nad 5o MWe so na podlagi podrobnejših analiz in obratovalnih izkušenj ocenili verjetnost za nastop MCA na 10^{-8} do 10^{-16} na reaktorsko leto. Danes se navajajo verjetnosti od 10^{-10}

do 10^{-14} na reaktorsko leto za nastop take katastrofe pri nesreči, kjer bi se sprostilo nekaj tisoč curie-jev J^{131} (4). Pri tem je potrebno omeniti, da med dosedanjim obratovanjem nuklearnih elektrarn še ni prišlo do katastrofalne nesreče, manjše nesreče so se pripetile pri raziskovalnih in preizkusnih reaktorjih (Sl-1, Windscale, itd.).

Za ocenitev tveganja prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne je potrebno poiskati odgovora na dve vprašanji: 1) čeprav je verjetnost za nastop katastrofalne nesreče zelo majhna, je potrebno ugotoviti, kako bi bilo prizadeto okolišnje prebivalstvo ob taki nesreči, 2) kakšne so verjetnosti za nastop manjših nesreč in kakšne so posledice teh nesreč.

Pristop k reševanju drugega vprašanja je predlagal Farmer l. 1967 s pozivom za statistično obravnavo različno velikih nezgod na nuklearnih elektrarnah (5). Rezultati teh študij se lahko prikažejo na diagramu f-c, pri čemer je na abcisi jakost sprostitve radioaktivnih razcepkov v Curie-jih, na ordinati pa verjetnost za nastop take nesreče (sl. 1). Mejna krivulja ima strmino - 1. Osnovna vrednost te verjetnostne analize je, da so se pričele obravnavati tudi manjše toda bolj verjetne nezgode in da so dobili projektanti nuklearnih elektrarn nekaj kriterijev za ocenjevanje zanesljivosti posameznih komponent in sistemov v nuklearnih elektrarnah. Glavni nedostatek pa je pomanjkanje podatkov za splošnejšo statistično analizo, predvsem za pogostost okvar večjih mehanskih in električnih komponent elektrarne, kot so to reaktorske posode, toplotni izmenjevalci itd.

V zadnjih dveh letih se je v strokovni literaturi pojavilo več člankov, v katerih so avtorji ponovno obravnavali tveganje za prebivalstvo v primeru katastrofalnih nesreč. Pri tem so upoštevali tudi različne porazdelitve gostote prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne. Te ocene so mnogo realnejše

od prejšnjih in slone na dokaj obsežnih podatkih o pogostosti nastopa leukemije in raka ščitne žleze pri obsevanju ljudi z različnimi dozami radioaktivnega sevanja (6,7). Nekateri avtorji so analizirali tudi tveganje za prebivalstvo v primeru manjših, toda verjetnejših nesreč ter iskali zvezo med verjetnostjo za nastop nesreč, porazdelitvijo prebivalstva in stopnjo za okolišnje prebivalstvo (8,9).

V tem elaboratu je obdelano glavno gradivo o stopnji tveganja za prebivalstvo v okolici nuklearne elektrarne v primeru različno velikih sprostitev radioaktivnih snovi iz nuklearne elektrarne. Ocenjeno je tudi tveganje za prebivalstvo v okolici naše lokacije Krško.

Ocena tveganja za prebivalstvo v okolici nuklearne elektrarne pri velikih nesrečah

Po sprostitvi radioaktivnih razcepkov v atmosfero je prebivalstvo v okolici ogroženo od direktnega sevanja iz radioaktivnega oblaka, od vdihavanja radioaktivnih snovi in od kontaminacije zemljišč vsled depozicije radioaktivnih snovi.

Nevarnost takojšnje radiacijske bolezni ali smrti vsled izpostavljenosti celega telesa dozam 1oo - 1ooo radov in več je bilo v prejšnjih študijah kot n.pr. WASH-74o močno pretirano. F.A.Gifford je dognal, da ni te nevarnosti za prebivalstvo, katero prebiva v razdaljah večjih od 1 km od elektrarne (1o). Za tako velike doze je potrebno, da se sprosti vsaj 1o% plinskih in hlapljivih razcepkov od akumuliranih v 1ooo MWe nuklearni elektrarni in če sprostitev nastane v inverznih meteoroloških pogojih, kar odgovarja vremenski kategoriji F po Pasquillu, ni nevarnosti da bi bilo prebivalstvo v okolici obsevano z dozami radioaktivnega

sevanja, ki bi bile večje od 1oo radov. Samo ti razcepki dajejo nekaj megawatov toplotne energije ter se radioaktivni oblak vsled termičnega vzgona naglo dviga. Osnovni parameter pri tem je Pr, to je toplotna energija razcepkov deljena s trajanjem sprostitve. Na sl. 2. je prikazan dvig radioaktivnega oblaka z razdaljo od elektrarne pri različnih vrednostih P . Pri maksimalno verjetnih nesrečah, kot je n.pr. počenje reaktorske posode je sprostitev velika in hitra ter bo P tudi velik. Toplotni vzgon tedaj omejuje nevarnost direktnega obsevanja prebivalstva v okolici elektrarne, katero posebno v razdaljah večjih od 1 km ni neposredno življenjsko ogroženo od sevanja iz radioaktivnega oblaka.

Pri velikih sprostivah $1o^6$ - $1o^7$ Ci J^{131} lahko prejmejo ljudje doze direktnega sevanja 1 - 1oo radov od radioaktivnega oblaka tudi v večji oddaljenosti od elektrarne. Pri tem se poveča verjetnost za nastop leukemije. Naravna pogostost leukemije je 3o do 7o primerov na leto na milijon prebivalcev. Obsevanje po vsem telesu lahko povzroči leukemijo in sicer je pogostost 1 do 2 primera na leto, rad prejete doze in milijon prebivalcev. Za otroke, ki so obsevani med nosečnostjo matere je pogostost večja za približno faktor 5. Pri tej oceni je privzeta linearna odvisnost med prejeto dozo in verjetnostjo nastopa leukemije. Ker izvirajo podatki od obsevanj z večjimi dozami je linearna odvisnost med dozo in verjetnostjo nastopa leukemije konzervativen približek.

Za oceno nevarnosti vsled inhalacije radioaktivnih snovi je pomemben parameter pogostost posameznih radioaktivnih snovi v radioaktivnem oblaku. Glavni razcepki v oblaku so ksenon, jod, cezij, telur in rutenij. V tabeli 1 so prikazane izmerjene sprostitve Xe, J in Sr v odstotkih celotne količine vsebovane v UO_2 gorivu pri različnih pogojih.

Tabela 1. Izmerjene vrednosti sprostitve Xe, J in Sr iz UO_2 v odstotkih celotnega inventarja

Pogoj sprostitve	Xe	J	Sr
Okvara srajčke pri 900°C	5	0,35	0,0031
Okvara srajčke pri 1050°C	2	0,20	-
1900°C v CO_2/CO	20	11	0,002
1800°C v CO_2/CO	-	70	0,2
1800°C v CO_2/zrak	-	47	0,3
2800°C v CO_2	99,9	99,9	0,6
2800°C v zraku	100	99,8	0,4
2800°C v nečistem heliju	100	99,7	1,7
1980°C v čistem heliju	79,0	53,0	15,0

Radiološko najpomembnejši izotop je J^{131}, kateri lahko povzroči rakasto obolenje ščitne žleze. Vdihani rutenij lahko povzroči pljučnega raka, vendar je odgovarjajoče tveganje mnogo manjše kot pri J^{131}. Za primerjavo tveganja pri inhalaciji različnih radioaktivnih razcepkov pri njih popolni sprostitvi iz goriva, kateri je bil dalj časa obsevan pri moči 1 MW$_{th}$, si oglejmo doze radioaktivnih razcepkov in odgovarjajoče tveganje za otroke do starosti 18 let v tabeli II (9).

Tabela II.: Ocena doz in tveganja za otroke od radioaktivnih razcepkov

Osnovni podatki za oceno:

Sprostitev - plinasti in hlapljivi razcepki iz goriva pri moči 1 MW$_{th}$, kar odgovarja pri J^{131} skupni aktivnosti 3×10^4 Ci J^{131}

Obsevalni čas goriva - 1000 dni

Višina sprostitve - pri zemlji

Vreme - Inverzija (kategorija F po Pasquillu)

Razdalja od elektrarne v smeri vetra - 1000 metrov

Razcepki	Doze	Tveganja za otroke do 18 let
Jod	2900 radov na ščitno žlezo	0,3 (rak ščitne žleze)
Plinski	2,5 rada na celo telo	$0,5 \times 10^{-4}$ (leukemija)
Rutenij	910 radov v pljuča	$0,4 \times 10^{-1}$ (pljučni rak)
Stroncij	25 radov v kosti	$0,5 \times 10^{-3}$ (leukemija)

V nuklearnih elektrarnah je sprostitev razcepkov v okolico precej manjša vsled zadrževalnih sistemov (filtri, tuši, zaščitni hrami, itd.). V tabeli III so podane doze in tveganje za otroke do 18 let pri istih pogojih kot veljajo za tabelo II, vendar z upoštevanjem skupnega dekontaminacijskega faktorja 10^4.

Tabela III.: Ocena doz in tveganje za otroke pri sprostitvah radioaktivnih razcepkov v nuklearnih elektrarnah z upoštevanjem zadrževalnih in varovalnih sistemov - skupni dekontaminacijski faktor je 10^4

Razcepki	Doze	Tveganja za otroke do 18 let
Jod	0,29 rada na ščitno žlezo	$0,3 \times 10^{-4}$
Plinski razcepki	2,5 rada na celo telo	$0,5 \times 10^{-4}$
Rutenij	0,09 rada v pljuča	$0,4 \times 10^{-5}$
Stroncij	2,5 milirada v kosti	$0,5 \times 10^{-7}$

Pri ocenah tveganja za prebivalstvo v okolici nuklearne elektrarne se obravnava le inhalacija joda, ker je tveganje pri vdihavanju drugih radioaktivnih razcepkov sorazmerno manjše. Tveganje pri vdihavanju radioaktivnega joda je nastanek raka

ščitne žleze in je od različnih avtorjev ocenjeno na 10^{-5} do $3x10^{-5}$ na rad doze ščitni žlezi. Smatra se, da je v 10% rakastih obolenj ščitne žleze, povzročenih od radioaktivnega I^{131}, smrtni izid bolezni. Nadalje se smatra, da doze manjše od 10 radov ne povzročajo raka. Doslej je bil rak ščitne žleze opažen le pri prejetih dozah večjih od 100 radov (11).

Naravna pogostost nastopa raka ščitne žleze je odvisna od starosti. V starostni skupini do 25 let je naravna pogostost 4 primeri na leto in milijon prebivalcev. Pri obsevanju ljudi iste starosti z radioaktivnim jodom pa je tveganje 0,9 primera na leto, rad prejete doze in milijon prebivalcev in to za čas 16 let po prejeti dozi sevanja.

Verjetnostna analiza nesreč v nuklearnih elektrarnah in tveganje prebivalstva v okolici

Verjetnost, da pride do sprostitve skupne aktivnosti v intervalu C in C + dC Curiejev v časovni enoti lahko označimo z dP = (C)dC pri čemer funkcijo (C) lahko v osnovi določimo z verjetnostno analizo napak v reaktorskih sistemih. Obliko in pomen te funkcije je prvi določil F.R.Farmer leta 1967 (slika 1). Porazdelitev gostote prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne lahko določimo s porazdelitveno funkcijo p( ) pri čemer sta in polarni koordinati z izhodiščem pri elektrarni. Število ljudi, ki bo prizadeto v okolici elektrarne je odvisno še od meteoroloških pogojev v času sprostitve. Ti so seveda neznani, vendar se lahko na osnovi večletnih meteoroloških opazovanj na lokaciji elektrarne, določijo verjetnosti za

nastop posameznih tipičnih vremenskih prilik. Problem je torej, da se iz funkcij (C), katera reprezentira nuklearno elektrarno, p( ), katera reprezentira lokacijo elektrarne in verjetnostne porazdelitve meteoroloških pogojev določi nova funkcija h(N), tako da velja zveza dP = h(N)dN, pri čemer je dP verjetnost za nastop sprostitve, ki povzroči N do N+dN primerov raka ščitne žleze.

Z upoštevanjem funkcije (C) prikazane v sl. 1 je Beattie s sodelavci določil fukcijo h(N) za tri tipične porazdelitve gostote prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne (8,9). V tej analizi različni meteorološki pogoji niso bili upoštevani, vendar dajejo rezultati zadovoljivo splošno oceno za tveganje prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne.

Porazdelitve gostote prebivalstva v teh treh tipičnih primerih so bile:

Primer 1. <u>Gosta naseljenost</u> - velemesto. Enakomerna gostota prebivalstva - 5700 prebivalcev na km^2 v razdalji od 1 km do 12 km od elektrarne.

Primer 2. <u>Srednja gostota prebivalstva</u>
- mesto z 200.000 prebivlacev v razdalji 5 - 8 km od elektrarne
- Enakomerna gostota okoli 150 prebivalcev na km^2 v razdaljah 8 - 30 km od elektrarne, vključena so tudi manjša mesta z 10.000 do 50.000 prebivalcev.
- Mesto z 1.000.000 prebivalci v razdalji 30 do 50 km od elektrarne.

Primer 3. <u>Redka naseljenost</u>
- nekaj vasi s skupno 10.000 prebivalci v razdalji 6 - 8 km
- mesto z 50.000 prebivalci v razdalji 15 do 17 km

- večje mesto z 200.000 prebivalci v razdalji 60 km
- V ostalih predelih okoli elektrarne je povprečna gostota za prebivalca na km^2.

f - N krivulje za te primere so prikazane na sliki 3. Pri tem je f verjetnost za N primerov raka ščitne žleze vsled obsevanja z radioaktivnim jodom.

V tej analizi je zopet privzeto, da doze manjše od 10 radov J^{131} na ščitni žlezi ne povzročajo raka in da se le 10% obolenj konča s smrtnim izidom. Strmina krivulj v diagramu f-N je približno - 3/4 do 2/3, kar kaže na močno odvisnost od funkcije g(C), kjer je strmina -1. Iz diagrama na sl. 3 je razvidno, da je verjetnost za nastop 10^{-2} do 10^{-3} rakastih obolenj med 10^{-6} - 10^{-4} let^{-1}, odvisna od gostote naseljenosti. To je razmeroma majhno tveganje v primerjavi s tveganji, katerim smo izpostavljeni v vsakdanjem življenju. Drugi splošni zaključek je, da je tveganje v gosto naseljenih krajih le za velikostni red večji od tveganj v okolici večine danes obratujočih nuklearnih elektrarn.

Na lokaciji Krško bi bila verjetnost za nastop 10^{1} do 10^{2} primerov raka med 10^{-5} do 10^{-6} let^{-1}, za nastop 10^{2} do 10^{3} primerov raka pa med 10^{-6} do 10^{-7} let^{-1}. Ce bi na lokaciji Krško zgradili 340 MWe nuklearno elektrarno tipa Venture bi bi prizadeto prebivalstvo pri maksimalni verjetni nesreči 1 na površini do 6 km^2 okoli elektrarne.

Ocenili nismo še tretjo nevarnost pri sprostitvi radioaktivnih snovi v okolico, to je depozicija radioaktivnih snovi. Ta ne nastopa nemudoma po sprostitvi, zato je možno podvzeti odgovarjajoče varnostne ukrepe, da se prepreči uživanje kontaminirane hrane. Pri maksimalni verjetni nezgodi bi na lokaciji Krško bilo potrebno prepovedati uživanje svežega mleka od krav, ki bi se pasle na površini do 300 km^2 okoli elektrarne in to za dobo 5 - 7 tednov po nesreči (12).

Zaključek

Novejša dognanja o tveganju prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne nedvoumno dokazujejo, da je glede na današnjo stopnjo razvoja nuklearne tehnologije možno graditi nuklearne elektrarne v gosteje naseljenih predelih in celo v velemestih. Gostota in porazdelitev prebivalstva ter meteorološki pogoji na lokaciji niso več odločujoč faktor pri izbiri lokacije. Izbira lokacije je predvsem pogojena z ekonomsko računico ter ostalimi faktorji kot so seizmološki, hidrološki, geološki itd. Tveganje prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne je razmeroma majhno, vsekakor manjše kot v vsakdanjem življenju in celo manjše kot v okolici termoelektrarn na premog. Za primer navedimo podatke iz ZDA. Verjetnost za smrt v avtomobilski nesreči je v ZDA 1:5ooo na leto, cenijo pa da so v povprečju 3 smrtne žrtve na leto kot posledica škodljivega učinkovanja SO_2 v zraku, katerega stalno sprošča 1ooo MWe elektrarna na premog. Skupno umre v ZDA 4o ooo prebivalcev na leto v avtomobilskih nesrečah, okoli 19 ooo ljudi na leto pa za posledicami onesnaženja zraka z SO_2. V primerjavi s temi številkami je tveganje pri uvajanju nuklearne energetike neznatno.

Literatura

1. Brookhaven National Laboratory, Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants, USAEC Report WASH-74o, 1957.
2. Z. Gabrovšek, B.Bajželj, Primerjanje različnih lokacij z nuklearnega gledišča, NIJS Poročilo P-1o6, Dec. 1963.
3. C.A. Adams, Siting of CE6B Nuclear Power Stations, BNES Symposium on Safety and Siting, London,March 28, 1969.

4. A.F.W. Biese, Risk Evaluation for Protection of the Public in the Event of Accident, Proc. of a seminar, Environmental Contamination by Radioactive Materials, Vienna 24-28 March 1969.

5. F.R. Farmer, Siting Criteria - A New Approach paper SM - 89/34, IAEA Symposium on Containment and Siting of Nuclear Power Plants, Vienna, April 1967.

6. Risk Evaluation for Protection of the Public in Radiation Accidents
IAEA, Safety Series No 21, Vienna 1967.

7. G.W. Dolphin, W.G. Marley, Risk Evaluation in Relation to the Protection of the Public in the Event of Accidents at Nuclear Installations, paper SM-117/23, Proc. of a Seminar Environmental Contamination by Radioactive Materials, Vienna 24-28 March 1969.

8. J.R. Beattie, Techniques of Reactor and Site Hazard Assesment, Technical Meeting No. 5/3, NUCLEX 69, Basel Oct. 1969.

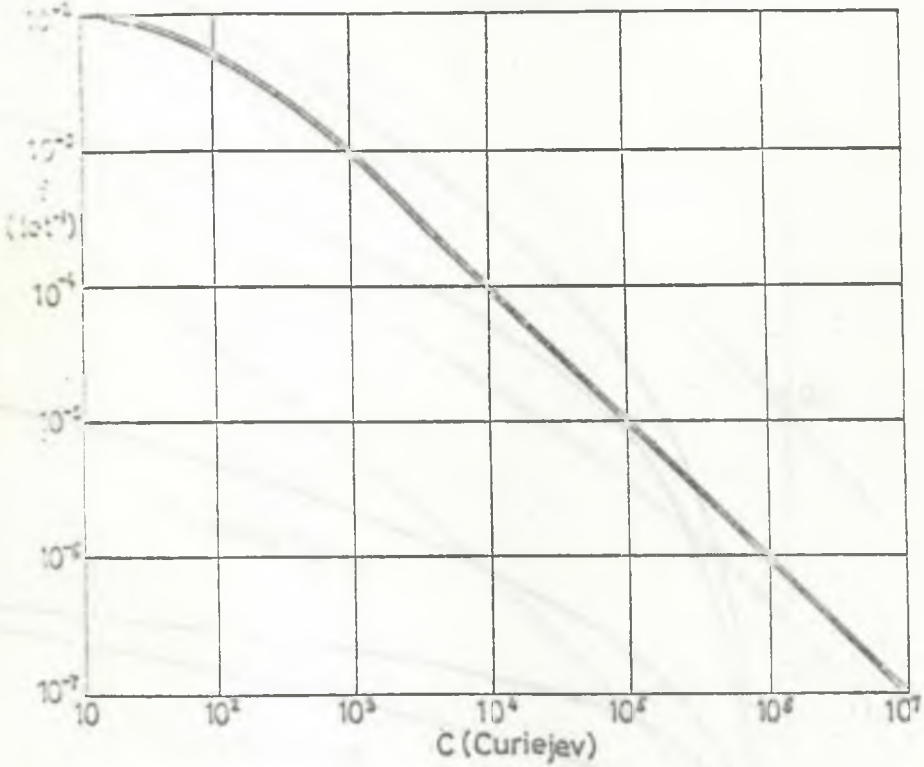
9. J.R. Beattie, A Review of Hazards and some Thonghts on Safety and Siting, BNES Symposium on Safety and Siting, London, March 28, 1969.

1o. Gifford, F.A., The Risk of Strongly Radioactive Plumes, J. Applied Meteorology, Vol. 6, 664, 1967.

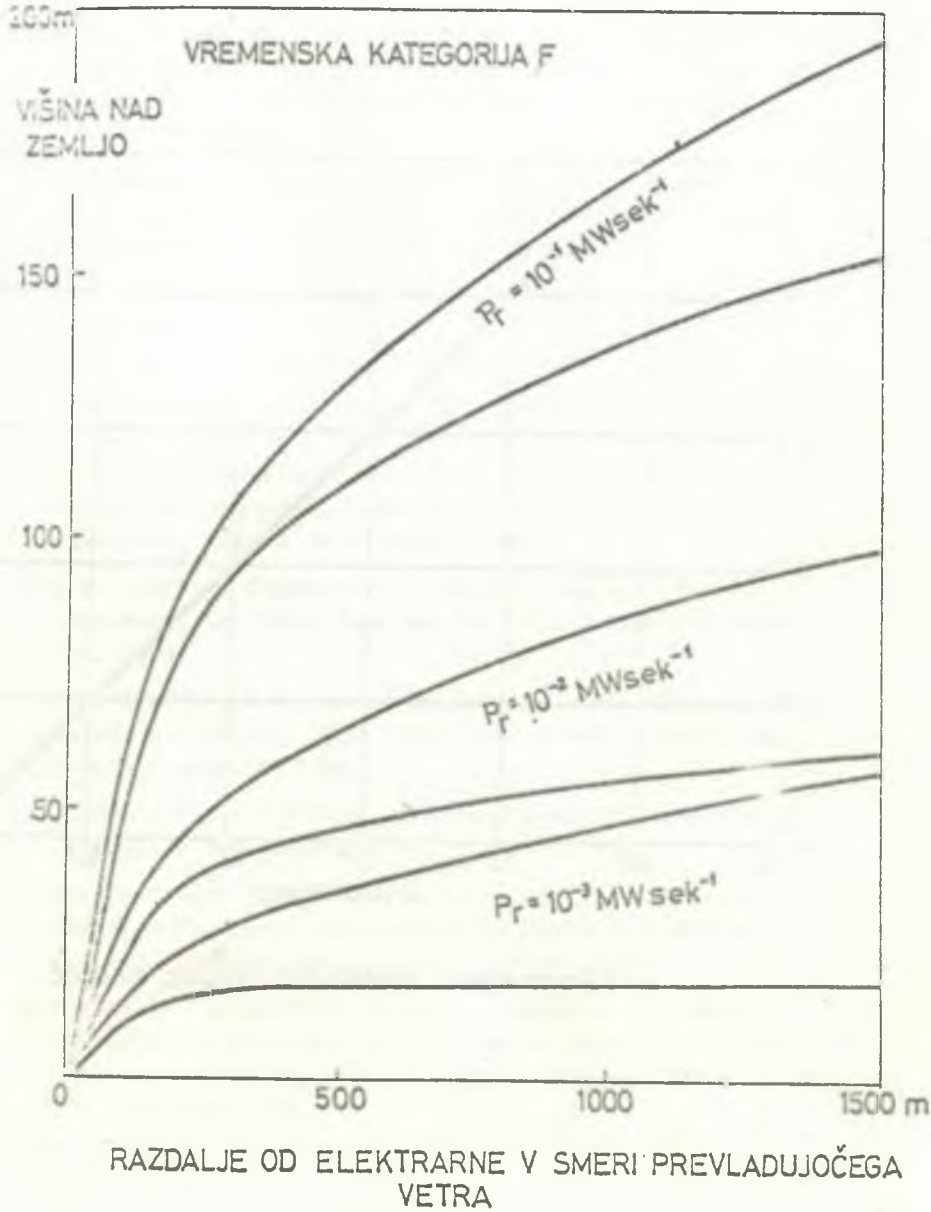
11. International Commission on Radiological Protection, Commitee No. 1, The Evaluation of Risks from Radiation, I.C.R.P. Publication 8, Pergamon Press 1966.

12. N.Bernot, Z.Gabrovšek, M.Grgič, J.Sušnik, Odvisnost konstrukcije nuklearne elektrarne od lokacije v pogledu nuklearne varnosti, UNO - SI/4o, I. Simpozij UNO, Herceg-Novi, Oktober 1968.

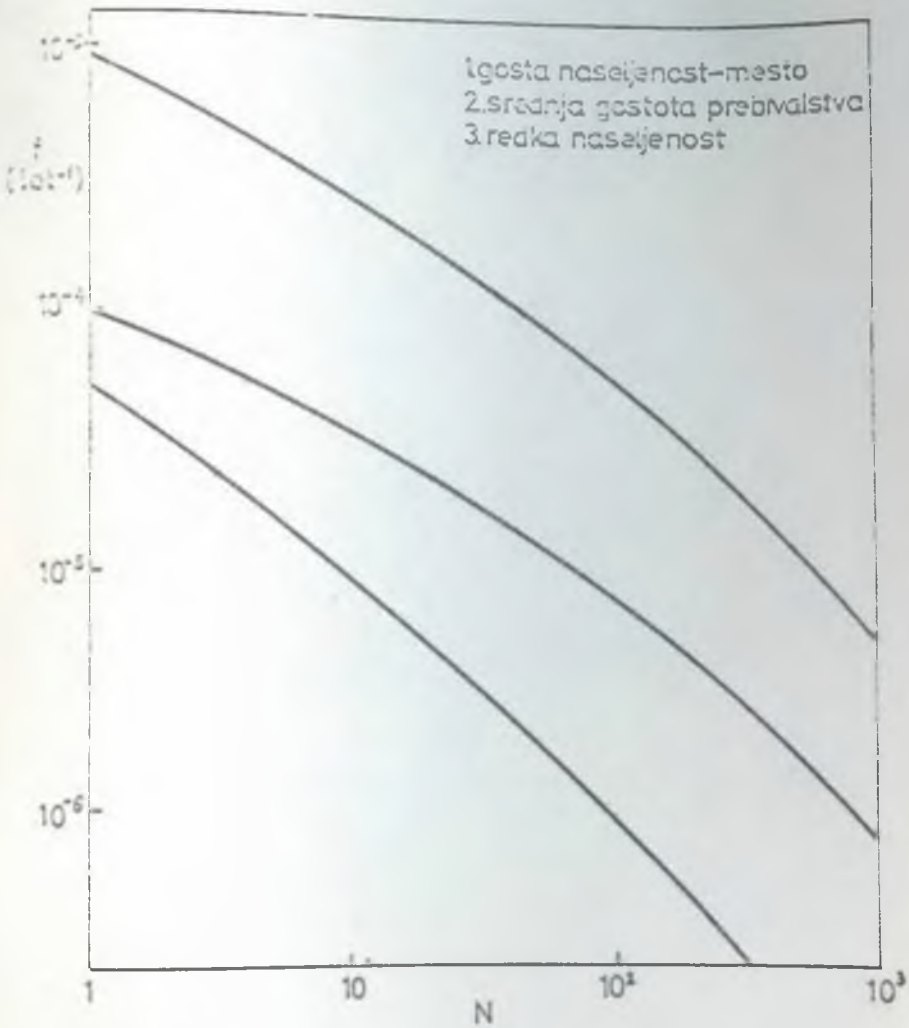
13. Nucleonics, Vol. 22, No.1, Jan.1964, stran 17.



sl. 1 Farmerjeva statistična analiza nesreč



sl.2 Termični vzgon radioaktivnega oblaka.



sl.3. f-N krivulje za 3 specifične porazdelitve prebivalstva

Nr. / 03

TEORIJA IN IZKUŠNJE O SEIZMIČNIH UČINKIH NUKLEARNIH EKSPLOZIJ

Ing. Milan Grgič

INSTITUT "JOŽEF STEFAN"

L j u b l j a n a

6/02

TEORIJA IN IZKUŠNJE O SEIZMIČNIH UČINKIH NUKLEARNIH EKSPLOZIJ

Uvod

Potresni učinki nuklearnih eksplozij so pomembni predvsem pri površinskih, podzemnih in podvodnih eksplozijah. V zvezi z uporabo nuklearnih eksplozij v miroljubne namene pa nas zanimajo predvsem seizmični učinki podzemnih eksplozij, katerih uporaba je predvidena v rudarstvu, v pridobivanju nafte, kopanju prekopov itd.

Seizmični izkoristek potresnih eksplozij je delež energije eksplozije, ki se pretvori v energijo potresnega valovanja zemlje in/oz. vode. Velikostni redi seizmičnih izkoristkov so[1]:

(i) za atmosferske eksplozije $(1-3) \cdot 10^{-5}$
(ii) za površinske eksplozije 10^{-4}
(iii) za podzemne eksplozije 10^{-3}
(iv) za podvodne eksplozije $(0,5 - 4) \cdot 10^{-2}$

Majhen seizmični izkoristek atmosferskih eksplozij si lahko pojasnimo z močnim odbojem atmosferskega tlačnega vala od zemeljske površine. Pri površinskih in plitvah eksplozijah je seizmični izkoristek relativno majhen zato ker se pretežni del energije širi v smeri navzgor pri tvorbi kraterja ter preide v atmosfero in na material kraterja. Bistvena razlika v seizmičnem izkoristku podzemnih in podvodnih eksplozij pa je verjetno posledica izgub energije za taljenje in drobljenje materiala pri podzemnih eksplozijah ter manjša toplotna razteznost trdnih snovi.

Energija potresnega valovanja je del kinetične energije ki jo prejme material pri eksploziji in ki se ne potroši za drobljenje materiala (prekoračenja trdnosti), ali za trajno statično elastično deformacijo materiala. Pri podvodnih eksplozijah so takšne ponovne izgube konetične enrgije znatno manjše kot pri podzemnih eksplozijah.

Pri podzemnih eksplozijah se preneha drobljenje in plastično zbijanje materiala v razdalji od mesta eksplozije kjer tlak vala eksplozije neha presegati "hidrostatični tlak tal" približno za vrednost strižne trdnosti materiala. Pri tem je treba upoštevati tudi val, ki se odbije od zemeljske površine, ki prav tako zvišuje distorzijsko napetost materiala nad mestom eksplozije in zmanjšuje pod mestom eksplozije. Globoke podzemne eksplozije zdrobijo in razrušijo oziroma plastično zbijejo material v volumnu, ki ima obliko pokončnega jajca. Takšno obliko si lahko kvalitativno razložimo z vplivom odbitnega vala in z variranjem prednapoetostnega stanja materiala. Pretežni del zdrobljenega in razpokanega materiala je iznad mesta eksplozije.

Če torej poznamo strižno trdnost materiala lahko ocenimo napetost vala. Iz napetosti vala (ν) in napetostnega modula (E) ocenimo gostoto kinetične in deformacijske energije vala ($\nu^2 = \rho^2 c^2 v^2 = \rho c^2 \cdot \rho v^2 \approx 2E\rho \frac{v^2}{2}$), ki sta obe enaki. Če predpostavimo, da ostane napetost na robu razpokanega volumna približno konstantna v času emitiranja potresnega vala (približno eno sekundo) dobimo približno oceno potresne energije na ta način, da gostoto potresne energije na meji razpokanega volumna v višini eksplozije pomnožimo z volumnom krogle vgrtane v prizadeti volumen, ali pa kar s celim prizadetim volumnom[1] (ocena je zelo groba in nam lahko da samo velikostni razred). Iz tega sledi, da bo potresna energija približno proporcionalna kvadratu strižne trdnosti materiala ter volumnu zdrobljenega, razpokanega ali plastično zbitega materiala.

2. Ocena potresnih učinkov podzemnih nuklearnih eksplozij s pomočjo seizmoloških formul

Po seizmoloških formulah lahko približno ocenimo potresne jakosti na sledeči način:

a) Najprej določimo potresno energijo (E_s) iz znane jakosti eksplozije (W v kilotonah) iz znanega potresnega izkoristka ($\eta = 10^{-3}$).

$$E_s = \eta \cdot W \cdot 4 \cdot 10^{12} \left[J \right] = 4 \cdot 10^{9} \left[J \right]$$

b) Izračunamo magnitudo potresa (M) po Richter Gutenbergovi formuli ($Eo = 2,5 \cdot 10^{4} J$)

$$M = \frac{2}{3} \log \frac{Es}{Eo} = \frac{2}{3} \log 1,6 \cdot 10^{5} W$$

$$M = 3,5 + \frac{2}{3} \log W$$

c) Za potresne jakosti v epicentru ($Jo = J_{(20\ km)}$ večje od VII° MCS in za globine hipocentrov 15-20 km se lahko uporablja formula[5].

$$J_{(20\ km)} = \frac{3}{2} M = 5,3 + \log \frac{a}{g}$$

V tej formuli smo predpostavili, da je potresna jakost potresa z globino hipocentra 20 km približno enaka v krogu do 2o km od epicentra, nato pa smo predpostavili, da jakost potresa v razdalji 20 km od epicentra ni bistveno odvisna od globine hipocentra če je le-ta manjša kot 20 km.

d) Splošna definicija Mercalli-Cancani-Siebergove lestvice potresne jakosti je podana s formulo

$$J = 12 + 3 \log \frac{a}{g}$$

a = maksimalni pospešek tal tekom potresa
g = pospešek gravitacije

e) Če predpostavimo, da pojema maksimalni pospešek tal obratno sorazmerno z razdaljo R dobimo

$$J_{(R)} = J_{(20\ km)} + \log\left(\frac{20\ km}{R}\right)$$

oziroma

$$J = 9{,}2 + \log W_{kT} - 3 \log R_{km}$$

f) Slednjo formulo lahko uporabimo tudi kot definicijo izoseizm.

$$R = 10^{\frac{1}{3}(9{,}2 - J)} \cdot W^{\frac{1}{3}}$$

Za VII° MCS dobimo:

$$R_{VII} = 5{,}1\ W_{kT}^{\frac{1}{3}}\,[km]$$

Vidimo, da dobimo po tej seizmološki formuli isoseizmo VII° MCS v razdalji 5,1 km za jakost eksplozije 1 kT in v razdalji 51 km za eksplozijo jakosti 1 MT.

Izoseizme X° MCS dobimo v 10 krat manjših razdaljah (0,5 km in 5 km).

3. Izkušnje o potresnih učinkih nuklearnih eksplozij

3.1. Meritve s pomočjo "strong-motion" seizmografov so dale rezultate[2,3], ki so privedli do sledečih empiričnih formul za "maksimalne pospeške" in maksimalne odmike tal.

$$\frac{a}{g} = k_a \, W^{0,54} \, R^{-1,4}$$

k_a = 0,17 . . . če eksplodira v aluviju
= 0,43 . . . če eksplodira v lehnjaku (tuff)
= 1,0 . . . če eksplodira v granitu

Formula velja za gibanje na aluvijalnih puščavskih tleh za razdalje do 20 km.

Če vstavimo te pospeške v definicijo MCS lestvice, dobimo za eksplozijo v aluviju:

$$J = 9,7 + 1,6 \log W - 4,2 \log R$$

oziroma

$$R = 10^{0,24(9,7 - J)} \, W^{0,38}$$

za VII° MCS dobimo

$$R_{VII} = 4,4 \, W^{0,38}$$

Ta formula se približno ujema s seizmološko formulo.

Za eksplozijo v granitu pa dobimo:

$$R_{VII} = 10^{0,24(12-7)} \, W^{0,38} = 16 \, W^{0,38}$$

Če upoštevamo, da velja seizmološka formula za gibanje normalnih trdih tal, je treba vzeti za aluvijalna tla približno dve stopnji višjo potresno jakost. Tedaj bi nam seizmološka formula dala približno isto kot formula, ki velja za eksplozijo v granitu in potresno gibanje v aluviju.

Zaradi popolnosti je koristno navesti še empirično formulo za maksimalne premike puščavskih aluvijalnih tal.

$$d = k_d \, W^{0,38} \, R^{-1,2}$$

k_d = 0,68 . . . eksplozija v aluviju
= 1,7 . . . eksplozija v lehnjaku
= 4,1 . . . eksplozija v granitu

3.2. Meritve maksimalnih potresnih hitrosti v razdaljah 18-350 km s pomočjo "geofonov na gibalne tuljave" so privedle do sledeče empirične formule

$$V_{(cm/s)} = k_v \, W^{0.67} \, R^{-1.5}$$

k_v = 1,44 . . . za eksplozijo v aluviju
= 3,6 . . . za eksplozijo v lehnjaku
= 8,6 . . . za eksplozijo v granitu

Kot maksimalno hitrost tal, ki ne povzroči škode uporabljajo vrednost 8 cm/s (neodvisno od periode oziroma frekvence).

Če uporabimo gornjo formulo kot enačbo izoseizm dobimo:

$R_{8\frac{cm}{s}}$ = 0,31 $W^{0,45}$ . . za eksplozijo v aluviju
= 1,1 $W^{0,45}$ . . za eksplozijo v granitu

Ta formula daje mnogo manjše polmere varnostnih con vendar v njej ni upoštevano gibanje na aluvijalnih, ampak normalnih tleh. Torej bi se morala ujemati s seizmološko formulo pri eksploziji v granitu. Po seizmološki formuli pa ustrezajo tolikšnim polmerom potresne jakosti IX - X^{o} MCS.

Vidimo torej, da je po teh formulah hitrostni kriterij poškodb mnogo milejši od pospeškovnega kriterija. Prav gotovo pa je, da pospeškovni kriterij ne more biti veljaven za "stopničaste"oblike napetostnih valov (udarci) ker nastopa v takšnih primerih "neskončen" pospešek ne glede na višino stopnice.

3.3. Meritve maksimalnih premikov tal v razdaljah 18-350 km s pomočjo prenosnega Benioffovega seizmometra so privedle do naslednjih formul za maksimalne premike tal.

$$d = k_d \, W^{0,8} \, R^{-1,2}$$

k_d = 0,041 . . . za eksplozijo v aluviju
= 0,10 . . . za eksplozijo v lehnjaku
= 0,25 . . . za eksplozijo v granitu

Te vrednosti so približno 17 krat manjše kot vrednosti ki so jih dobili s "strong motion" seizmometri na aluvijalnih tleh. Delno je možno to razložiti z dejstvom, da veljajo za gibanje na nealuvijalnih tleh; delno pa z možnostjo, da potenčna oblika ni veljavna za vse razdalje.

Zaključek

Problem potresnih učinkov nuklearnih eksplozij ni še čisto jasen niti v pogledu škodnih kriterijev, niti v pogledu odvisnosti teh učinkov od lastnosti tal mesta eksplozije, tal mesta učinkov in tal na poti širjenja valov. Kljub temu pa obstoja cela vrsta formul za napovedovanje potresnih učinkov (niso bile vse navedene v poročilu), ki se precej razlikujejo med seboj.

Vsekakor je pri tem najbolj bistveno vprašanje uporabnosti hitrostnih kriterijev potresne škode, ki so znatno milejši (približno 5 krat manjši polmeri nevarnih con) kot pospeškovni kriteriji.

Vsekakor je koristno če vemo, da bo polmer cone potresne škode nekje v mejah

$$0{,}3\ W_{kT}^{0{,}45} < R_{km} < 16\ W_{kT}^{0{,}38}$$

ter da bo precej verjetno geometrijska sredina teh vrednosti oziroma

$$R_{km} = 2\ .\ W_{kT}^{0{,}4}$$

Za 1 kT dobimo polmer 2 km; za 1 MT pa 34 km.

Literatura:

1 K.E. Bullen: An Introduction to the Theory of Seismology, Cambridge 1963.

2 Peaceful Applications of Nuclear Explosives-Plowshare: Hearing before the Joint Committee on Atomic Energy Congress of the United States (Eightly-Ninth Congress, January 5,1965).

3. E. Teller i dr.: The Constructive Uses of Nuclear Explosives, (Mc Graw-Hill Book Company, 1968).

4 IAEA: Bibliographical Series No.38, Peaceful Uses of Nuclear Explosives (1970).

5 E.Taccarino: Attivita sismica in Italia dal 1893 al 1965 (CNEN - RT/GEO (68) 14, Roma 1968).

Nr. / 04

NIVO PRIRODNOG GAMA FONA U VEĆIM GRADOVIMA U SFRJ

R.G. Radovanović, M. Sterle

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

Zavod SRS za varstvo pri delu - Ljubljana

NIVO PRIRODNOG GAMA FONA U VEĆIM GRADOVIMA U SFRJ

R.G. RADOVANOVIC, M. STERLE*

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

* Zavod za varnost pri delu SR Slovenije - Ljubljana

Rezime

U ovom radu prikazani su rezultati merenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini od 1 m iznad ulica i zelenih površina, kao i u zgradama od različitog materijala u 2o većih gradova u Jugoslaviji.

Dato je poredjenje u odnosu na nivo prirodnog gama fona na celoj teritoriji SFRJ.

Uvod

U periodu od 1966.do 197o. godine u SFRJ vršena su merenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini od 1 m iznad tla. Merne tačke bile su po pravilu rasporedjene na kvadratima terena sa ivicom od 15 km. Ova merenja su vršili saradnici Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" iz Beograda, Zavoda za varnost pri delu iz Ljubljane, Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU iz Zagreba, Instituta za higijenu i socijalnu medicinu iz Sarajeva i Republičkog zavoda za zdravstvenu zaštitu iz Skopja.

U toku 197o. godine mi smo vršili dalja merenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja iznad ulica, zelenih površina i u kućama od različitog gradjevinskog materijala u jednom broju gradova i u nekim karakterističnim seoskim naseljima.

Po jedinstvenoj metodologiji (1,2,3,4) u SFRJ jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja izmerena je

Nr / 04

NIVO PRIRODNOG GAMA FONA U VEĆIM GRADOVIMA U SFRJ

R.G. Radovanović, M. Sterle

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

Zavod SRS za varstvo pri delu - Ljubljana

na 2o79 tačaka. Na osnovu tih merenja i uspostavljanja odredjenih odnosa izmedju jačine doze i geološke strukture terena bilo je moguće nacrtati kartu sa izodoznim površinama.

Imajući u vidu vrstu raspodele rezultata merenja jacine ekspozicione doze iznad terena sa uniformnim sadržajem prirodnih radionuklida vrednosti jačina ekspozicione doze kojima su definisane izodozne površine u suštini su intervali u kojima se nalaze najverovatnije vrednosti karakteristične za te terene.

Po našoj proceni (5) teritorijalne distribucije najverovatnijih vrednosti jačina ekspozicione doze, srednja vrednost za SFRJ iznosi 11,55 μr/h ili lol,2 mr/god. Ova vrednost (P_1= 11,55 μr/h) može se definisati kao NAJVEROVATNIJA TERITORIJALNA JAČINA EKSPOZICIONE DOZE prirodnog gama zračenja u SFRJ.

Teritorijalna distribucija stanovništva u SFRJ pomerena je ka izodoznim površinama sa većom jačinom ekspozicione doze (5). Na tej osnovi NAJVEROVATNIJA JAČINA EKSKPZICIONE DOZE ZA POPULACIJU U SLOBODNOJ SREDINI od prirodnog gama zračenja u SFRJ iznosi P_2= 12,95 μr/h ili 113,5 mr/god.

Izmerena struktura terena, specifična geometrija materijala u kome se nalaze prirodni radionuklidi, koncentracija stanovništva na malom prostoru i potreba da se odredi NAJVEROVATNIJA JACINA EKSPOZICIONE DOZE ZA POPULACIJU uslovili su osnovni interes da izvršimo merenja iznad ulica, zelenih površina i u kućama od različitog gradjevinskog materijala.

Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u gradovima

a) Ulice

U 21 gradu izvršena su merenja u ukupno 69o ulica čiji je kolovoz od asfalta, betona, kocke ili kaldrme. Iznad ulica sa različitim kolovozom u svakom gradu izvršeno

je po lo merenja.

Srednje aritmetičke vrednosti rezultata ovih merenja date su u tabeli 1.

Tabela 1

Jačina ekspozicone doze prirodnog gama zračenja na visini od 1 m iznad ulica u gradovima (P_3)
(μr/h)

Red broj	MESTO	Asfalt	Beton	Kocka	Kaldrma	Ukupno merenja
1	Ljubljana	7,9	7,6	-	-	2o
2	Zagreb	8,o	7,5	-	-	2o
3	Rijeka	1o,1	9,4	-	-	2o
4	Maribor	9,9	9,4	-	-	2o
5	Beograd	8,9	6,7	12,8	6,4	4o
6	Novi Sad	9,3	9,5	16,o	-	3o
7	Priština	1o,o	1o,3	16,8	12,5	4o
8	Sarajevo	4,o	4,o	11,o	3,5	4o
9	Mostar	7,5	7,1	1o,5	6,4	4o
1o	Skopje	11,o	1o,9	15,8	1o,8	4o
11	Bitolj	17,o	11,o	17,3	18,5	4o
12	Probištip	16,5	-	22,o	-	2o
13	Titograd	4,3	3,8	1o,o	4,6	4o
14	Pljevlja	3,o	-	5,o	6,o	3o
15	Nikšić	4,9	5,4	4,o	4,7	4o
16	Osijek	9,7	6,o	11,o*	-	3o
17	Vukovar	11,1	8,o	14,o	15,o	4o
18	Vinkovci	11,o	9,o	-	11,o	3o
19	Idrija	4,o	7,o	-	8,o	3o
2o	Split	3,o	3,1	4,8	7,o	4o
21	Bor	5,o	4,8	7,o	6,o	4o
Srednje		8,4	7,4	11,8	8,6	69o

* Žuta cigla

Ovi podaci očigledno ukazuju da postoje značajne razlike izmedju gradova kao i izmedju ulica sa različitim podlogama u istom gradu. Tako npr. jačina ekspozicione doze iznad asfaltiranih ulica u Splitu ima srednju vrednost 3 μr/h a u Probištipu 16,5 μr/h, ili iznad ulica sa kockom u Splitu 4,8 μr/h a u Probištipu 22 μr/h.

U svim gradovima uglavnom najveće vrednosti izmerene su iznad ulica sa kockom (4-22 μr/h, ili srednje 11,8 μr/h), a najniže iznad ulica sa betonskom podlogom (3,1-11,0 μr/h, ili srednje 7,4 μr/h).

Kamene kocke sa različitih lokaliteta imaju različit sadržaj prirodnih radionuklida. Takav donet materijal može značajno povećati jačinu ekspozicione doze u gradu. U tom smislu karakterističan je slučaj Sarajeva. Naime, u ovom gradu jačine ekspozicionih doza iznad asfaltiranih ulica, ulica sa betonskim kolovozom i sa kaldrmom iznose 4,0; 4,0 i 3,5 μr/h a iznad ulica sa kockom 11 μr/h. Slična je situacija i u Titogradu, dok u Nikšiću gde je kocka drugog porekla ovakvog povećanja nema.

Na osnovu ovog relativno malog broja merenja ostaje nam jedino mogućnost da zaključimo da srednja vrednost jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja iznad ulica (P_3) u gradovima SFRJ nije veća od NAJVEROVATNIJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE ZA POPULACIJU U SLOBODNOJ SREDINI (P_3 P_2= 12,95 μr/h). Medjutim, izmerene vrednosti u Bitolju i Probištipu su veće od P_2 i potvrdjuju da stanovnici ovih mesta pripadaju delu populacije u SFRJ od oko 11,5% za koji je karakteristična jačina ekspozicione doze u slobodnoj sredini od 17-35 μr/h.

b) <u>Zelene površine</u>

Jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u parkovima i iznad drugih zelenih površina (P_4) izmerene su u 21 gradu na 233 mesta. Srednje vrednosti date su u tabeli 2.

Ako se ove veličine uzmu kao karakteristične vred-

nosti za terene na kojima su locirani gradovi onda bi se moglo reći da asfaltiranje i betoniranje ulica dovodi do smanjenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini od 1 m, a da postavljanje podloge od kamenih kocki dovodi do povećanja ekspozicione doze.

Iz tabele 2 se vidi da je jačina ekspozicione doze iznad zelenih površina 5,o - 17,o μr/h, ili srednje za 21 grad 1o,4 μr/h. Srednja vrednost je manja od P_2.

Poredjenjem ovih podataka i podataka za ulice u Bitolju i Probištipu očigledno je da se ne radi o donetom materijalu, već o povećanom sadržaju prirodnih radionuklida u samom terenu gde su ove mesta locirana.

Tabela 2

Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini od 1 m iznad zelenih površina u gradovima (P_4)

Red. broj	MESTO	μr/h (Srednja vrednost	Broj merenja
1	Ljubljana	9,9	1o
2	Zagreb	1o,o	1o
3	Rijeka	12,3	1o
4	Maribor	12,2	1o
5	Beograd	1o,4	2o
6	Novi Sad	11,2	14
7	Priština	1o,7	1o
8	Sarajevo	7,7	1o
9	Mostar	8,5	1o
1o	Skopje	12,4	1o
11	Bitolj	17,o	14
12	Probištip	17,o	1o
13	Titograd	9,1	6
14	Pljevlja	7,1	1o
16	Nikšić	11,7	6
16	Vukovar	11,o	12
17	Osijek	1o,o	13
18	Vinkovci	11,o	12
19	Idrija	8,o	7
2o	Split	5,o	7
21	Bor	6.8	22
Srednje		1o,4	233

c) Kuće

U 23 grada u SFRJ izvršili smo merenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja (P_5) u 105 kuća od betonskih elemenata, 83 kuće od kamena i 29 kuća od drveta.

Rezultati tih merenja dati su u tabeli 3. Srednje vrednosti jačine ekspozicione doze u kućama od cigala kreću se od 5,7 μr/h (Split, Titograd) do 25,5 μr/h (Probištip), ili u proseku za 21 grad 12,8 μr/h. U kućama od betonskih elemenata ova veličina iznosi 4,6 μr/h (Split) do 25,3 μr/h (Probištip), ili u proseku za 20 gradova 11,6 μr/h.

Jačina ekspozicione doze u 83 kuće od kamena u 14 gradova varira od 3,6 μr/h (Nikšić) do 27,5 μr/h (Probištip), dok je srednja vrednost za 14 gradova 10,2 μr/h.

Najniže jačine ekspozicionih doza izmerene su u kućama od drveta. U ukupno 29 takvih kuća u 10 gradova. Te vrednosti kreću se od 5,5 μr/h do 10 μr/h. Ustvari, postoji jedan značajan izuzetak u Idriji gde je u kući od drveta izmerena vrednost od 25 μr/h. Ova kuća nalazi se u dometu izlazne ventilacione struje iz rudnika žive. Koncentracija radona i njegovih potomaka u izlaznoj ventilacionoj struji isključiv su razlog za ovakvu vrednost jačine ekspozicione doze.

Ova merenja pokazuju da na veličinu P_5 bitno utiče poreklo i vrsta gradjevinskog materijala. U tom smislu značajnu ulogu ima i pesak koji ulazi u sastav maltera.

Prosečne vrednosti P_5 u kućama od različitog gradjevinskog materijala u gradovima gde su vršena merenja su niže, ili na nivou P_2.

Povećane vrednosti P_5 u odnosu na analogne vrednosti koje su nadjene iznad ulica rezultat su geometrije koju čini unutrašnjost kuća.

Porad merenja u gradovima ista smo ispitivanja izvršili i u 67 kuća od različitog gradjevinskog materijala u 20 manjih mesta. Uzimajući srednju vrednost za jedno

Tabela 3

Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u kućama od različitog gradjevinskog materijala u gradovima (P_5)

Red. br.	Mesto	CIGLA		BETON		KAMEN		DRVO	
		/ur/h	Br mer.	/ur/h	Br. mer	/ur/h	Br. mer.	/ur/h	Br. mer.
1	Ljubljana	16,o	4	11,2	4	-	-	7,3	2
2	Zagreb	16,2	4	13,6	4	-	-	8,3	2
3	Rijeka	16,o	4	15,6	4	-	-	7,3	2
4	Maribor	16,3	4	14,1	4	-	-	7,8	2
5	Beograd	1o,1	1o	8,5	1o	9,6	1o	8,o	1o
6	Novi Sad	11,o	5	12,5	5	9-	-	-	-
7	Priština	12,o	8	12,6	8	1o,o	3	-	-
8	Sarajevo	7,5	2	7,6	16	8,5	1o	7,o	1
9	Mostar	7,9	3	8,4	3	6,8	5	-	-
1o	Skopje	14,3	4	11,9	3	14,2	3	9,1	5
11	Bitolj	21,5	4	18,5	4	2o,5	4	-	-
12	Probištip	25,5	4	25,3	6	27,5	4	-	-
13	Titograd	5,7	7	5,4	7	5,1	2	1o,o	2
14	Pljevlje	9,5	9	1o,1	7	5,7	7	5,5	2
15	Nikšić	9,4	7	7,7	16	3,6	5	-	-
16	Osijek	15,5	3	9,4	7	-	-	-	-
17	Vukovar	13,o	5	1o,2	5	-	-	-	-
18	Vinkovci	11,4	5	9,4	5	-	-	-	-
19	Idrija	15,o	2	15,3	7	11,3	3	25	1
2o	Split	5,7	1o	4,6	14	3,8	24	-	-
21	Gospić	9,8	1	-	-	-	-	-	-
22	Senj	-	-	-	-	6,3	2	-	-
23	Pazin	-	-	-	-	1o,2	1	-	-
Srednje		12,8		11,6		1o,2		9,5	
Ukupno merenja			1o5		139		83		29

mesto kao reprezentativnu vrednost za tu lokaciju dobija se prosečna vrednost za 2o kontrolisanih naselja od 14,5 μr/h, s tim da se reprezentativne vrednosti za pojedina naselja kreću od 7,o μr/h (Aumanovska Banja) do 35 μr/h (Kopaonik).

Ovakva vrednost je veća od P_2. Medjutim, sam izbor lokacija izvršen na osnovu prethodnih merenja u slobodnoj sredini pretpostavljao je takav slučaj. Sasvim je sigurno da bi bilo koji drugi izbor 2o naselja ovog tipa dao nižu vrednost jačine ekspozicione doze, tako da bi verovatno bila bliska vrednosti P_2.

Naselja u čijim je kućama jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja dvostruko veća od vrednosti P_2 su: Rudare kod Kosovske Mitrovice (24,3 μr/h), Rudna Glava na putu Bor-Majdanpek (25,o μr/h), Kopaonik (35 μr/h).

Slične vrednosti mogu se naći i u kućama u Mezdreji i Gabrovnici kod Kalne.

Zaključak

Merenja jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u kućama, iznad ulica i zelenih površina u gradovima i u kućama u seoskim naseljima pokazuju da se ove vrednosti kreću u granicama veličina koje su izmerene u slobodnoj sredini u SFRJ. Isto tako najverovanije vrednosti jačine ekspozicione doze u ovim sredinama se poklapaju.

Na osnovu toga jačina ekspozicione doze od 13 μr/h može se smatrati najverovatnijom vrednošću pri oceni ozračenja populacije u SFRJ prirodnim gama zračenjem.

Dakle, jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja do 5 ur/h karakteristična je za o,o51% stanovništva, od 5-23 μr/h za 99,796% stanovništva, a preko 23 μr/h za o,153% stanovništva približno.

Izgradnja kolovoza ulica od kamene kocke može značajno povećati jačinu ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u gradovima, ali to ne mora biti uvek.

Pored osnovnog konstrukcionog materijala na nivo gama fona bitno utiče sadržaj prirodnih radionuklida u pesku koji ulazi u sastav maltera.

Literatura

1. M. Sterle., : Konfiguracija terena i dozimetrija prirodne gama aktivnosti. III. Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti. B. Luka. 23-26.X.1967.

2. R. Radovanović, D. Hajduković: Spektrometrijska metoda za merenje malih doza gama zračenja. Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti. B. Luka, 23-26.X.1967.

3. H. Radovanović, D. Hajduković: Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na teritoriji SR Srbije. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti II. 28-3o. maj 1969.

4. R. Radovanović, R. Brnović, Lj. Moračić, D. Ranov, M. Vukotić at D. Hajduković: Activité naturelle et contamination par les produits de fission du milieu ambiant et de la chaine alimentaire sur le territoire de Serbie de 1961 à 1968. Simposium International de Radioecologie. Cadarache Sept. 1969.

5. R.Radovanović, M. Sterle: Izloženost stanovništva SFRJ prirodnom gama zračenju LMRRZ-o7-3723 Juni 197o.

PRVI BILANS RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE TERITORIJE SFRJ SA FISIONIM PRODUKTIMA U PERIODU OD 1962 - 1969. GODINE

R.G. RADOVANOVIĆ, R. FELIKS*

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

* Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu - Beograd

Rezime

U ovom radu dat je prvi bilans radilaktivne kontaminacije teritorije SFRJ za period od 1962-1969. godine. Opisan je trend nivoa ove kontaminacije i dati ustanovljeni faktori diskriminacije u ekološkom ciklusu.

1.1. Uvod

Od 1961. godine na teritoriji SFRJ vrše se merenja nivoa radioaktivne kontaminacije sa fisionim produktima u različitim medijima biosfere.
Ova merenja vrše po jedinstvenoj ili vrlo sličnoj metodologiji: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU-Zagreb, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović - Beograd, Institut za higijenu i socijalnu medicinu - Sarajevo, Zavod za varnost pri delu - Ljubljana, Republički zavod za zdravstvenu zaštitu SRM-Skopje i od 1968. godine Republički zavod za zdravstvenu zaštitu SRCG. - Titograd. U ovom periodu saradnici navedenih instituacija objavili su iz ove oblasti više od 80 radova. U svim tim radovima tretirani su pojedinačni

problemi, ili problemi iz okvira teritorije na kojoj su autori vršili merenja. Uporedo sa ovim radovima izdavana je godišnja publikacija: RADIOAKTIVNOST ŽIVOTNE SREDINE U JUGOSLAVIJI pod redakcijom V. Popovića. U ovom radu učinjen je pokušaj da se da prvi bilans radioaktivne kontaminacije teritorije SFRJ fisionim produktima u toku navedenog perioda.
Imajući u vidu prirodu i svrhu izvršenih merenja o svim vrednostima koje će biti navedene može se sa zadovoljavajućom sigurnošću govoriti da su reprezentativne za populaciju u SFRJ, ma da se svakom pojedinačnom rezultatu ne može pripisati apsolutna tačnost, jer to nije, po prirodi stvari, ni svrha ovih merenja. S druge strane, detaljna studija podataka o uticaju nuklearnih eksplozija na nivo radioaktivne kontaminacije biosfere u SFRJ ostaje otvoren problem čijem se rešenju već počelo delimično da prilazi. Pitanje detaljne studije je veoma kompleksno, naročito kad se ima u vidu da ima veoma malo, ili da uopšte nema podataka o regionalnoj strukturi ishrane, o poreklu životnih namirnica u pojedinim regionima itd. Zbog svega toga u ovom bilansu koriste se zvanične statističke vrednosti za SFRJ kao celinu.
Imajući u vidu metodologiju merenja u vrednostima datim u tabeli 1 sasvim sigurno je sadržan udeo koji potiče od jednog broja dugoživećih prirodnih radionuklida koji se nalaze u vazduhu. Tek nakon odredjivanja ovog udela biće moguće odrediti i sam udeo fisionih produkata. Isto tako vrednosti u tabeli 1 su rezultati merenja 120 časova nakon sakupljanja uzoraka, pa je normalno da se moraju učiniti odgovarajuće korekcije u pogledu raspada fisionih produkata od momenta sakupljanja do momenta merenja. Medjutim, navedene korekcije sasvim sigurno ne bi bitno izmenile vrednosti navedenih podataka sa stanovišta zdravstvene zaštite stanovništva. Ovakav stav ima za osnovu izvestan

broj spektrometrijskih i radiohemijskih ispitivanja sastava smeše fisionih produkata u vazduhu na nekim mernim mestima u SFRJ.

1.2. Vazduh

a) Ukupna beta aktivnost

Ukupna beta aktivnost vazduha na visini od 1 m iznad tla merena 120 časova nakon sakupljanja uzoraka u proseku se kretala po podacima u tabeli 1.

Tabela 1

Srednje godišnje vrednosti beta aktivnosti vazduha u SFRJ

God.	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
pCi/m^3	3,o	7,8	8,6	1,4	o,3o	o,18	o,17	o,32

Prosečne vrednosti u toku nekih dana bile su u proteklom periodu za 2-1o puta veće od vrednosti navedenih u tabeli 1. Medjutim, srednje mesečne vrednosti nisu u maksimumu otstupale za više od 2-3 puta od srednje godišnje vrednosti.

b) Stroncijum-9o

Stroncijum-9o u vazduhu odredjivan je u periodu od 1962 do 1966 godine u Beogradu. Podaci o tim merenjima dati su u tabeli 2.

Tabela 2

Koncentracija ^{90}Sr u vazduhu u Beogradu
($pCi/1000\ m^3$)

God. / mes.	1962	1963	1964	1965	1966
I	38,0	9,0	9,0	5,7	6,7
II	10,0	19,0	20,0	5,1	6,9
III	25,0	18,0	16,0	14,0	4,6
IV	39,0	179,0	44,0	14,0	6,6
V	55,0	96,0	67,0	54,0	10,4
VI	47,0	96,0	97,0	19,0	9,2
VII	66,0	140,0	71,0	18,0	7,4
VIII	86,0	160,0	50,0	9,7	2,4
IX	31,0	59,0	19,0	4,5	2,4
X	40,0	53,0	20,0	1,6	1,2
XI	48,0	31,0	5,6	8,8	1,4
XII	12,0	12,0	5,7	1,6	0,9
Srednje	41,0	73,0	38,9	13,0	5,0
Udeo u ukupnoj beta aktiv.	0,64%	1,50%	3,0%	5,4%	3,5%

1.3. Padavine

a) Ukupna beta aktivnost dnevnih padavina

Dnevne padavine (kiša i sneg) sakupljane su

1961 godine na jednom mestu da bi se kasnije taj broj kretao od 5-7. Uzorci su pripremani metodom uparivanja i mereni na standardan način 120 časova posle sakupljanja. Na osnovu tih merenja izračunate su specifične aktivnosti u mCi/km^2 date u tabeli 3.

Tabela 3

Beta aktivnost dnevnih padavina
(Srednje godišnje vrednosti u SFRJ)

God. / A	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	1500	2100	1250	200	28	57	N.P.	54

b) Ukupna beta aktivnost mesečnih padavina

Sve padavine sakupljane su kontinualno u toku svakog meseca na 12 do 26 mesta u periodu od 1961 godine. Postupak obrade i merenja uzoraka bio je isti kao i kod dnevnih padavina, stim što su merenja vršena 10 dana nakon završenog meseca.

Podaci o tim merenjima dati su u tabeli 4.

Tabela 4

Beta aktivnost mesečnih padavina
(Srednje godišnje vrednosti i SFRJ)

God. / A	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	640	1000	1300	270	77	37	19	58

Vrednosti date u tabeli 2 čine aktivnost čvrstih i tečnih padavina, dok vrednosti u tabeli 1 čine aktivnost istih ali samo u danima kada je bilo kiše ili snega. U svakom slučaju iz ovih podataka evidentne su dve stvari:

1. Beta aktivnost koja se deponuje na našu teritoriju značajno opada i

2. U toku 1961, 1962 i 1963 godine u proseku je na teritoriji SFRJ sa padavinama dospela je takva količina radionuklida da je njihova aktivnost bila 1 - 2 Ci/km^2. Kao i kod aerosola nije poznat tačan udeo fisionih produkata i prirodnih radionuklida u ovim vrednostima, ali ako vrednosti za 1965 i 1966 godinu uzmemo čak da uglavnom potiču od prirodnih radionuklida, prednji zaključci bi imali punu vrednost za udeo fisionih produkata.

c) ^{90}Sr u mesečnim padavinama

U periodu od 1961 do 1968 godine na teritoriji SFRJ sa padavinama su dospele aktivnosti ^{90}Sr date u tabeli 5.

Tabela 5

^{90}Sr u mesečnim padavinama
(Srednje godišnje vrednosti u SFRJ)

God. / A	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	0,70	10,5	22,0	16,0	7,0	3,5	1,4	2,3

Maksimalna vrednost u jednom mestu izmerena je 1963 godine i iznosila je 44 mCi/km^2. Ova merenja vršena su u proseku na 13 mesta u SFRJ u proteklom periodu.

d) ^{137}Cs u mesečnim padavinama

Merenje aktivnosti ^{137}Cs u proteklom periodu vršeno je povremeno u Beogradu i Zagrebu. Na osnovu tih merenja srednje godišnje vrednosti date su u tabeli 6.

Tabela 6

^{137}Cs u mesečnim padavinama
(Srednje godišnje vrednosti)

God. / A	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	2,3	9,2	21,1	12,7	5,4	4,5	2,4	2,1

Vrednosti do 1965 godine odnose se samo na Beograd. Medjutim, s obzirom na relativno konstantan odnos aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr mislimo da su vrednosti za ^{137}Cs date na tabeli 7 reprezentativnije za teritoriju SFRJ.

Tabela 7

Izračunate vrednosti za ^{137}Cs u mesečnom falloutu
(Srednje godišnje vrednosti u SFRJ)

God. / A	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	1,2	18,2	35,2	27,2	10,8	7,0	2,1	3,9

Dakle, u periodu od 1961 do 1968 godine na teritoriji SFRJ sa padavinama je dospelo u proseku oko 106 mCi/km^2, dok je u istom periodu deponovano oko 63 mCi ^{90}Sr/km^2.

1.4. Zemljište

a) ^{90}Sr u zemljištu

Srednja koncentracija ^{90}Sr u sloju zemljišta dubine 0-5 cm kretala se prema podacima datim u tabeli 8.

Tabela 8

Koncentracija ^{90}Sr u zemljištu
(0 - 5 cm)

God.	1963	1964	1965	1966	1967	1968
mCi/km^2	19,5	23,7	28,7	27,4	15,0	16,8
pCi/grCa	42,0	48,3	80,0	117,0	69,2	89,5

Broj mesta na kojima su uzimani uzorci zemljišta kretao se od 6-20 u toku jedne godine.
Maksimalna vrednost od 118 mCi/km^2 izmerena je na jednom mestu 1966 godine.

1.5. Rečne vode

a) Ukupna beta aktivnost rečnih voda

Ukupna specifična beta aktivnost rečnih voda kontrolisana je od 1961 do 1968 godine u proseku iz 15 reka na 17 do 23 mesta u toku godine. Rezultati su dobijeni na osnovu kontinualnog merenja desetodnevnih uzoraka.
Prednje godišnje vrednosti za reke u SFRJ date su u tabeli 9.

Tabela 9

Beta aktivnost rečnih voda
(Srednje vrednosti u SFRJ)

God.	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
pCi/l	10	45	59	28	10	8	7	5

Maksimalna vrednost na jednom mestu od 172 pCi/l izmerena je 1963 godine.

b) ^{90}Sr u rečnim vodama

Srednje godišnje vrednosti koncentracije ^{90}Sr u pet najvećih reka SFRJ date su u tabeli 10.

Tabela 10

^{90}Sr u rečnim vodama

God.	1963	1964	1965	1966	1967	1968
pCi/l	2,6	1,5	1,3	0,6	0,5	0,6

Maksimalna vrednost izmerena je 1963 godine i iznosila je 3,4 pCi/l u toku jednog meseca, dok je minimalna srednja vrednost za jedan mesec izmerena na jednom mestu bila 0,34 pCi ^{90}Sr/l.

1.6. Pijaće vode

a) Beta aktivnost vode iz vodovoda

Specifična beta aktivnost pijaće vode iz vodovoda odredjivana je u periodu od 1962 - 1966 godine u 8 mesta u SFRJ.
Podaci o tim merenjima (srednje godišnje vrednosti) dati su na tabeli 11.

Tabela 11

Beta aktivnost vode iz vodovoda
(Srednje godišnje vrednosti)

God.	1962	1963	1964	1965	1966
pCi/l	21	22	9	9,8	3,3

Maksimalna vrednost izmerena je 1963 godine i iznosila je 47 pCi/l, a minimalna 1966 godine od 2 pCi/l.

b) ^{90}Sr u vodi iz vodovoda

^{90}Sr u vodi iz vodovoda odredjivan je samo u dva mesta. Podaci o tim merenjima dati su u tabeli 12.

Tabela 12

^{90}Sr u vodama iz vodovoda
(pCi/l)

God.	1962	1963	1964	1965	1966
min. sr. meseč.	0,13	0,20	0,20	0,11	0,11
maks.sr. meseč.	0,91	1,04	1,66	1,29	1,24
Srednja godišnja vrednost	0,52	0,62	0,93	0,70	0,41

c) Beta aktivnost u vodama iz cisterni

Specifična beta aktivnost u vodama iz cisterni kretala se od 1961 do 1966 godine od 5 pCi/l do 928 pCi/l.

Istina u dve cisterne gde je voda bila mutna 1961 i 1962 godine izmerene su vrednosti od 21.840 pCi/l, odnosno 4740 pCi/l. U toku poslednjih godina vršeno je od 21 - 65 merenja. Srednje godišnje vrednosti date su na tabeli 13.

Tabela 13

Beta aktivnost voda iz cisterni
(Srednje godišnje vrednosti)

God.	1961	1962	1963	1964	1965	1966
pCi/l	279	203	219	88	45	18

d) ^{90}Sr u vodama cisterni

^{90}Sr odredjivan je od 1963 do 1966 godine u vodama iz 7 cisterni.
Podaci o tim merenjima dati su natabeli 14.

Tabela 14

^{90}Sr u vodama iz cisterni
(Srednje godišnje vrednosti)

God. / A	1963	1964	1965	1966
pCi/l	16,1	18,1	9,1	8,1

Maksimalna vrednost izmerena je 1963 godine u vodi iz jedne cisterne i iznosila je 42,8 pCi/l.

1.7. Ljudska hrana

a) ^{90}Sr u životnim namirnicama

Srednje godišnje vrednosti koncentracije ^{90}Sr i sadržaja Ca u životnim namirnicama dati su u tabeli 15.

Tabela 15

^{90}Sr u životnim namirnicama

(Srednje godišnje vrednosti u SFRJ)

Vrsta	1961		1962		1963		1964		1965		1966	
	pCi/kg	grCa/kg	pCi/kg	grCa/kg	pCi/kg	grCa/kg	pCi/kg	grCa/kg	pCi/kg	grCa/kg	pCi/kg	grCa/kg
Pšenica	21	0,350	62	0,323	162	0,308	187	0,322	77	0,295	56	0,344
Krompir	5	0,180	15	0,112	14	0,119	15	0,115	9	0,105	7	0,185
Kukuruz	-	-	2	0,049	4	0,060	7	0,066	2,5	0,058	3	0,058
Pasulj	-	-	33	1,390	115	2,230	55	0,980	86	1,070	116	1,200
Voće	-	-	-	-	-	-	15	0,148	11	0,128	4	1,200
Povrće	-	-	10	0,430	26	0,572	35	0,530	37	0,603	26	0,582
Mleko	7	1,1	12	1,1	23	1,1	29	1,1	23	1,1	16	1,1
Meso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0,115

b) ^{137}Cs u životnim namirnicama

Broj merenja koncentracije ^{137}Cs u životnim namirnicama je znatno manji od broja merenja koncentracije ^{90}Sr. Uzorci su sakupljani uglavnom sa teritorija S.R. Srbije i S.R. Makedonije.
Podaci o tim merenjima dati su u tabeli 16.

Tabela 16

^{137}Cs u životnim namirnicama
(Srednje godišnje vrednosti)
(pCi/kg)

God. / Vrsta	1966	1967	1968
Pšenica	44,4	57,6	48,6
Krompir	27,9	14,7	1,0
Kupus	33,7	6,8	6,4
Pasulj	84,0	45,0	5,0
Mleko	23,1	12,2	9,6
Meso	-	77,1	60,4

1.8. Stočna hrana

a) ^{90}Sr u stočnoj hrani

Srednje godišnje vrednosti koncentracije ^{90}Sr

i Ca u stočnoj hrani date su u tabeli 17.

Tabela 17

^{90}Sr u stočnoj hrani
(Srednje vrednosti za SFRJ)

Vrsta	1962		1963		1964		1965		1966	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Trava	2500	12,0	4000	11,8	3750	11,3	1800	10,5	1300	11,0
Lucerka	1700	14,0	1950	16,7	1850	18,7	1100	15,4	750	17,7
Koncentrat	-	-	500	9,5	300	9,5	200	10,0	140	8,2
Silaža	800	2,9	500	3,5	350	2,5	200	2,6	170	2,9

1.pCi/kg svežeg uzorka
2.gr Ca/kg "

b) ^{137}Cs u stočnoj hrani

Podaci o koncentraciji ^{137}Cs i K u stočnoj hrani dati su na tabeli 18.

Tabela 18

^{137}Cs u stočnoj hrani
(Srednje vrednosti)

	1964		1965		1966		1967		1968	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Trava	-	-	1300	3,5	-	-	450	8,0	230	2,5
Lucerka	-	-	800	6,3	-	-	110	6,0	72	5,3
Koncentrat	290	5,9	520	9,8	-	-	60	6,9	60	5,6
Silaža	-	-	140	12,1	-	-	-	-	63	4,9

1. pCi ^{137}Cs/kg
2. grK/kg

1.9. Ljudske kosti

Srednji broj stroncijumovih jedinica u ljudskim kostima (pCi ^{90}Sr/grCa) u ljudskim kostima u zavisnosti od starosti dat je u tabeli 19.

Tabela 19

Srednji sadržaj ^{90}Sr u ljudskim kostima
(pCi/grCa)

God. \ starost	mrtvo rodj.	0-1 god.	1-3 god.	3-5 god.	5-10 god.	10-15 god.	15-25 god.	25-35 god.	35-55 god.	Više od 55 god.
1963	4,27	5,26	4,67	-	-	2,20	-	-	-	-
1964	3,25	4,43	14,44	4,08	7,63	2,91	3,53	1,48	-	1,03
1965	2,78	3,61	7,25	7,59	11,50	6,19	2,09	1,30	0,88	1,23
1966	-	4,84	5,01	9,64	6,95	1,65	3,56	1,51	-	1,59

Maksimalne vrednosti koje su ustanovljene u navedenom periodu date su u tabeli 20.

Tabela 20

Maksimalni sadržaj ^{90}Sr u ljudskim kostima (pCi/grCa)

Starost / God.	mrtvo rodj.	0-1 god.	1-3 god	3-5 god	5-10 god	10-15 god	15-25 god	25-35 god	35-55 god	Više od 55
1963	5,7	6,5	4,8	-	-	2,2	-	-	-	-
1964	5,2	7,3	16,2	4,3	7,6	2,9	6,3	2,6	-	1,8
1965	3,9	5,1	7,3	10,3	11,5	6,2	2,7	2,6	2,3	1,4
1966	-	10,3	5,1	10,7	7,3	1,7	9,5	3,7	-	4,2

2.1. Ustanovljeni diskriminacioni faktori

Na vrednost diskriminacionih faktora u pojedinim karikama ekološkog ciklusa utiče mnoštvo faktora. Na osnovu napred navedenih podataka mogu se ustanoviti sledeće njihove veličine:

a) Stroncijum -90

Tabela 21

Diskriminacioni faktori za SU
(Srednje vrednosti pCi/grCa : pCi/grCa)

Karika	DF
meso vegetacija	0,68
kosti životinja vegetacija	0,46
mleko vegetacija	0,12

b) Cerijum -137

Tabela 22

Diskriminacioni faktori za ^{137}Ca
(Srednje vrednosti za pCi/kg : pCi/kg)

Karika	DF
meso vegetacija	0,290
kosti životinja vegetacija	0,068
mleko vegetacija	0,028

3.1. Prethodna ocena radiobiološkog značaja kontaminacije teritorije SFRJ fisionim produktima

Polazeći od toga da prema našoj strukturi ishrane maksimalno dozvoljeno dnevno unošenje ^{137}Cs i ^{90}Sr može biti 2220 pCi/dan (555 pCi/grK), odnosno 135 pCi ^{90}Sr/dan (270 pCi/grCa) za odrasle stanovnike i 67 pCi ^{90}Sr/dan (67 pCi/grCa) za decu, može se pokazati da srednje vrednosti u SFRJ nisu prelazile ove veličine. Medjutim, u toku 1963 i 1964 godine dnevno unošenje ^{90}Sr u organizam dece koja su hranjena hranom biljnog i animalnog porekla, bilo je dosta blisko 67 pCi/dan.
Na isti način, podaci o sadržaju ^{90}Sr u kostima dece rodjene od 1961 - 1965 godine ukazuju da je sadržaj ovog radionuklida u istim bio 2 - 5 puta veći nego u kostima odraslih. Mada su maksimalne ustanovljene vrednosti niže od MDK čini se da postoji odredjen interes daljeg studiranja ovog pitanja.

REGIONALNA RASPODELA SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U SR SRBIJI I NIVO OZRAČENJA POPULACIJE

R.G.Radovanović, Lj.Mijatović, M.Vukotić i D.Hajduković

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

Rezime

Na terenima u SR Srbiji koje karakterišu različite jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja sakupljani su uzorci biljaka i životinjskih kostiju u kojima su odredjivane koncentracije Urana, ^{226}Ra i ^{210}Pb.

Diskutovani su zakoni raspodele dobijenih rezultata i ocenjivana valjanost podataka o jačini ekspozicione doze prirodnog gama zračenja kao merila integralnog ozračenja populacije uslovljenog prirodnim radionuklidima.

Uvod

Problem kruženja prirodnih radionuklida u ekološkom ciklusu na terenima sa različitim nivoom prirodnog radijacionog fona ima značajnu teorijsku i praktičnu vrednost. Naša prva ispitivanja u ovoj oblasti datiraju od 1965 godine (1), i odnosila su se na životnu sredinu u okolini rudnika urana.

U toku 1966 godine dat je prvi podatak o dnevnom unošenju ^{226}Ra u organizam stanovnika S.R. Srbije putem hrane (2). Već tada konstatovane su značajne razlike sadržaja ^{226}Ra u ljudskoj hrani koja potiče sa različitih te-

terena u S.R. Srbiji. Na trećem simpozijumu o radiološkoj zaštiti u Banja Luci mi smo saopštili rezultate merenja koncentracija U, ^{226}Ra, ^{210}Pb i ^{40}K u biljkama sa terena koje smo klasifikovali kao prosečnu zonu, zonu naftonosnih polja i zonu sa povećanim sadržajem prirodnih radionuklida (3). Srednje godišnje unošenje ^{210}Pb i ^{226}Ra putem hrane u organizam stanovnika koji žive u zonama sa povećanim prirodnim fonom 1968 godine (4) iznosilo je 5,1 pCi ^{210}Pb/dan, odnosno 2,9 pCi ^{226}Ra/dan. Ova zona obuhvatala je teritoriju istočne Srbije i terene oko nekih banja u čijim je vodama povećan sadržaj prirodnih radionuklida.

Detaljnija ispitivanja pojedinih mikrolokacija pokazala su da je sadržaj prirodnih radionuklida u okolini metalnih rudnika u Srbiji znatno povećan. Ova konstatacija odnosi se naročito na rudnike olova i cinka. Medjutim, stanovnici iz okoline nekih rudnika u čijoj okolini nema znatnijeg povećanja sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu, ali je povećan sadržaj prirodnih radionuklida u zemljištu koje je bitno za snabdevanje stanovništva životnim namirnicama, unose sa hranom značajne aktivnosti. Tako na pr. stanovnici Bora (5) unose dnevno sa hranom 3,1 pCi ^{226}Ra i 5,74 pCi ^{210}Pb.

Hrana stanovnika u velikim gradovima ima različito poreklo. U tom smislu nivo prirodne aktivnosti koji se unosi u ljudski organizam zavisi od karakteristika veoma velikih teritorija. Tipičan slučaj odnosi se na stanovnike Beograda koji su 1968/1969 godine sa hranom unosili prosečno 0,5 gama U/dan, 1,1 pCi ^{226}Ra/dan i 8,8 pCi ^{210}Pb/dan. Visoka vrednost dnevnog unošenja ^{210}Pb bila je isključivo uslovljena 5-10 puta povećanom koncentracijom ovog radionuklida u uvezenom voću u odnosu na vrednosti u istoj vrsti sa naše teritorije (6).

Različit nivo sadržaja prirodnih radionuklida u biljkama sa raznih terena uslovljava različitu koncentra-

ciju ovih radionuklida u kostima životinja. Koncentracija ^{210}Pb u dugim kostima životinja iz okoline Beograda (20 - 40 pCi/kg sveže kosti) nije bitno zavisna od vrste životinja. S druge strane rezultati merenja sadržeja ^{226}Ra u životinjskim kostima (7) pokazuju skoro zakonitu konstantnost u različitim kostima životinja iste vrste. Medjutim, koncentracija ^{226}Ra i ^{210}Pb u kostima i mekom tkivu bitno zavisi od teritorije gde te životinje žive (8).

Uporedo sa napred navedenim ispitivanjima u periodu od 1966 do 1970 godine u S.R. Srbiji vršena su merenja jačine ekspozicione doze na visini od 1 m iznad tla (9, 10). Ovim merenjima ustanovljena je korelacija izmedju jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja i osnovnih geoloških struktura teritorije S.R. Srbije. Na toj osnovi bilo je moguće izraditi kartu sa izodoznim površinama za celu teritoriju.

Od 1967 godine sakupljanje uzoraka ljudske hrane i životinjskih kostiju vršili smo sa definisanih izodoznih površina na teritoriji S.R. Srbije. Broj tih zona za odredjivanje sadržaja urana bio je 6, za odredjivanje ^{226}Ra - 11, i za odredjivanje ^{210}Pb - 11. Broj uzoraka bio je takav da se na standardan način moglo odrediti srednje dnevno unošenje ovih radionuklida u ljudski organizam putem hrane. U uslovima, kad se uvede pretpostavka o jedinstvenosti strukture ishrane, za celu populaciju, koja se navodi u statističkim podacima (11) mi smo ustanovili (12) linearnu zavisnost izmedju jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini 1 m iznad tla i godišnjeg unošenja urana, ^{226}Ra i ^{210}Pb putem hrane u organizam stanovnika koji žive na 11 izodoznih površina sa jačinom ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u stepenima približno od 3μr/h, a u opsegu od 3 - 36μr/h. Koeficijenti linearne korelacije iznose za uran: 0,947 $\pm$ 0,042, za ^{226}Ra: 0,978 $\pm$ 0,018 i za

^{210}Pb: 0,979 ± 0,017.

Proces migracije prirodnih radionuklida u ekološkom ciklusu je veoma složen. U radu Verhovskaye i saradnika (13) navode se najmanje 54 relativno nezavisna faktora koji u mnoštvu kombinacija mogu bitno uticati na migraciju prirodnih radionuklida u ekološkom ciklusu. Takav prilaz problemu ima ogroman značaj za spoznaju suštinskih procesa u lancu migracije zemljište - biljka - životinja. Medjutim, broj realnih slučajeva karakterisanih datim faktorima može biti toliki da se u ovakvoj koncepciji postavlja pitanje mogućnosti uopštavanja.

U početku našeg bavljenja ovim problemom mi smo u suštini imali veoma sličnu koncepciju. Na taj način smo došli do odredjenog broja podataka o koncentraciji prirodnih radionuklida u oblasti korena biljaka i površinskom sloju zemlje (0 - 5 cm) za različite vrste zemljišta i različite biljke.

Osnove za ocenu regionalne raspodele sadržaja prirodnih radionuklida u SR Srbiji

Za prethodnu ocenu valjanosti podataka o jačini ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na visini 1 m iznad tla za ustanovljavanje sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu pošli smo od toga da na izmerenu jačinu ekspozicione doze utiče:

1. Sadržaj radionuklida u zemljištu

2. Telesni ugao pod kojim teren okružuje brojač u toku merenja

3. Fluktuacija radioaktivnog raspada

4. Greška merenja intenziteta gama zračenja.

Tri zadnja faktora mogli smo dosta lako kontrolisati kad se ima u vidu da smo mikrolokacije merenja birali na velikom prostoru, da je instrumentacija bila takva da se na istom mestu moglo izvršiti više merenja i da je greška merenja poznata. Na ovaj način varijaciona kriva jačine ekspozicione doze na datoj teritoriji ostaje u suštini funkcija sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu.

Naredni stavovi od kojih smo pošli su ovi:

1. Ne postoji tačka iznad koje je jačina ekspozicione doze nula. Ovaj stav je sasvim jasan kad se ima u vidu situacija sa radonom i njegovim potomcima, ne uzimajući u obzir i druge činioce.

2. Sa odredjenom verovatnoćom moguća je svaka vrednost jačine ekspozicione doze (a time i sadržaja prirodnih radionuklida u zemlji) koja je veća od nule.

3. Krupne epohe u formiranju tla morale su bitno uticati na distribuciju prirodnih radionuklida.

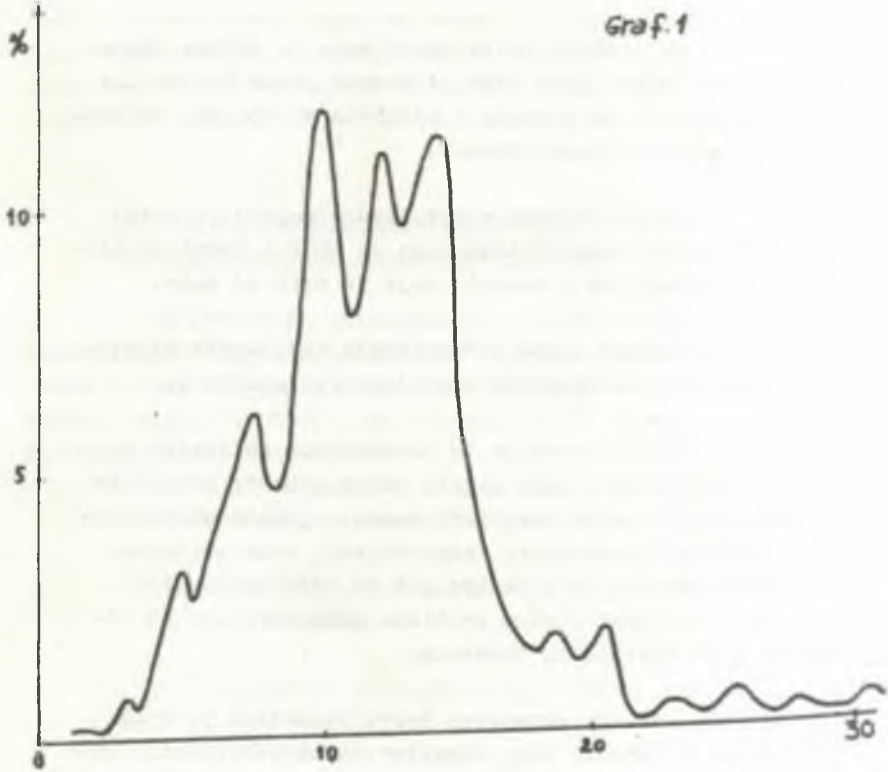
4. Iznad površine sa konstantnim sadržajem prirodnih radionuklida zbog moguće nehomogenosti zemljišta verovatnije je da će rezultati merenja jačine ekspozicione doze biti lognormalno rasporedjeni, nego normalno. Poslednji stav ustvari datira još od 1948 godine (14). Medjutim, ni danas o ovom problemu nema dovoljno ni teorijskih ni praktičnih podataka.

5. Osnovni parametar krive raspodele je maksimum po osi P (μr/h) koji karakteriše najverovatniju ak-

tivnost prirodnih radionuklida u zemljištu.

6. Ako se na krivi raspodela pojavi više maksimuma i ako su oni statistički značajno različiti onda oni odgovaraju terenima koji imaju suštinski različit sadržaj prirodnih radionuklida.

Analizirajući, sa ovih osnova, preko 3500 rezultata merenja jačine ekspozicione doze u S.R. Srbiji, čija je raspodela data na grafikonu 1, došli smo do sledećeg:



a) Kriva raspodele rezultata merenja ima više maksimuma čiji su položaji na osi P(μr/h) definisani sa:

$$P_i = \frac{1 + 5n}{2} \qquad (n = 0, 1, 2, ...)$$

Prednju relaciju smo proverili i na varijacionoj krivoj jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u SFRJ. Svi maksimumi na toj krivi sasvim precizno su potvrdjeni navedenom relacijom. Provera rezultata merenja jačine ekspozicione doze u raznim zemljama sveta u zavisnosti od geološke strukture terena indiciraju da bi ova relacija mogla da ima prirodni smisao, i da upravo odredjuje najverovatnije vrednosti jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja koje se mogu izmeriti iznad različitih terena. Na taj način verovatno da "n" ima odredjen fizički smisao. Broj rezultata merenja, ili površina teritorije ako su merenja po njoj homogeno rasporedjena, koji pripadaju datom maksimumu u prvoj aproksimaciji je lognormalno raspodeljen. Ovakav zaključak sledi iz toga što praktično dobijene asimetrične krive ako se nacrtaju u semilogaritamskom obliku dobijaju simetričan oblik.

Ovakvi rezultati merenja i analiza bili su osnova za naš prethodni rad (12) o korelaciji izmedju jačine ekspozicione doze i sadržaja U, ^{226}Ra i ^{210}Pb u hrani i životinjskim kostima.

b) Rezultati merenja koncentracije U, ^{226}Ra i ^{210}Pb u uzorcima biljaka sa terena koji pripadaju različitim pikovima najverovatnijih vrednosti jačine ekspozicione doze u S.R. Srbiji imaju isti oblik raspodele kao i jačina ekspozicione doze na tim lokacijama.

Merenja koncentracije ostalih prirodnih radionuklida su u toku.

c) Rezultati merenja koncentracije U, ^{226}Ra i ^{210}Pb u životinjskim kostima nemaju istu raspodelu kao vrednosti jačine ekspozicione doze. Naime, vrednosti ovih koncentracija na terenu S.R. Srbije rastu po eksponencijalnom zakonu sa povećanjem vrednosti jačine ekspozicione doze prirodnog gama zračenja iznad tla u datoj oblasti.

Zaključak

1. U S.R. Srbiji postoji 11 značajnih oblasti sa različitim sadržajem prirodnih radionuklida u zemljištu.

2. Jačina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja u ovim oblastima ima najverovatnije vrednosti na visini od 1 m iznad tla:

$$P_i = \frac{1 + 5n}{2} \qquad (n = 0, 1, 2, \ldots.)$$

3. Postoji visoka linearna korelacija izmedju jačine ekspozicione doze gama zračenja i unošenja U, ^{226}Ra i ^{210}Pb u ljudski organizam putem hrane.

4. Sa linearnim povećanjem ekspozicione doze iznad tla koncentracija U, ^{226}Ra i ^{210}Pb u životinjskim kostima raste po eksponencijalnom zakonu.

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 radioprotection, Herceg Novi. (1966)

3. Lj.Moračić, R.Radovanović, M.Vukotić : Odredjivanje prirodnih radionuklida u hrani. Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, str. 316-320. Banja Luka. (1967).

4. Lj.Moračić, R.Radovanović, D.Panov, M.Vukotić : Interna kontaminacija stanovnika S.R. Srbije U-238, Ra-226 i Pb-210 putem hrane. V Jugoslovenski kongres za preventivnu medicinu. Ohrid. (1968).

5. R.Radovanović, D.Hajduković, M.Vukotić i sar. : Radioaktivna kontaminacija i radijaciona polja u radnoj i životnoj sredini radnika rudnika Bor. Zbornik radova simpozijuma o zaštiti zdravlja radnika RTB-Bor. Str. 129-131. Bor.(1968).

6. Lj.Moračić, M.Vukotić, D.Panov : Distribucija prirodnih radionuklida u uzorcima hrane stanovnika S.R. Srbije. II Jugoslovenski kongres o prehrani. Zagreb. (1969).

7. Lj.Moračić, M.Vukotić, R.Brnović : Olovo-210, Radijum-226 i Stroncijum-90 u životinjskim i ljudskim kostima. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpo-

zijuma o radiološkoj zaštiti I. str. 178-185. B.Polje. (1969).

8. R.Radovanović, R.Brnović, Lj.Moraćić, D.Panov, M.Vukotić et D.Hajduković : Activite naturelle et contamination par les produits de fission du milieu ambiant et de la chaine alimentaire sur le teritoire de Serbie de 1961 A 1968. Symposium International de Radioecologie.Çadarache. pp. 1065 - 1082. (1969).

9. R.Radovanović, D.Hajduković : Spektrometrijska metoda za merenje malih doza gama zraćenja. Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti. Str. 70-76. B.Luka. (1967).

10. R.Radovanović, D.Hajduković : Jaćina ekspozicione doze prirodnog gama zračenja na teritoriji S.R. Srbije. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti II. str. 581-591. B.Polje. (1969).

11. Statistički godišnjak SFRJ za 1969 godinu.

12. R.Radovanović, Lj.Moračić, M.Vukotić and D.Hajduković : Corelation between exposure doses of natural gamma radiation and contrentration of U, ^{226}Ra and ^{210}Pb in food and animal bones. II Congress IRPA. No.136. Brighton (1970).

13. I.N.Verhovskaya et all. : The content and translocation of NRE in the system "Soil - Plants - Animals" under natural and experimental conditions. Symposium International de Radioecologie. pp 781-832. Cadarache. (1969).

14. N.K.Razumovskij : Logaritmičeski normaljnij zakon raspredelenija veščestv i ego svojstva. Zap. L.G.I. t. 20. (1948).

NCRP

Nr. / 07 -

ŠIRENJE RADIOAKTIVNIH ČESTICA U BIOSFERI

(Nuklearne eksplozije)

Popović Velimir

ŠIRENJE RADIOAKTIVNIH ČESTICA U BIOSFERI
(Nuklarne eksplozije)

Popović Velimir

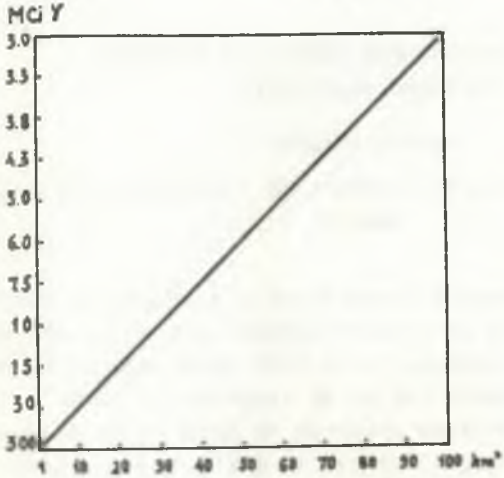
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Kada se govori o izvanrednim situacijama u radiološkom smislu, onda je svakako najteža situacija kada se radi o nuklearnom oružju. Prema NCRP izvanredna radiološka situacija je akcidenat ili drugi slučajevi - izvan normalnih - kada nastane opasnost da ljudi prime više od 25 r u jednom tjednu, a kod nuklearnih eksplozija može da se radi i o hiljadama rentgena.

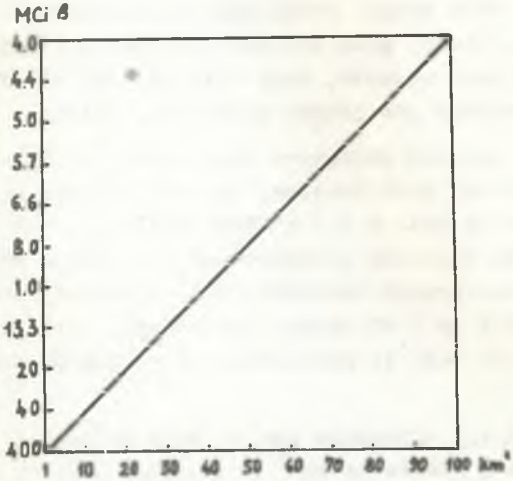
S obzirom da je o nuklearnom oružju, efektima i posljedicama pisano vrlo mnogo, ovdje ćemo se ograničiti samo na neke činjenice, jasno, samo što se tiče fisionih produkata, ne zato što nisu poznate, nego više zato da bi dobili u okviru svih izlaganja još jednom cjelovitiju sliku.

Kao što je poznato nuklearno oružje od 1 KT daje 300 MCi gama i 400 MCi beta čestica, tj. 300 miliona Ci gama i 400 miliona Ci beta u H + 1. Kod oružja od 1 MT to sačinjava oko 30 kg fisionih produkata ako je fisija 50% i oko 50-100 kg induciranih radioaktivnih elemenata. Kod prizemnih eksplozija na 1 MT ukupne moći oružja nađe se oko 1 megaton zemlje koja je pomiješana sa radioaktivnim materijalom.

Grafikoni 1 i 2 prikazuju gama i beta aktivnost jednog 1 KT oružja u odnosu na km^2 uz pretpostavku da se sav radioaktivni materijal istaložio na zemlju u H + 1, što je jasno samo teoretska pretpostavka.



Graf. 1 - Gustoća kontaminacije gama emitera u H + 1 (1 KT).



Graf. 2 - Gustoća kontaminacije beta emitera u H + 1 (1 KT).

Kao što se iz grafikona vidi gustoća kontaminacije se kreće od 300 odnosno 400 MCi do 3 odnosno 4 MCi po km^2 - jasno ako su kontaminirane površine veće ili manje onda će i gustoća kontaminacije biti manja ili veća. Da se dobiju podaci za oružje od 1 MT dovoljno je da se brojke na ordinati pomnože sa 1000.

S obzirom da se sa Ci označava aktivnost to je potrebno da se to prevede u druge jedinice da bi se vidjelo što znači odredena gustoća kontaminacije. 1 MCi gama emitera na 1 km^2 daje dozu* od 10-20 r/sat na visini oko 70 cm od tla. Iz praktičnih razloga može se uzeti da je 10 r/sat. 1 MCi/km^2 je ista gustoća kontaminacije kao i 1 Ci/m^2. U odnosu na grafikon 1, gama emiteri od 1 KT dali bi u H + 1 3000 r/sat ako bi bili rasprostrti na 1 km^2, odnosno 30 r/sat ako bi se istaložili na 100 km^2.

Kao što je poznato aktivnost se zbog dezintegracije vrlo brzo smanjuje (po formuli $t^{-1,2}$), odnosno aktivnost fisionih produkata se smanjuje za 10 puta, ako se vrijeme iza eksplozije poveća za 7 puta, no ne smije se zaboraviti da će ljudi primiti najveći dio doze u toku prvih 48 sati.

Tablica br. 1 pokazuje akumuliranu ukupnu dozu u r ako je doza u H + 1 bila 10 r/sat. U drugoj koloni prikazana je akumulirana doza koju bi dali stari fisioni produkti, čija je brzina dezintegracije znatno manja.

Tablica br. 2 pokazuje akumulirane doze ako je doza na početku ekspozicije bila 20 odnosno 300 r/sat.

---

*U čitavom referatu je upotrijebljen izraz doza, bez obzira da li se radi o dozi ili brzini doze, no svuda je u brojkama jasno izraženo da li se radi o dozi ili brzini doze.

Tablica 1

Utjecaj dezintegracije na akumuliranu dozu od fisionih produkata

Duljina ekspozicije	Akumulirana doza u r	
	Svježi fisioni produkti	Stari fisioni produkti
1 dan	24[x]	150[xx]
1 tjedan	32	740
1 mjesec	37	2400
1 godina	42	17800

[x]Faktor raspada: $t^{-1,2}$

[xx]Faktor raspada: $t^{-0,2}$

Tablica 2

Akumulirane doze kod početne ekspozicije od 20 odnosno 300 r/sat. Uzeta u obzir samo dezintegracija.

Duljina ekspozicije	Akumulirana doza u r	
	20 r/sat na početku	300 r/sat na početku
1 dan	48	720
1 tjedan	64	960
1 mjesec	74	1110
1 godina	84	1260

Međutim, ljudi i životinje u radiacionom polju nakon nuklearne eksplozije nalaze se praktički u unakrsnoj vatri radioaktivnog zračenja koje se sastoji od gama i beta zračenja. Fisioni produkti neposredno na koži daju i gama i beta zračenje, ali beta zračenje djeluje samo na nekoliko mm i tako prouzrokuje mnogo veću dozu na kožu nego jače penetrirajuće gama zračenje. Beta zračenje može prouzrokovati vrlo ozbiljne opekotine, iako gama zračenje ne bi dostiglo smrtnu dozu.

Ako se ponovno sjetimo grafikona o gustoći kontaminacije onda se grubo može uzeti da 1 MCi gama znači i 1 MCi beta, iako je pravi odnos oko 1 : 1,3 u korist beta. 1 KT/km^2 prema grafikonu 2 daje 400 Ci beta/m^2, odnosno 40.000 uCi/cm^2. Da bi se dobila predodžba o tome što znači 40.000 uCi/cm^2 treba spomenuti da 200 uCi-sat/cm^2 na koži daje opekotine drugog stepena, što znači dozu na kožu od više od 1000 rada. Ako se gama i beta zračenje uzme zajedno u proporciji 1 KT/100 km^2 onda bi se u H + 1 dobilo gama radiaciono polje od oko 30 r/sat i dozu na kožu od beta zračenja od više od 2000 rada, odnosno gustoću kontaminacije od 400 uCi/cm^2. Teoretski bi odnos bio da gama radiaciono polje od oko 15 r/sat znači gustoću kontaminacije beta emiterima od oko 200 uCi/cm^2. Ako se uzme, što je iz praktičnih razloga sasvim opravdano da je odnos 1:1, onda bi gama radiaciono polje od 10 r/sat značilo gustoću beta kontaminacije na tlu od 100 uCi/cm^2.

Sretna je okolnost da je iz razno raznih razloga kontaminacije kože uvijek manja od kontaminacije tla. Prema NCRP-u problem postaje naročito urgentan ako akumulirana gama doza na tijelo pređe 64 r u toku 48 sati, ili kada je izmjerena kontaminacija na koži veća od 2 uCi/cm^2 u bilo

koje vrijeme. Ekvivalencije na kojima se temelji ova preporuka su: 64 r = 600 uCi-sat/cm^2 na tlu. Kontaminacija kože se uzima kao 1/6 kontaminacije tla ili 100 uCi-sat/cm^2. To je približno polovica ekspozicije koja je potrebna da prouzrokuje vidljive ozljede kože. Ili još jedan praktičan odnos koji se lako može pamtiti: beta doza na kožu će biti 5 rada/sat kada je kontaminacija tla 1 uCi/cm^2, a u odnosu na gama emitere to je 0,1 r/sat. Na kraju treba reći da je sasvim svejedno da li je gustoća kontaminacije od 200 uCi/cm^2 u kontaktu sa kožom 1 sat ili 20 uCi/cm^3 10 sati.

Daljnja mogućnost kontaminacije ljudskog organizma fisionim produktima je unošenje radioaktivnog materijala inhalacijom ili ingestijom tj. internom kontaminacijom. Bitna je razlika između eksterne i interne kontaminacije što eksterno prestaje čim prođe radioaktivni oblak ili osoba napusti radioaktivno područje, dok interno deponiran radioaktivni materijal zrači, pa i akumulirana doza raste, dok radioaktivni materijal ne nestane iz organizma ekskrecijom ili radioaktivnim raspadom.

Kada se govori o kontaminaciji inhalacijom, sjetimo se da prosječan čovjek udahne 1 m^3 zraka za 75 min. Kada je vrijeme ekspozicije radioaktivnom oblaku dovoljno dugo - više od 30 sek. tj. da zrak u plućima dođe u ekvilibrij sa zrakom iz radioaktivnog oblaka odnos Ci-sek/m^3 je dobar način da se izrazi ekspozicija.

Tablice 3 i 4 pokazuju ukupnu i specifičnu beta i gama koncentraciju u radioaktivnom oblaku oružja od 1 KT, 10 KT i 1 MT u H + 1 i H + 3,5. Pretpostavka je, jasno,

da u prvom slučaju nije došlo do raspada, iako za formiranje oblaka treba izvjesno vrijeme, dok je u drugom slučaju (tablica 4) to uzeto u obzir. Ovdje treba napomenuti i to da je veličina radioaktivnog oblaka računata na eksplozije u zraku, te da je kod prizemnih eksplozija veličina oblaka znatno manja i prema tome i koncentracija fisionih produkata znatno veća.

Tablica 3

Ukupna i specifična gama i beta aktivnost u radioaktivnom oblaku u H + 1

Jačina oružja	Volumen rad.oblaka m^3	Ukupna beta MCi	Spec.beta Ci/m^3	Ukupna gama MCi	Spec.gama Ci/m^3
1 KT	$3,8 \times 10^8$	$4,0 \times 10^2$	1,05	$3,0 \times 10^2$	0,79
10 KT	$4,14 \times 10^9$	$4,0 \times 10^3$	0,97	$3,0 \times 10^3$	0,72
1 MT	$1,74 \times 10^{12}$	$4,0 \times 10^5$	0,23	$3,0 \times 10^5$	0,17

Tablica 4

Ukupna i specifična beta i gama aktivnost u radioaktivnom oblaku u H + 3,5

Jačina oružja	Volumen rad.oblaka m^3	Ukupna beta MCi	Spec.beta Ci/m^3	Ukupna gama MCi	Spec.gama Ci/m^3
1 KT	$3,8 \times 10^8$	$8,8 \times 10$	0,23	$6,6 \times 10$	0,17
10 KT	$4,14 \times 10^9$	$8,8 \times 10^2$	0,21	$6,6 \times 10^2$	0,16
1 MT	$1,74 \times 10^{12}$	$8,8 \times 10^4$	0,05	$6,6 \times 10^4$	0,04

U tablici 5 iznesene su količine pojedinih radionuklida jedne 1 MT bombe u H + 3,5 da bi se uporedile sa maksimalnim koncentracijama pojedinih radionuklida koje bi dale dozu od 15 rema u 90 dana, i dozu od 150 rema u 30 dana pri ekspoziciji od jednog dana. Treba napomenuti da nabrojeni radionuklidi predstavljaju samo oko 10% od ukupne aktivnosti radioaktivnog oblaka.

Tablica 5

Maksimalne koncentracije pojedinih fisionih produkata koje pri ekspoziciji od jednog dana daju dozu od 15 rema u 90 dana (A) i dozu od 150 rema u 30 dana (B) u odnosu na aktivnost u radioaktivnom oblaku

1 MT u H + 3,5			Maks.koncentracije	
radionuklida	Ukupno MCi	uCi/m^3	A uCi/m^3	B uCi/m^3
^{89}Sr	39,7	23,2	3,2	6,2
$^{90}Sr + ^{90}Y$	0,26	0,15	1,0	31
^{91}Y	2,70	1,57	5,0	100
$^{95}Zr + ^{85}Nb$	44	25,8	2,5	44
^{103}Ru	37	21,6	110	1100
^{131}J	155	90	0,8	8,
$^{137}Cs + ^{137}Ba$	0,35	0,21	90	1200
$^{140}Be + ^{140}La$	21,2	124	5,6	68
$^{144}Ce + ^{144}Pr$	8,5	5,0	2,4	55
$^{106}Ru + ^{106}Rh$	0,64	0,37	12	170
^{127}Te	4,54	2,7	42	520
^{129}Te	1,14	0,66	17	190
^{147}Pm	0,08	0,05	47	1300
^{239}Np	1220	715	200	2000

Tablica 6

Očekivani efekti kod ekspozicije od 1,0 Ci-sek/m^3 u radioaktivnom oblaku sa starim fisionim produktima (reaktorski materijal)

Eksterna gama doza	0,28 r
Beta doza na pluća	0,24
Doza na kosti od ^{89}Sr + ^{90}Sr	0,69
Doza na kosti od ^{144}Ce + ^{144}Pr	0,53
Doza na štitnjaču od radioizotopa joda	0,25
Doza na intestinalni trakt	0,28

Da bi se izraz Ci-sek/m^3 lakše shvatio u tablici 6 su izneseni očekivani efekti kod ekspozicije od 1,0 Ci-sek/m^3 u radioaktivnom oblaku koji je sadržavao staru smjesu fisionih produkata (reaktorski materijal). Navedene su doze mogu primiti ako se udiše zrak koji sadrži 0,22 mCi/m^3 u toku 75 min, ili 16 mCi/m^3 u toku 1 min.

Ova je tablica data jer nije bilo drugih podataka o svježim fisionim produktima i zato treba napomenuti da bi doze od svježih fisionih produkata pri istoj koncentraciji i ekspoziciji bile znatno niže ako bi se radilo o dužoj ekspoziciji, međutim, kod veće koncentracije, a kraće ekspozicije razlike bi se sve više smanjivale.

Opće ekološke posljedice nakon upotrebe nuklearnog oružja nisu do sada dovoljno definirane, ali uglavnom izgleda da su usmjerene na događaje koji bi usporili ili inhibirali prirodne procese oporavljanja i koji bi vodili do permanentnog ogoljenja zemljišta, do erozije koja bi odvukla

plodan sloj tla i poplava koje bi razorile funkciju drugih ekosistema kao i zagađenje izvora vode za plodna zemljišta i urbane ekosisteme.

S obzirom da je vrlo teško dati jednu cjelovitiju sliku opasnosti od upotrebe kontaminirane hrane i vode, jer na to utječe veliki broj faktora kao: gustoća kontaminacije, učestalost eksplozija, vrijeme žetve, rezerve hrane, skloništa, način snabdijevanja vodom itd., možemo se ograničiti uglavnom samo na to da se u nekoliko tablica iznese jedna ili dvije od mogućih situacija bez da se ulazi u detalje.

Tablica 7

Aktivnosti rastvorljivih radionuklida u otvorenim izvorima vode u odnosu na dozu u H + 1

Doza r/sat H + 1	Aktivnost pCi/l					
	^{89}Sr	^{90}Sr	^{106}Ru	^{131}J	^{137}Cs	^{140}Ba
16.820	7000.000	61.500	1150.000	92400.000	79.500	80600.000
4.210	470.000	3.940	73.900	5920.000	5.290	5160.000
440	53.000	417	7.800	628.000	619	542 000
88	7.700	62	1.170	93.300	89	81 200
3	750	5,7	106	8.440	8,7	7.370

Tablica 7 daje nam teoretske podatke o kontaminaciji vode rastvorljivim radionuklidima (jasno samo jedan dio njih) u odnosu na gama doze u H + 1. Ako se vratimo na početak izlaganja onda možemo konstatirati da je za stvaranje doze od 16820 r/sat potrebna gustoća kontaminacije od oko 1680 MCi/km^2 odnosno oko 56 KT/km^2. Dozu od 4210 r/sat bi

Tablica 8

Doze na tijelo i organe u remima kod uzimanja dnevno jedne litre kontaminirane vode počevši od 1 i 7 dana i u trajanju do 30 odnosno 91 dan nakon H + 1

Doza r/sat H + 1	Dana	Čitavo tijelo		Kosti[x]		Štitnjača		Probavni trakt	
		1	7	1	7	1	7	1	7
16.820	30	5,41	2,95	21,8	16,1	6950	3440	88,1	60,5
	91	10,85	7,57	80,6	65,6	9550	5670	144	116
4.210	30	0,348	0,190	1,41	0,971	445	220	5,71	3,9
	91	0,701	0,490	5,11	4,11	611	364	9,34	7,56
440	30	0,0373	0,0205	0,155	0,108	47,3	23,4	0,612	0,420
	91	0,0767	0,0539	0,574	0,463	64,9	38,6	1,009	0,815
88	30	0,00535	0,00869	0,0228	0,0157	7,03	3,47	0,0911	0,0641
	91	0,01129	0,00792	0,0856	0,0691	9,64	5,74	0,151	0,122
3	30	0,000509	0,00028	0,00214	0,00149	0,642	0,418	0,0084	0,00575
	91	0,00109	0,000743	0,00816	0,00659	0,881	0,525	0,014	0,0113

[x]Nije uključen ^{140}La potomak ^{140}Ba.

dala gustoća kontaminacije od oko 420 MCi/km^2 odnosno oko 14 KT/km^2 itd. To je velika gustoća kontaminacije i vjerojatno će samo male površine imati takvu gustoću kontaminacije. Ako se upotrijebe vremena poluraspada za pojedine radionuklide lako se izračuna kontaminacije radionuklida po litri u bilo koje vrijeme za H + 1.

Tablica 8 pokazuje doze na tijelo i organe u remima za odrasle ljude koji bi upotrebljavali dnevno jednu litru kontaminirane vode i to počevši od 1 i 7 dana nakon eksplozije i kod trajanja do 30 odnosno 90 dana nakon H + 1.

Tablica 9

Maksimalni nivoi površinske kontaminacije biljaka koje su rasle u vrijeme eksplozije

Vrsta biljaka	Maks.nivo konc. atom/kg 0,5	Maks.nivo konc. atom/kg 0,9	Radionuklid	1pCi=atoma
			^{90}Sr	$1,06x10^8$
Kukuruz	$1x10^{11}$	$2x10^{12}$	^{89}Sr	$6,0x10^5$
Pšenica(zrno)	$2x10^{10}$	$7x10^{11}$	^{106}Ru	$2,46x10^6$
Lucerna	$1x10^{13}$	$1x10^{14}$	^{131}J	$6,75\cdot10^4$
Krompir	$2x10^{10}$	$3x10^{12}$	^{137}Cs	$8,36x$ [illegible]^7
Paradajz	$1x10^{11}$	$2x10^{12}$	^{140}Ba	$8,96\cdot10^4$
Zelje	$1x10^{13}$	$2x10^{14}$	^{95}Zn	$7,15x10^5$
Salata	$1x10^8$	$3x10^{10}$	^{144}Ce	$2,06x10^6$

Tablica 9 pokazuje površinsku kontaminaciju biljaka koje su rasle u doba eksplozije. Maksimalni nivoi koncentracije u atom/kg su uzeti tako da ih 50 odnosno 90% biljaka upotrebljenih ne bi premašilo. U okvir su uzeti isti radionuklidi kao i u ostalim tablicama.

Radi lakše orijentacije prikazano je koliki je broj atoma sadržan da bi se dobio 1 pCi pojedinog radionuklida.

Tablica 10 pokazuje internu kontaminaciju biljaka koje su ubrane poslije nuklearnog napada tj. kada su sazorile, te su prema tome kontaminirane interno ulaskom radionuklida iz lokalnih i stratosferskih radioaktivnih padavina.

Radi uporedbe u tablici 11 izneseni su rezultati mjerenja ^{90}Sr za pojedine prehrambene proizvode u toku četiri godine u Jugoslaviji uz podatke o količini ^{90}Sr u radioaktivnim padavinama i tlu da bi se imao uvid u izvore kontaminacije. Proizvodi su manje više skoro 100% interno kontaminirani.

Na kraju u tablici 12 prikazane su apsorbirane doze u remima za odrasle koji su jeli kontaminiranu hranu. Za ovu svrhu uzeti su podaci iz prethodnih tablica i to samo za 0,9. Treba napomenuti da je uzimanje kontaminirane hrane počelo tek nakon 14 dana što je znatno utjecalo na smanjenje apsorbirane doze. Podaci se odnose na američku strukturu ishrane, koja je u tom pogledu daleko povoljnija nego naša. Apsorbirane doze kod ingestije unesene za prvi dan su samo od vode. Doze koje počinju sa četrnaestim danom su od vode i mlijeka. Naročito treba napomenuti da se tu radi o proizvodima koji su uzimani poslije eksplozije i da bi doze bile daleko veće kada bi se uzimala površinski kontaminirana hrana, a pogotovo ako bi se počelo odmah prvi dan.

Tablica 10

Maksimalni nivoi koncentracija pojedinih radionuklida kod interne kontaminacije biljaka ubranih kod sazrijevanja iza eksplozije

Pretpostavka: napad 1. juna

Vrsta	Maksimalni nivo koncentracije u pCi/kg x 10^3											
	^{89}Sr		^{90}Sr		^{95}Zn		^{106}Ru		^{137}Cs		^{144}Ce	
	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9
KUKURUZ	300	2000	2,55	14,2	3,08	9,1	1,2	4,47	0,381	0,897	0,97	2,9
PŠENICA	62	950	0,55	6,13	1,4	56	0,41	1,59	0,514	46,6	0,48	19
LUCERNA	3000	26600	27,4	340	1,4	8,4	32	1140	1,8	59,8	0,48	2,37
KROMPIR	70	6660	0,51	42,5	2,8	9,8	0,89	4,47	4,06	39,5	0,87	3,25
PARADAJZ	2800	12500	17	113	2380	9100	690	2760	167	837	825	3300
ZELJE	3500	41600	23,6	170	1960	6000	570	1750	108	645	679	2080
SALATA	4200	13300	28,3	132	2660	9800	770	2840	191	837	922	3390

Tablica 11

Vrijednost ^{90}Sr za pojedine prehrambene proizvode u odnosu na ^{90}Sr u radioaktivnim padavinama i zemljištu

Godina	Radioaktivne padavine	Zemljište	Mlijeko	Pšenica	Krompir	Zelje	Kukuruz	Lucerna
	^{90}Sr							
	mCi/km²/g	mCi/km²	pCi/l	pCi/kg	pCi/kg	pCi/kg	pCi/kg	pCi/kg[xx]
1965.	2,3 (14)[x]	29,7 (18)	26,8 (13)[x]	76,8 (8)	10,7 (12)	28,9 (11)	2,7 (7)	1239 (10)
1966.	1,8 (14)	30,5 (15)	18,0 (13)	68,9 (9)	7,2 (12)	24,5 (11)	0,8 (3)	748 (14)
1967.	3,7 (14)	24,1 (17)	13,8 (13)	33,8 (6)	6,7 (13)	24,9 (10)	3,3 (6)	516 (11)
1968.	6,6 (14)	18,1 (17)	11,9 (13)	24,3 (8)	5,6 (11)	14,8 (10)	2,7 (6)	458 (14)

Brojevi u zagradama se odnose na broj uzoraka.

[x]Broj sakupljačkih mjesta

[xx]Rezultati su nešto previseki, jer je oko 50% rezultata dato za suhu tvar.

Tablica 12

Apsorbirane doze u remima za odrasle koji su jeli kontaminiranu hranu sa maksimalnim nivoom koncentracije koju ne bi premašilo 90% hrane

Trajanje dana	Maksimalni nivo koncentracije (0,9) Početak ingestije nakon dana				
	1	14	183	365	548
	Donji dio debelog crijeva				
29	6,3	5,2	3,2	0,25	0,17
90	11,7	9,9	9,3	0,70	0,50
	Čitavo tijelo				
29	0,37	0,64	0,29	0,024	0,020
90	0,81	1,5	2,3	0,19	0,18
	Kosti				
29	1,7	2,1	0,70	0,12	0,089
90	6,9	8,1	5,1	0,88	0,72
	Štitnjača				
29	450	770	-	-	-
90	610	950	-	-	-

Prema podacima iz tablice 12 vidi se da su doze, osim u slučaju štitnjače dosta male, no uzrok je tome kako je i spomenuto da se hrana počela uzimati tek nakon 14 dana, da je prošlo vrlo kratko vrijeme iza eksplozije, da bi došlo do veće interne kontaminacije. Ne treba zaboraviti da će interna kontaminacija biti proces koji će se i dalje odvijati, pa se vrlo lako može očekivati da bi interna kontaminacija dugoživućim radionuklidima bila veća u idućoj žetvi nego kratko poslije eksplozije.

Jasno je da su doze u upoređenju sa eksternim gama dozama ili beta dozama na koži vrlo male, ali one se sve akumuliraju i upravo su zato opasne jer će akumulacija odvijati još dugi niz godina, a djelovanje će se ispoljiti na ionako oslabljen organizam.

Nr /08-

ŠIRENJE RADIOAKTIVNIH ČESTICA U BIOSFERI

Radioaktivni materijali u mirnodopskoj primeni i kontaminacija biosfere

R.G. Radovanović

eficijenat radijacione opasnosti može se odrediti kao suma proizvoda verovatnoće svih realnih i potencijalnih situacija sa njihovim posledicama za stanovništvo. Takav stav može se izraziti kao :

$$R = \sum_i P_i A_i \qquad (i = 0, 1, 2 \ldots)$$

gde je R - koeficijenat opasnosti; P_i - verovatnoća da nastane ili da postoji situacija "i" ; A_i - koeficijenat opasnosti od situacije "i". Praktično odredjivanje veličina P_i i A_i je veoma složeno. Ako su P_o i A_o (i = 0) karakteristike projektovane migracije radionuklida iz izvora u biosferu, gde se u suštini migracija ograničava danas važećim propisima, diferencijalnom koeficijentu opasnosti R_o, sa stanovišta savremene radiobiologije, teško je pripisati pravu vrednost. S druge strane, ako su P_n i A_n karakteristike maksimalno mogućeg akcidenta, danas i najznačajnije teorije pokazuju čak i gruba otstupanja od nekih realno nastalih situacija. Najverovatnije je da danas nije poznat ogroman broj činioca koji odredjuju i koji mogu odredjivati radijacionu situaciju velikih prostora. Da li će sa nultog nivoa, pri akcidentu na nuklearnom reaktoru u Vinči, u okolinu difundovati 1 %, 1,5 % ili 2 % oslobodjene aktivnosti, predstavlja vitalno pitanje Beograda.

1.2. Značaj prostorne raspodele izvora zračenja

Distribucija izvora zračenja od veštačkih radionuklida i koncentrisanih prirodnih radionuklida ima kako u mir-

nodopskim tako i u vanrednim uslovima prvostepeni značaj sa stanovišta radijacione opasnosti od širenja radioaktivnih čestica u biosferi.

U laboratoriskim uslovima faktor geometrije postao je sastavni deo projektovanja i realizacije zaštite. Dakle, u laboratorijskom prostoru, gde ima nesumljivo manje nepoznatih, danas se u suštini uvažava verovatnoća superponiranja koeficijenata radijacione opasnosti od više izvora. Na osnovu toga u laboratoriji se bira ona prostorna raspodela izvora koja daje najmanji koeficijenat radijacione opasnosti - manji ili najviše jednak onome koji je odredjen pozitivnim propisima.

Analogna logika može se preneti na problem radijacione sigurnosti velikih prostora u okolini izvora zračenja. Medjutim, verovatnoća superponiranja koeficijenta radijacione opasnosti od više izvora za datu kategoriju, naročito u vanrednim uslovima, funkcija je niza faktora od kojih neke danas vrlo malo poznajemo, a veliki broj je sasvim nepoznat. Ako se pretpostavi da su skup izvora zračenja i njihova prostorna ditribucija na teritoriji SFRJ poznati, kao i skup izvora zračenja izvan SFRJ, koji mogu uticati na radijacionu sigurnost naše biosfere putem bilo kog oblika širenja radioaktivnih čestica (voda, vazduh, hrana) onda njihova promenljivost (po aktivnosti,u vremenu, u prostoru) uslovljava ono što nazivamo kontinualan sistem radiološke kontrole i zaštite.

Sve ovo navodi na to da je teritorijalna distribucija koeficijenta radijacione opasnosti kako u mirnodopskim tako i u vanrednim uslovima promenljiva.

Neadekvatna teritorijalna distribucija izvora klasičnih aerozagadjenja i izvora zagadjenja vodotokova nanela

je čovečanstvu, pa i našoj populaciji ogromne štete. Poučeni tim iskustvom, mi danas imamo sve šanse da ne ponovimo takvu grešku sa kontaminacijom biosfere radioaktivnim materijalom. Specifičnost fenomena širenja radioaktivnih čestica u biosferi uslovljava da teritorija na kojoj se vrši kontrola i zaštita bude uvek ta i tolika kolika proizilazi iz aktuelne analize za postizanje maksimalne radijacione sigurnosti za populaciju.

Pored stručnog i društvenog dogovaranja naših institucija ubedjeni smo i u nužnost širih medjunarodnih aranžmana po ovom pitanju. Povremene situacije na medjunarodnim rekama koje prolaze kroz našu zemlju, kao i ceo kompleks pitanja Jadranskog mora i graničnih jezera daju za to potpunu osnovu.

1.3. Neke karakteristike širenja radioaktivnih čestica u biosferi

Na današnjem stadijumu razvitka nuklearna postrojenja i uredjaji u koje je ugradjen radioaktivni materijal locirani su na površini i ispod površine zemlje, ispod vode, u atmosferi i kosmosu. Svaka lokacija na zemlji izložena je, u ovim uslovima, mogućnosti kontaminacije od strane više potencijalnih izvora. Pošto se u ovom slučaju ograničavamo na izvore zračenja koji imaju mirnodopsku primenu, navešćemo samo osnovne karakteristike širenja radioaktivnih čestica u biosferi. Najverovatniji putevi širenja radioaktivnog materijala iz izvora u biosferu su vazduh i vodotokovi. Ne ulazeći detaljno u to iz kakvog je razloga radioaktivni materijal emigrirao iz izvora, za ocenu radijacione sigurnosti biosfere nužno je osvrnuti se na sledeća pitanja:

a) Pitanje prirodnog radijacionog fona

Ako je na današnjem stepenu znanja prirodni radijacioni fon osnova na kojoj se grade kriterijumi radijacione sigurnosti populacije, onda poznavanje te, veoma kompleksne veličine, ima fundamentalni značaj.

Za ocenu značaja bilo kakve naknadne radioaktivne kotaminacije biosfere nužno je postavljanje pitanja kapaciteta svakog njenog medija koji je ograničen važećim normama sigurnosti. Uzmimo da koncentracija prirodnih radionuklida u atmosferi iznosi približno 10^{-1} Ci/km^3, što za celu atmosferu do visine od 10 km daje aktivnost od 10^8 Ci. U normalnom radu nuklearnog reaktora snage 40 MW, aktivnost jezgra u trenutku eventualnog akcidenta imala bi gore navedeni red veličine. Istina u okolinu bi difundovalo samo oko 1 % te aktivnosti. Mere sigurnosti koje se preduzimaju i koje je moguće preduzeti na nuklearnim postrojenjima obezbedjuju radijacionu sigurnost biosfere. U literaturi iz SAD publikovano je da je iz dimljaka jedne nuklearne elektrane snage 482 MW, tokom 1961 godine izbačeno u atmosferu 1,9 mCi aktivnosti veštačkih radionuklida, dok je istovremeno iz dimljaka jedne termoelektrane, koja je kao gorivo koristila kameni ugalj, u atmosferu izbačeno 28 mCi ^{226}Ra po svakom MW snage termoelektrane u toku godine.

Sve ovo navodi nas na to, da je prilaženje problemu svake naknadne radioaktivne kontaminacije biosfere nužno započinjati od takve složene veličine kakav je prirodni fon. Realna ocena radijacione sigurnosti prirodnih voda mora polaziti od prirodnog fona.

Na osnovu merenja koja su vršili saradnici Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr.Dragomir Karajović" iz Beograda, u tabeli 1 dati su podaci o sred-

njoj godišnjoj koncentraciji U i ^{226}Ra u vodama reka u S.R. Srbiji.

Tabela 1

U i ^{226}Ra u rečnim vodama

reka	U γ/l	^{226}Ra pCi/l
Dunav - Bezdan	1,3	0,8
Dunav - Zemun	0,9	0,3
Dunav - Prahovo	1,1	0,6
Sava - Beograd	1,4	0,7
V.Morava - Ćuprija	0,9	0,8
Timok - Zaječar	1,5	0,9
Timok - Knjaževac	3,7	1,1
Srednje	1,5	0,7

Koncentracija urana u vodovodskim vodama u S.R. Srbiji iznosi oko 0,2 γ/l, a ^{226}Ra do 9,3 pCi/l.

Slična situacija je i sa podzemnim bunarskim vodama (U≈ 0,2 γ/l i ^{226}Ra do 3,2 pCi/l). Istovremeno ove vode sadrže dugoživeće radionuklide čija je alfa aktivnost od 0,1 do 8,2 pCi/l i beta aktivnost od 0,1 do 37 pCi/l.

Izvorske pijaće vode u Srbiji imaju ukupnu beta aktivnost (ekvivalent standard ^{40}K) od 0,2 do 15,3 pCi/l i

alfa aktivnost od 0,1 do 13,6 pCi/l.

U svim gornjim veličinama za alfa aktivnost izuzeta je aktivnost eventualno prisutnog radona i njegovih kratkoživećih potomaka.

Godišnje unošenje U, ^{226}Ra, ^{210}Pb i K u organizam stanovnika Srbije putem hrane bitno zavisi od reona gde ljudi žive, reona sa koga potiče hrana, i strukture ishrane. Grupa autora iz Instituta za medicinu rada ustanovila je u Srbiji 11 takvih različitih reona.

U tabeli 2. date su prosečne godišnje vrednosti unošenja U, ^{226}Ra, ^{210}Pb i K u ljudski organizam putem hrane u S.R. Srbiji.

Tabela 2

Godišnje unošenje U, ^{226}Ra, ^{210}Pb i K u ljudski organizam putem hrane u Srbiji

reon / unošenje	I-II	III-IV	V-VI	VII-VIII	IX-X	XI
U µ/god.	126	282	463	795	1063	1353
^{226}Ra pCi/god.	280	389	486	759	921	1195
^{210}Pb pCi/god.	755	1300	1927	2941	3746	5243
K gr/dan	3,88	3,88	3,90	3,86	3,90	3,86

Ako se sumiraju navedeni podaci (tabela 3) dobija se osnovna slika prirodnog fona u S.R. Srbiji kao polazni kriterijum za ocenu radijacione sigurnosti biosfere bilo u normalnim ili vanrednim uslovima.

Tabela 3

Prirodni fon u S.R. Srbiji
(Srednje vrednosti)

veličina / Faktor	U	^{226}Ra	^{210}Pb	K	α	β
godišnje unošenje hranom	1,16 γ/dan	1,27 pCi/dan	4,84 pCi/dan	3,88 gr/dan	-	-
rečne vode	1,5 γ/l	0,7 pCi/l	-	-	-	-
bunarske vode	0,2 γ/l	1,5 pCi/l	-	-	0,1-8,2 pCi/l	0,1-37,0 pCi/l
izvorske vode	-	-	-	-	0,1-13,6 pCi/l	0,2-15 pCi/l
Jačina ekspozicione doze gama zračenja			12 μr/h.			

U oceni prirodnog fona posebno mesto pripada termomineralnim izvorima i njihovoj okolini. Ukupna beta aktivnost takvih voda u S.R. Srbiji kreće se prema dosadašnjim merenjima od 0,1 - 56 pCi/l, a ukupna alfa aktivnost od 0,5 - 6,4 pCi/l. Medjutim, vrednosti za alfa aktivnost (ne računaju-

ci radon i kratkoživeće potomke) na teritoriji SFRJ u ovim vodama dostižu i 65 pCi/l. Sadržaj urana, torijuma i ^{226}Ra u ovim vodama kreće se: (0,1 - 5,42 μgr/l), (0,1 - 7,20 μgr/l) i (0,10 - 2,53 pCi/l) respektivno. Ove vrednosti nisu konačne.

Svesni činjenice da sve napred navedene vrednosti nisu kompletne karakteristike prirodnog fona u ovom trenutku ističemo sledeće :

1. Problem širenja radioaktivnih čestica od radioaktivnih materijala koji se primenjuju u mirnodopskim uslovima treba apsolutno rešavati na takav način da prirodni fon bude osnovni kriterijum.

2. Stalna tendencija snižavanja MDK i MDU radionuklida navodi na to da projektovana sigurnost prirode u pogledu širenja radioaktivnog materijala mora biti u granicama prirodnog fona za populaciju u celini. Svako otstupanje od ovog stava, pri današnjoj skromnoj produkciji i primeni radionuklida u našoj zemlji, može dovesti do istog razvoja situacije koja je danas karakteristična za problem klasičnih aerozagadjenja i zagadjenja vodotokova.

3. U životnoj sredini danas je prisutan čitav niz agenasa koji su u nju dospeli ljudskom delatnošću, a koji imaju, ili mogu imati bilo udruženo ili sinergetsko dejstvo na prirodu uključujući i ljude. Zbog toga, izolovano posmatranje genetskih, kancerogenih i drugih fundamentalnih efekata radijacija u biosferi postalo je u principu jednostrano kako sa stanovišta izbora kriterijuma sigurnosti tako i sa stanovišta evaluacije posledica.

U tom smislu iznosimo mišljenje da se kriterijumi sigurnosti moraju graditi na sveopštosti životne sredine kao takve.

b) Specifični problemi širenja radioaktivnih čestica u biosferi

Na ovom mestu iznećemo jedan broj specifičnih problema povezanih sa kontaminacijom biosfere koja nastaje, ili može nastati usled mirnodopske primene radionuklida, kako u normalnim tako i u vanrednim uslovima.

1. Nuklearni reaktori

Nuklearni reaktori, bez obzira na njihovu vrstu i namenu, danas mogu imati takvu projektovanu radijacionu sigurnost da u normalnim uslovima ne pretstavljaju izuzetnu opasnost. Medjutim, takav stav zbog složenosti komponenti koje odredjuju sigurnost podrazumeva visok profesionalni nivo odnosa kako rukovaoca tako i okolne sredine.

Ma da je na pr. u SAD do 1964 godine (što se može smatrati pionirskim periodom u eksploataciji reaktora) učestalost nesreća bila manja od 10^{-2}/reakt.god., bez obzira na trenutni broj reaktora u našoj zemlji taj faktor se ne može apsolutno isključiti.

Imajući u vidu svu kompleksnost kontaminacije biosfere veštačkim radionuklidima nakon akcidenta na reaktoru ukazaćemo samo na jedan problem koji u našoj zemlji sticajem raznih okolnosti nije dovoljno proučen.

Radioekologija radioaktivnog joda u biosferi nije dovoljno kod nas proučena. Drugim rečima, mi danas ima-

mo veoma malo podataka kako se ponaša životna sredina kontaminirana ovim radionuklidima.

Eksperimentalno je pokazano da se jod relativno brzo adsorbuje na površini aerosola dimenzija reda delova mikrona. U vazduhu seoskih naselja ovako sitnih aerosola ima reda $10^3/cm^3$, a u gradskim naseljima reda $10^4/cm^3$. Ove čestice imaju mali koeficijent difuzije (10^{-5} cm^2/sec) i sporo sedimentiraju (brzina 3 . 10^{-4} cm/sec), pa se zbog toga teško otstranjuju iz vazduha.

Ovakav proces adsorpcije joda na Ajtkenovim česticama može primetno smanjiti brzinu taloženja sa povećanjem rastojanja od izvora, a s druge strane to znači povećanje zone kontaminacije pri datim meteorološkim uslovima.

Jodne pare su u principu dobro rastvorljive u vodi . Pri analizi radijacione opasnosti od kontaminacije vazduha radioaktivnim izotopima joda treba imati u vidu da forma joda koja se ima u odredjenim uslovima zavisi od atmosfere u koju jod ulazi, prirode emitovanih materija i njihove temperature. Malo je danas podataka koji se odnose na radioekološke karakteristike različitih formi radioaktivnog joda.

Dakle, na ovom primeru mogu se izvući širi zaključci u pogledu radijacione sigurnosti okoline nuklearnih reaktora :

1. Stepen radijacione sigurnosti biosfere u vanrednim uslovima direktno je proporcionalan poznavanju radioekoloških karakteristika tog sistema. Na taj način skup modelskih istraživanja i istraživanja u prirodnim sistemima u normalnim uslovima, zajedno sa onim što zovemo radiološka kontrola, u najvećoj meri odredjuje stepen radijacione sigur-

nosti biosfere u vanrednim uslovima.

Ponašanje jedne reke, jezera ili mora, odredjenog poljoprivrednog kompleksa ili sistema za navodnjavanje u suštini, na današnjem stepenu znanja stvari, nije moguće saznati bez direktnog istraživanja. Na toj bazi počiva trajan rad u ovoj oblasti. Uvereni smo da se po koncepciji, danas vrše veoma savremena radioekološka istraživanja Dunava od strane saradnika Instituta "Boris Kidrič" - Vinča, ali sa stanovišta radijacione sigurnosti podunavlja u našoj zemlji i dalje ostaje čitav niz otvorenih pitanja. Slična je situacija i sa kompleksom Jadranskog mora.

Posebno pitanje sigurnosti u vanrednim uslovima čini kompleks problema oko transportabilnih nuklearnih reaktora bilo da su to brodovi ili podmornice na nuklearni pogon, ili reaktori na vozilima sa gusenicama. U ovakvim situacijama više se ne radi o jednoj lokaciji. Milioni kirija aktivnosti i bez nuklearnog rata mogu se potencijalno naći na svakom mestu.

Bez obzira na visok koeficijenat sigurnosti ovih reaktora (Na pr. reaktor za ledolomac "Lenjin" testiran je u Lenjingradu) sa stanovišta zaštite biosfere mora se polaziti sa istih pozicija kao i za statička nuklearna postrojenja u pogledu osnovnih kriterijuma zaštite stanovništva.

Sve ovo nameće da se u našoj zemlji moramo baviti širokim kompleksom proučavanja i ne samo onih postrojenja koja imamo kao i njihovih posledica. Sa stanovišta zaštite biosfere čini se da danas radioaktivne efluente možemo definisati kao vodene i nevodene rastvore koji sadrže radioaktivne materijale u takvoj količini da je moguće prekoračenje MDK i MDU ovih radionuklida u bilo kojoj kariki

ekološkog ciklusa i na bilo kom mestu od njihovog izvora.

Ovaka definicija radioaktivnih efluenata uglavnom odražava kompleksnost problema njihovog širenja iz izvora u okolinu. Veoma je poznato da u slučaju kad je na pr. koncentracija ^{90}Sr u vodi ispod MDK, korišćenjem ribe za ishranu koje žive u toj vodi može usloviti daleko veću radijacionu opasnost od one kad se ta voda koristi za piće. Samo ovaj primer postojanja koncentracionih procesa u biosferi ukazuje da za radijacionu sigurnost :

I. Treba znati ustanoviti te procese

II. U datom hidrosistemu treba ostvariti apsolutnu kordinaciju postupaka u pogledu sudbine efluenata.

Pri razmatranju koeficijenta radijacione opasnosti koji potiče od inertnih radioaktivnih gasova čije je zaustavljanje vezano sa nizom tehničkih teškoća, može se polaziti od stava da su svi elementi tkiva podvrgnuti onom dejstvu jonizujućeg zračenja koje odgovara oblaku inertnog radioaktivnog gasa.

2. Otpadne radioaktivne vode

Pod otpadnim radioaktivnim vodama podrazumevamo klasične otpadne vode koje sadrže radioaktivne materijale u takvoj količini da je moguće prekoračenje MDK ili MDU ovih radionuklida u bilo kojoj kariki ekološkog ciklusa i na bilo kom mestu počev od njihovog izvora; gde kao vrednosti za MDK i MDU smatramo one koje se odnose na populaciju u celini (Proizašle iz norme da je MDD 5 rema/30 go-

dinaj imaju odredjen značaj kao činioci radioaktivne kontaminacije biosfere. Sa ovim činiocem u našoj zemlji danas su vezani sledeći problemi :

- Kod medicinske primene radionuklida sudbina otpadnih radioaktivnih voda i radioaktivnih ekskreta, sem da su ispušteni u gradske kanalizacije, uglavnom nije poznata. Slična je situacija u laboratorijama za primenu radionuklida u druge istraživačke svrhe. Dobro je poznato da na unutrašnjim površinama kanalizacionog sistema dolazi do sorpcije radioaktivnog materijala. Medjutim, u današnjim uslovima takvi procesi kod nas nisu ispitani.

- Poseban problem širenja radioaktivnog materijala kod nas danas predstavljaju pacijenti sa apliciranim radioaktivnim materijalom koji se iz različitih razloga prevremeno otpuštaju iz zdravstvenih ustanova. Na taj način ostvaruje se povećano eksterno ozračenje ostalih članova porodice, pa i dece, i stvara mogućnost njihove kako eksterne tako i interne kontaminacije. Ova problematika do danas nije pravno regulisana na zadovoljavajući način.

- Svi izvori otpadnih radioaktivnih voda nisu dovoljno ispitani. Ovde u prvom redu mislimo na otpadne vode iz niza rudnika i postrojenja za preradu rude, čak i neuranskih rudnika.

Sistemi za prečišćavanje otpadnih voda svakako su krupna prepreka širenju ovog radioaktivnog materijala u biosferu, medjutim, njihova efikasnost uglavnom nije utvrdjena.

3. Položaj ustanova koje primenjuju radioaktivne materije

Jedan broj ustanova u našoj zemlji u kojima se

primenjuju radioaktivne materije u "otvorenom" ili "zatvorenom" obliku lociran je u gradskim naseljima. Prvenstvena briga, koja je obično vodjena prilikom opremanja ovih zgrada, odnosila se na profesionalnu zaštitu personala. Tako da danas imamo slučajeva da je jačina ekspozicione doze gama zračenja na 150 m od soba u kojima se nalaze pacijenti sa aplicirnim kobaltom 4 - 5 puta veća od prirodnog fona više od 2,5 dana u toku nedelje.

Sličnu situaciju imamo i u jednom stanbenom naselju sa instaliranim radioaktivnim gromobranima.

Ne ulazeći u radiobiološka objašnjenja, u principu smatramo da su ovakve situacije nepoželjne.

U vanrednim uslovima, kad se u zdravstvenim ustanovama nalazi desetine kirija radioaktivnog materijala, požar ili rušenje zgrade može znatno komplikovati svaku intervenciju, stvoriti tešku psihološku situaciju, pa i ugroziti neposrednu okolinu. Zbog toga mora postojati takav sistem mera i zaštitnih sredstava koji će isključiti ovakvu mogućnost.

4. Neka pitanja pijaćih voda

Ono što karakteriše kontaminaciju pijaćih voda u normalnim uslovima to je da se takva kontaminacija može efikasno sprečiti, nasuprot vanrednim uslovima kad je sprečavanje kontaminacije manje verovatno, ili skoro nemoguće.

Medjutim, poznavanje karakteristika sistema za snabdevanje vodom može znatno olakšati čitav niz postupaka u vanrednim uslovima. U tom smislu navodimo samo neke karakteristične podatke :

I. - Brzina pojavljivanja radioaktivnog materijala u vodi iz slavine.

Naša merenja u Beogradu i Kragujevcu ukazuju da je ovo vreme različito i da može biti značajno dugo, tako da se nakon blagovremenog alarma o radioaktivnim padavinama mogu uzeti odredjene zalihe nekontaminirane vode. Ovo vreme bitno se razlikuje za otvorene sisteme kakvi su reke i akumulaciona jezera i za zatvorene sisteme kakvi su reni bunari.

II. - Sistemi za prečišćavanje vode u gradskim vodovodima manje ili više su sposobni da zadrže deo radioaktivnog materijala. Tako na pr. sistem Sava u Beogradu zadržava oko 30 % aktivnosti.

III. - Sudbina atmosferskih voda u značajnoj oblasti oko izvorišta, bez obzira na način radioaktivne kontaminacije, jedan je od faktora koji značajno odredjuje radijacionu sigurnost za vodu.

- Mi smo mišljenja da dekontaminacija vode u vanrednim uslovima pretstavlja krajnju meru, i da pre toga mora efikasno delovati čitav sistem odbranbenih mera, koji je istina moguće postaviti jedino ako se prouče konkretne situacije širom zemlje. Poseban interes, u tom smislu, čine bezvodni tereni.

5. Štetno dejstvo inkorporiranih veštačkih radionuklida na biljke

Štetno dejstvo inkorporiranih radioaktivnih materija ne zavisi samo od njihove koncentracije u biljkama, nego i od faze razvitka biljaka.

Različiti radionuklidi veoma različito utiču na

pojedine biljne vrste. Tako na pr. biljke kontaminirane sa ^{90}Sr nemaju narušen mehanizam uzimanja mineralnih elemenata. S druge strane radioaktivni cezijum bitno utiče na smanjenje prinosa pšenice i pasulja u drugom pokolenju, i na prinos ovsa u trećem pokolenju. Po izučavanju Sovjetskih autora stroncijum i cezijum značajno više se koncentrišu u nadzemnim organima biljaka nego cerijum-144, Rutenijum-106, Zr-95, Nb-95, itrijum-91 i kobalt-60.

Poznavanje dinamike transporta radionuklida iz zemljišta u biljku i sudbine radionuklida koji su iz padavina zadržani u biljci daje osnove za sistem mera u slučaju radioaktivne kontaminacije nastale iz bilo kog razloga.

Pretpostavimo da je iz bilo kojih razloga kontaminirano lišće kukuruza u toku njegovog klasanja. Ako je kontaminacija izvršena sa ^{137}Cs on će vrlo intezivno preći u zrna, dok će u slučaju ^{90}Sr, ^{106}Ru ili cerijuma-144 oni u vrlo malim količinama biti sa listova preneti u zrna. Istovremeno preko korenog sistema ^{90}Sr će intenzivnije od ^{137}Cs dospevati u zrna.

Prema našim merenjima distribucija kako ^{137}Cs, ^{90}Sr, tako i ^{226}Ra i ^{210}Pb nije uniformna u zrnima i nekim drugim plodovima, za uslove dospevanja ovih radionuklida u biljke kakve smo dosad imali.

Poznavanje ove ditribucije može imati vitalan značaj za snabdevanje hranom u vanrednim uslovima.

Poseban interes čini poznavanje dinamike, mehanizma migracije, oblika i sudbine radionuklida koji na bilo koji način dospevaju na površinu zemlje. Nismo sigurni da danas imamo dovoljno podataka o ovom značajnom problemu, posebno kad se radi o prenosu radionuklida u lancu hidrosistem - zemljište - biljka. Ovaj lanac posebno ističemo

zbog verovatnoće da bude aktuelan i zbog njegovog bitnog značaja za populaciju u celini. Posebni problemi u ovoj oblasti vezani su za ekološki ciklus u oblastima istraživačkih radilišta za rudnike urana i u oblastima napuštenog rudnika u Kalni.

Ma da je akcident na brani u Kalni imao veće psihološko nego radijaciono značenje, sasvim je sigurno da u principu do ovog nije smelo doći. Naknadna kontaminacija terena nakon ovog akcidenta nije bila veća od one koja se imala u toku rada rudnika i postrojenja. Medjutim, prestanak radova na ovakvim objektima suštinski treba da isključi svaku mogućnost raznošenja radioaktivnog materijala u okolnu sredinu.

6. Interna kontaminacija ljudi

Postoje tri principijelno različita puta dospevanja radionuklida u ljudski organizam : sa vazduhom (respiratorni), sa hranom i vodom (GI) i kroz kožu (povredjenu ili nepovredjenu).

Aerosolne čestice na kojima su sorbirani radionuklidi pri udisanju prolaze kroz gornje disajne puteve gde se delimično i zaustavljaju. Odatle jedan deo čestica ide u GI trakt, a drugi u pluća. Retencija čestica zavisi od disperznosti i vrste. Krupnije čestice (iznad 1 μ) efikasno se zadržavaju u gornjim disajnim putevima. Samo oko 20 % tih čestica dospeva u pluća, dok kod čestica ispod 1 μ ta vrednost iznosi 70 %, pri čemu čestice koje su dospele u alveole veoma brzo bivaju zahvaćene krvlju i raznete po celom organizmu. Pri unošenju radioaktivnih materijala u ljudski organizam kroz GI trakt koeficijent resorbcije radionuklida iz GI trakta u krv zavisi od prirode izotopa i hemijske

forme njegovog jedinjenja. Ovaj koeficijent menja se u širokim granicama : od stotih delova procenta (za cirkonij, niobij, aktinidi i t.d.) do nekoliko procenata (bizmut - 1 %; barijum - 5 %; polonijum - 6 %), pa nekoliko desetina procenata (gvožđe - 10 %; kobalt, stroncijum, radijum - 30 %) i do svih 100 % (vodonik, zemnoalkalni elementi).

Resorbcija kroz nepovredjenu kožu je 200 - 300 puta manja nego kroz GI trakt i nema suštinsku ulogu. Izuzetak čini tricijum koji dosta lako prodire u krv kroz kožu pri običnim atmosferskim uslovima. Polazeći od navedenog ukazujemo na nekoliko značajnih problema iz ove oblasti :

I. Nismo sigurni da danas znamo šta je to "standardan" čovek u SFRJ i koje su njegove karakteristike.

II. Regionalna struktura ishrane je slabo ili skoro nikako poznata.

III. Nisu dovoljno proučeni industrijski procesi proizvodnje hrane sa stanovišta radijacione sigurnosti.

IV. Veoma neprecizno zakonski regulisana pitanja kontrole radionuklida u životnim namirnicama bilo domaćeg ili uvoznog porekla.

V. Potpuna zapostavljenost proučavanja sadržaja radionuklida u dečjoj hrani i strukture te hrane.

1.4. Zaključak

Ne pretendujući na iscrpnost ovih problema može se navesti nekoliko bitnih stavova :

a) Nužno je poznavanje prirodnog fona ozračenja populacije u SFRJ da bi se mogao graditi sistem i metodologija radiološke zaštite biosfere kako u normalnim tako i vanrednim uslovima.

b) Pri oceni stepena radijacione sigurnosti biosfere potrebno je poznavanje prostorne raspodele svih potencijalnih izvora činioca radioaktivne kontaminacije biosfere.

c) Ocena radijacione sigurnosti u biosferi ne može se davati izolovano od ostalih činioca životne sredine.

d) Nužan je dalji rad, naročito na razradi metodologije ispitivanja i kontrole radioaktivnosti životne sredine uključujući sve činioce i karike radioekološkog ciklusa.

e) Treba učiniti znatan napor da se sagledaju karakteristični hidrometeorološki, agrohemijski i drugi karakteristični procesi za probleme radiološke zaštite.

f) Izučavanje radioekoloških karakteristika velikih hidrosistema ima opšti značaj.

g) Treba organizovati trajan rad na normativnoj delatnosti u oblasti radijacione sigurnosti biosfere.

h) Problem otpadnih radioaktivnih materijala u SFRJ nije zadovoljavajuće rešen.

i) Osnovne karakteristike sistema za snabdevanje pijaćom vodom i hranom nisu dovoljno proučene sa stanovišta radijacione sigurnosti. Zakonski propisi u ovoj oblasti su neprecizni i nepotpuni.

j) Mišljenja smo da treba pokloniti više pažnje proučavanju radijacione opasnosti od onih postrojenja i one vrste primene radionuklida koje danas nemamo u našoj zemlji, ali koji se potencijalno mogu naći na našoj teritoriji bilo u normalnim, ili vanrednim uslovima.

k) Multidisciplinirani karakter ovog problema zahteva širok krug specijalnosti različitih struka te je u tom smislu nužna kordinacija.

l) Svako preuveličavanje radijacione opasnosti od primene radionuklida može naneti ogromne štete razvoju tehnološke revolucije u nas, ali radijacije se moraju poštovati u punoj meri da se ne bi ponovila istorija klasičnih aerozagadjenja, zagadjenja vodotokova i životne sredine uopšte. U tome poslenici radiološke zaštite danas treba da vide istorijsku šansu za pravilan prilaz rešenju jednog značajnog dela naučno-tehnološke revolucije uopšte.

STUDIJA UTICAJA PARAMETARA OKOLINE NA KONCENTRACIJU AEROSOLA U PRIZEMNOM SLOJU VAZDUHA

D.Patić, R.Smiljanić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

U v o d

Kompleksnost procesa u atmosferi, koji imaju značajan uticaj na aerozagadjenje u prizemnom sloju, otežava predvidjanja o koncentraciji aerozagadjivača i njegovoj daljoj sudbini.

Stalno prisustvo prirodno radioaktivnih aerosola i njihovo sistematsko merenje pruža mogućnost da se ovaj problem detaljnije izuči, tretirajući procese u atmosferi kao slučajne stacionarne procese preko čijih se karakteristika može da odredi stepen njihove uzajamne povezanosti i utvrdi uticaj pojedinih parametara okoline na kretanja aerozagadjenja u nižim slojevima atmosfere.

Složenost veze izmedju koncentracije prirodno radioaktivnih aerosola i meteoroloških parametara nametnula je potrebu da se uticaj pojedinih parametara na ove koncentracije odvojeno izuči. U tom cilju u prvoj fazi ispitivana je zavisnost koncentracije radioaktivnih aerosola od temperaturskog gradijenta, uz istovremeno praćenje uticaja relativne vlažnosti i srednje brzine vetra na ovu vezu.

Analiza rezultata

U obradi obimnog eksperimentalnog materijala pošli smo od metoda korelacione analize, rasmatrajući promene koncentracija radioaktivnih aerosola, kao i promene temperaturskog gradijenta u toku vremena kao dva slučajna procesa. Veoma složenu vremensku strukturu sistema dva slučajna procesa opisuje korelaciona funkcija veze, čija je važna osobina da dinamički izražava zavisnost izmedju njih.

Prema definiciji korelaciona funkcija veze data je sa

$$B_{yx} = E/(y(t)-\bar{y})(x(t+\tau)-\bar{x})/$$

Medjutim, umesto nje često se uvodi normirana korelaciona funkcija veze ili vremenski koeficijent korelacije definisan sa:

$$R_{yx} = \frac{B_{yx}(\tau)}{\sigma_x \sigma_y}$$

gde su σ_x i σ_y standardne devijacije za procese opisane funkcijama x(t) i y(t), i čija vrednost ukazuje na postojanje ili odsustvo korelacije izmedju tih procesa.

Za analizu zavisnosti izmedju koncentracija radioaktivnih aerosola i temperaturskog gradijenta, odnosno relativne vlažnosti, statistički je obradjeno 155 vrednosti srednjih dnevnih koncentracija u periodu januar-jun 1969. godine. Iako je dalja analiza vršena na osnovu časovnih vrednosti koncentracija i meteoroloških parametara, u prvoj fazi analize ispitivan je karakter procesa a on je preko srednjih dnevnih vrednosti dovoljno dobro opisan.

Grafik korelacione funkcije veze izmedju koncentracije radioaktivnih aerosola i temperaturskog gradijenta dat je na slici 1. Sa grafika se vidi da je dobro izražena zavisnost koncentracija radioaktivnih aerosola od temperaturskog gradijenta (meren izmedju 40 m i 2 m iznad tla). Za manje vrednosti τ vrednost R se znatno razlikuje od nule, a za $\tau = 0$ R se kreće u granicama $0,43 < R < 0,65$, što znači da vrednost temperaturskog gradijenta neposredno utiče na nivo aktivnosti u prizemnom sloju vazduha. Zavisnost dnevnih koncentracija radioaktivnih aerosola od relativne vlažnosti nije dovoljno izražena.

Ispitivanje tipa ustanovljene veze izmedju temperaturskog gradijenta i koncentracija prirodno radioaktivnih aerosola, vršeno je dalje metodom regresione analize. Analizom su obuhvaćene časovne vrednosti koncentracija za osam meseci u 1969. god. i jedan mesec 1970. god. u uslovima temperaturske inverzije na 40 m visine. Testiranjem najverovatnije funkcionalne veze dobijeno je da je linearna zavisnost izmedju koncentracije i temperaturskog gradijenta najverovatnija. Pri ovoj pretpostavci mogu se metodom najmanjih kvadrata naći regresione prave koje pokazuju zavisnost analiziranih veličina.

$$y = 167,6x + 102$$
$$x = 0,00257y + 0,38$$

gde su sa x označene časovne vrednosti temperaturskog gradijenta, a sa y izmerene beta aktivnosti prirodno radioaktivnih aerosola. Koeficijent korelacije za ovaj skup nalazi se u intervalu $0,64 < r < 0,68$ i on ukazuje na značajnu zavisnost izmedju posmatranih veličina.

Radi ispitivanja uticaja relativne vlažnosti na ovu vezu,

svi podaci podeljeni su u grupe sa relativnom vlažnošću 30-40 %, 40-50 %, 50-60 %, 60-70 %, 70-80 %, 80-90 %, 90-100 % (tabela 1). Za svaku od ovih grupa nadjene su regresione prave i koeficijenti korelacije.

Tabela 1.

Relativna vlažnost	Regresiona prava y/x	Koeficijent korelacije	Obim skupa
90-100 %	y = 206x + 135	0,72 < r < 0,77	1307
80-90 %	y = 126x + 109	0,53 < r < 0,61	916
70-80 %	y = 124x + 72	0,56 < r < 0,72	484
60-70 %	y = 126x + 83	0,54 < r < 0,70	248
50-60 %	y = 125x + 78	0,36 < r < 0,63	181
40-50 %	y = 89x + 92	0,44 < r < 0,74	70
30-40 %	y = 75x + 98	0,00 < r < 0,65	30

Primenom metode koja omogućuje procenu verovatnoće da se dva skupa razlikuju medjusobno, dobilo se da se skupovi za pojedine vrednosti relativne vlažnosti medjusobno ne razlikuju značajno (verovatnoća veća od 0,95), izuzev skupa sa relativnom vlažnošću od 90-100 % koji se značajno razlikuje od njemu najbližeg skupa sa relativnom vlažnošću 80-90 %.

Posmatrajući intervale variranja faktora korelacije vidi se da svi koeficijenti korelacije, izuzev odog za skup sa relativnom vlažnošću od 90-100 %, imaju jedan zajednički domen. Širina intervala u kome se nalazi koeficijent korelacije neposredno zavisi od broja podataka u odgovarajućem skupu, pa se iz tabele 1 može videti da je najveći broj podataka (41,2 %) u grupi sa relativnom vlažnošću od 90-100 % a najmanji je u grupi sa najnižom

vlažnošću (0,9 %), usled čega je faktor korelacije u ovom slučaju vrlo neprecizno odredjen.

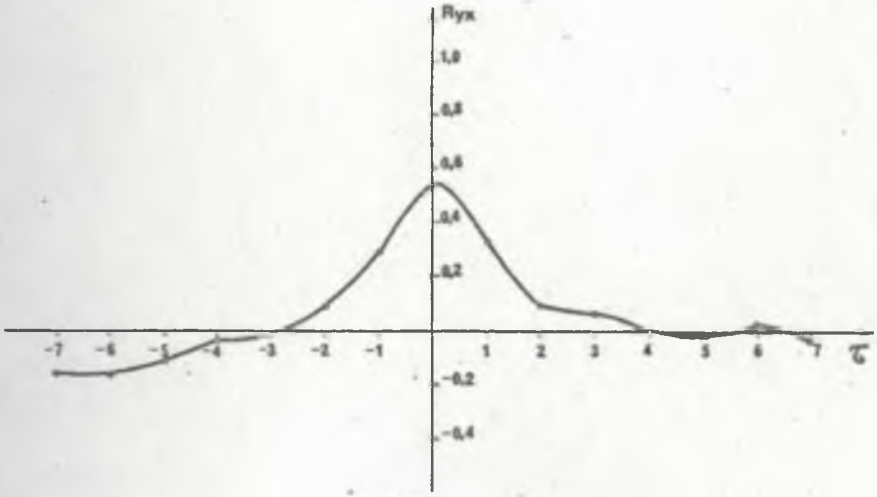
Uticaj srednje brzine vetra na vezu izmedju beta aktivnosti prirodnih aerosola i temperaturskog gradijenta analiziran je samo za interval relativne vlažnosti 90-100 %. Regresione prave i koeficijenti korelacije u pojedinim intervalima brzine vetra, dati su u Tabeli 2.

Tabela 2.

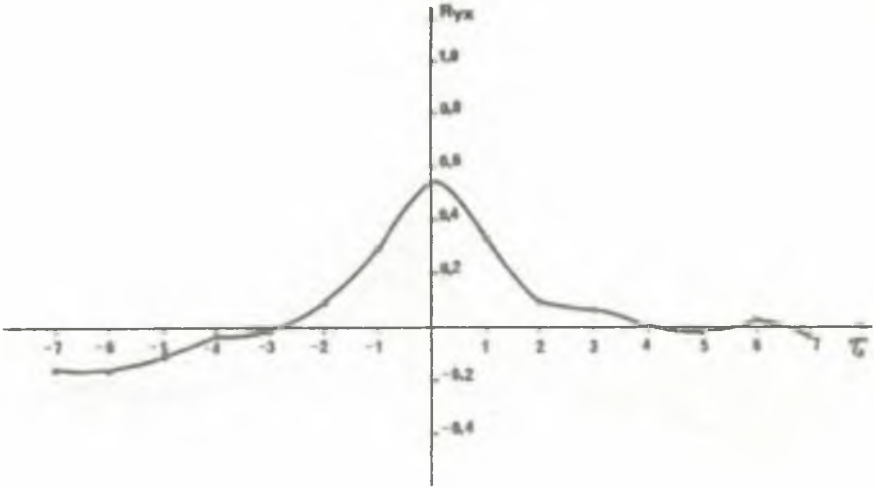
Brzina vetra m/s	Regresiona prava y/x	Koeficijent korelacije
0,00 - 0,10	y = 195x + 359	0,57 < r < 0,91
0,11 - 0,20	y = 161x + 296	0,56 < r < 0,84
0,21 - 0,30	y = 198x + 296	0,65 < r < 0,84
0,31 - 0,40	y = 186x + 249	0,63 < r < 0,80
0,41 - 0,50	y = 166x + 307	0,59 < r < 0,77
0,51 - 1,00	y = 167x + 202	0,61 < r < 0,72
1,01 - 1,50	y = 108x + 156	0,40 < r < 0,64
1,51 - 2,50	y = 31x + 180	- 0,08 < r < 0,25
> 2,50	y = 34x + 144	- 0,10 < r < 0,18

Na osnovu iznetih rezultata se vidi da ne postoji korelacija izmedju aktivnosti i temperaturskog gradijenta za brzine vetra veće od 1,50 m/s. Verovatnoća da se akupovi sa srednjim brzinama vetra do 1,00 m/s ne razlikuju medjusobno vrlo je velika (veća od 0,95), dok se skup sa srednjom brzinom vetra od 1,01 - 1,50 m/s sa verovatnoćom većom od 0,999 razlikuje od skupa sa brzinom vetra 0,51 - 1,00 m/s.

Odbacivanje vrednosti sa brzinama vetra većim od 1,00 m/s iz ovog skupa povećalo je koeficijent korelacije na vrednost $0,76 < r < 0,96$, iz čega se može zaključiti da je brzina vetra parametar koji se pri ovakvim analizama mora uzimati u obzir.



Sl.1. Grafik korelacione funkcije veze izmedju koncentracije radioaktivnih aerosola i temperaturskog gradijenta



Sl. 1 GRAFIK KORELACIONE FUNKCIJE VEZE IZMEDJU KONCENTRACIJE RADIOAKTIVNIH AEROSOLA I TEMPERATURSKOG GRADIJENTA

Nr / 11

RADIOAKTIVNOST DNA DUNAVA IZMEDJU 1176 - 1103 km

T. Tasovac, R. Radosavljević, A. N. Hanna

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

RADIOAKTIVNOST DNA DUNAVA IZMEDJU 1176 - 1103 km.

T.Tasovac, R.Radosavljević, A.N.Hanna
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

ABSTRAKT

Dat je pregled ispitivanja radioaktivnosti dna Dunava u periodu 1965. - 1969. god. u eksperimentalnoj zoni izmedju 1176 - 1103 km. Prikazan je uticaj dinamičkih, morfoloških i drugih parametara sistema na promene radioaktivnosti dna.

U V O D

Kretanje radioaktivnih nuklida u biosferi kao celini ili u pojedinim njenim delovima (atmosfera, hidrosfera, litosfera), zavisno je, s obzirom na veoma veliki broj parametara koji mogu da utiču na ova kretanja, od složenih procesa čije zakonitosti je neophodno utvrditi.

Ispitivanje zakonitosti kretanja radioaktivnih nuklida u hidrosferi tj. vodotocima i transfera i akumulacija u pojedinim delovima sistema, vrše se veoma intenzivno u celom svetu. Ispitivanja ukazuju medjutim, da generalisanja dobivenih rezultata nisu moguća zbog specifičnosti prirodnih vodotoka pošto isti predstavljaju složene dinamičke sisteme čija ravnoteža je u najtešnjoj vezi sa neposrednom okolinom. Da bi se dobio uvid u sudbinu radioaktivnih nuklida dospelih u vodotoke neophodna su opšta i uža regionalna ispitivanja, pri kojima moraju da budu ispitani mnogobrojni parametri od kojih zavisi

transfer radionuklida kroz sistem i utvrdjene specifičnosti karakteristične za dati region.

S obzirom na složenost sistema kao celine i uzajamnu zavisnost njegovih komponenti, utvrdjivanje postojećih zakonitosti moguće je samo ako se sistematski i u dužem vremenskom periodu vrše istraživanja parametara koji u potpunosti karakterišu vodotok kao što su: hidrološke odnosno hidrodinamičke karakteristike vodotoka, fizičke karakteristike (viskozitet, temperatura, stepen sunčevog zračenja itd.), hemijske osobine vodotoka (pH, stanje oksidoredukcije, sadržaj katjona i anjona u rastvoru, sadržaj organskih materija itd.), mineraloške karakteristike suspendovanog i vučenog nanosa, geološke karakteristike dna, biološke karakteristike sredine (mikro i makro flora i fauna) i prati dinamizam njihovih promena. Uticaj pojedinih parametara na transfer radionuklida i na pomeranje ravnoteže u sistemu su izvanredno veliki i mogu se manifestovati direktno ili posrednim putem.

Da bi se dobio uvid u kretanje radioaktivnih nuklida koji su usled nuklearnih eksplozija dospeli i dalje dospevaju u vodotok Dunava, kao i radioaktivnih nuklida koji kao otpaci u normalnim ili akcidentalnim uslovima iz postojećih nuklearnih i drugih postrojenja dospevaju u Dunav, te utvrdile mogućnosti korišćenja istog za upuštanje radioaktivnog otpadnog materijala i stvorila neophodna naučna baza za definisanje normi i donošenje odluka o načinu korišćenja vodotoka i utvrdjivanje obaveza pribrežnih zemalja, u toku 1958. god./6/ započeta su u neposrednoj blizini Vinče sistematska kompleksna istraživanja niza parametara od kojih zavisi transfer radionuklida izmedju vode, sedimenata i bioloških sistema, tj. parametara koji utiču na procese dispersije i koncentrisanje u pojedinim delovima vodotoka i

koncentrisanje u toku biološkog ciklusa u reci /1-8/. Na ovom poslu pored Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" od 1965. god. angažovani su Biološki institut iz Beograda i Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi".

Dugoročni program neophodnih istraživanja obuhvata:

- Ispitivanja karakteristika sredine u koju dospevaju radionuklidi i utvrdjivanje njihovih promena u toku vremena
- Ispitivanje disperzije radionuklida u vodotoku
- Ispitivanje ponašanja radionuklida u vodotoku (kapacitet i kinetika adsorpcije na suspendovanom i vučenom nanosu, stepen i kinetika akumulacije u žive sisteme i dr.)
- Utvrdjivanje kritičnih radionuklida, kritičnih puteva izlaganja i populacionih grupa.

Kao deo ovog programa, u periodu od 1965. god., u okviru sistematiskih istraživanja karakteristika sredine i ponašanja radioaktivnosti u vodi, pored merenja radioaktivnosti pojedinih uzoraka dna vršeni su i eksperimenti "in situ" sa ciljem da se pokaže koliki je stepen retencije radioaktivnosti na materijalu dna i kakva je dinamika promene s obzirom na hidrodinamičke, hidrološke, hidrohemijske, hidrobiološke i morfološke karakteristike sistema. Poznavanje uticaja ovih parametara na pomenute procese od izvanrednog je značaja i za utvrdjivanje stepena akumulacije radioaktivnog i drugog materijala u budućem Djerdapskom jezeru. U ovom radu prikazani su neki rezultati ovih ispitivanja.

METODOLOGIJA ISPITIVANJA I NEKE KARAKTERISTIKE SISTEMA

Merenje radioaktivnosti dna vršeno je na pojedinim uzorcima sakupljenim na deonici izmedju 1176 - 1103 km. sa različitih profila i sa različitih vertikala u profilima u

periodu 1965. - 1969. god. Izgled jednog od profila sa kompletnim hidrološkim parametrima dat je na dijagramu 1. Uzimanje uzoraka za analizu vršeno je grajferom. Detalji o merenjima i obradi uzoraka objavljeni su ranije /1/.

Ispitivanja retencije radioaktivnosti na materijalu dna "in situ" vršena su najpre na modelnom sistemu potoka Mlake /2/, a zatim paralelno sa upuštanjem otpadnog materijala direktno u Dunav /3/.

Korito Dunava u ispitivanoj deonici uglavnom je peskovito. Priobalni delovi su zamuljeni i sadrže više organskog i biomaterijala (školjke, alge i dr.). Podaci o vrstama živog sveta u materijalu dna takodje su objavljeni ranije /1/.

REZULTATI I DISKUSIJA

O dinamici promena i stepenu retencije ukupne beta radioaktivnosti materijala dna iz priobalnog područja i na profilima izmedju 1176 - 1103 km. može se suditi na osnovu rezultata prikazanih u tablicama 1 i 2 i dijagramima 2-5. Tablica 1 daje pregled ovih promena za priobalno područje na 1146 i 1132 km. u mesečnim intervalima, a tablica 2 prosečne nivoe u profilima na bazi pojedinačnih merenja iz vertikala čiji se broj kreće izmedju 5-10 zavisno od profila. Minimalne vrednosti date u tablici 2 zabeležene su sve u 1968. god., a maksimalne u 1966. god. Nivoi ukupne beta radioaktivnosti u priobalnom delu su znatno više nego u pojedinim vertikalama, a uglavnom i koeficijenti varijacija (KV %).

Tablica 1

Pregled mesečnih vrednosti specifične beta radioaktivnosti dna /Vinča 1146 km, GRocka 1132 km)

pCi/g

Godina	1146 km			KV	1132 km			KV
	min	max	$\bar{A}$	%	min	max	$\bar{A}$	%
1965	15	22	18,1	12	15	29	22,0	19
1966	10	23	16,8	26	18	30	21,6	15
1967	9	22	15,6	21	14	22	17,3	14
1968	13	20	16,0	16	16	22	19,0	11
1969	17	34	23	-	13	38	24	-

Tablica 2

Pregled srednjih vrednosti specifične beta radioaktivnosti uzoraka dna profila ispitivane deonice u periodu 1965. - 1969. god.

pCi/g

Profil, km	min	max	$\bar{A}$	KV %	$\bar{V}$ m/sec
1176	-	-	5,1	-	-
1144	7,3	11,0	9,6	15,2	0,64
1141	9,1	12,2	10,2	12,7	0,57
1132	7,0	11,0	8,7	20,5	0,82
1126	7,6	12,7	9,1	26,5	0,71
1120	6,8	13,0	9,3	30,7	0,59
1103	-	-	9,0	-	-

Na dijagramu 2, na jednom tipičnom profilu (1141 km) takodje su pokazane ove promene pojedinačne. Ovde se vidi da postoji zakonito smanjenje aktivnosti prema dubljim delovima korita što se može objasniti elementarnim protocima odnosno morfološkim karakteristikama korita. Uticaj morfoloških i dinamičkih parametara zajedno za celo ispitivano područje prikazan je na dijagramu 3, gde ordinatnu osu čine višegodišnje srednje vrednosti ukupne beta radioaktivnosti pojedinih profila, a apscisnu odnos izmedju širine reke (L), prosečne dubine (H) i srednje brzine ($\bar{V}$) dobivenih u toku višegodišnjih ispitivanja. Najviši nivo ukupna beta radioaktivnosti zabeležen na 1141 km /tab.2/ može se objasniti time da je ovaj profil najdublji u ispitivanoj deonici i da je tu stvoreno jezero sa malim stepenom dinamičkih promena koje uslovljavaju takvo stanje. Direktna merenja gama aktivnosti "in situ" u profilima na 1144 i 1141 km, prikazana na dijagramima 4 i 5, potvrdila su ovu pretpostavku (vrednosti gama aktivnosti na dijagramima su relativne). Gama spektrometrijske i radiohemijske analize pojedinih uzoraka iz ovih profila, kao i neki eksperimenti u laboratorijskim uslovima koji su još u toku, dali su vrlo interesantnu sliku o ulozi hidrobioloških i hidrohemijskih faktora na stepen retencije i migraciju radionuklida /3,8-12/. Pozitivan trend proporcionalnosti izmedju srednjih vrednosti ukupne beta radioaktivnosti materijala dna i varijansi, i delimično testiranje ovoga, postupkom regresione analize, potvrdjuje da hidrološki režim u celini ima uticaja na distribuciju aktivnosti i da ova najverovatnije podleže lognormalnom zakonu.

ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati pokazuju da su dobivene promene i stepen retencije radioaktivnosti u Dunavu u eksperimentalnoj

zoni znatni i da su u velikoj meri zavisni od hidrološkog režima u celini. Oni takodje čine bazu za kvantitativnu evaluaciju procesa i daju zajedno sa ostalim informacijama osnovu za predvidjanja o sudbini radionuklida u vodotoku.

LITERATURA

1/ Tasovac T., i dr., Studija kretanja radioaktivnih nuklida u vodotoku Dunava i ispitivanje efekata na okolinu, Izveštaj IBK-631, maj 1968.,Vinča.

2/ Tasovac T., i dr., Ponašanje Co^{60} pri upuštanju efluenata u potok Mlaku, Saopštenje-Savetovanje hemičara SR Srbije, januar 1967., IBK-554.

3/ Tasovac T., i dr., Kompleksno ponašanje Co^{60} u Dunavu, (u štampi).

4/ Petrović G., i dr., Beitrag zur Hydrochemischen Untersuchnung der Donau bei VINČA, km 1144, unweit Beograd, Archiv für Hydrobiologie /Suppl. XXXVI (Donauforschung IV), 71-84.

5/ Petrović G., i dr., Der Schwebsoffgehalt der Donau bei Beograd, Archiv für Hydrobiologie /Suppl. XXXVI(Donauforschung IV), 1969, 98-108.

6/ Tasovac T., i dr., Ergebnisse systematischer Messungen der Alfa - und Beta - Radioaktivität in der Donau in den Jahren 1958-1967 im Gebiet von Vinča, Archiv für Hydrobiologie/Suppl.XXXVI (Donauforschung IV) 1969, 85-91.

7/ Tasovac T., i dr., Die Verteilung der Gesamt-Beta-Radioaktivität auf die flüssige Phase und die suspendierten Teilchen im Donauwasser, Archiv für Hydrobiologie/Suppl. (Donauforschung IV) 1969, 92-97.

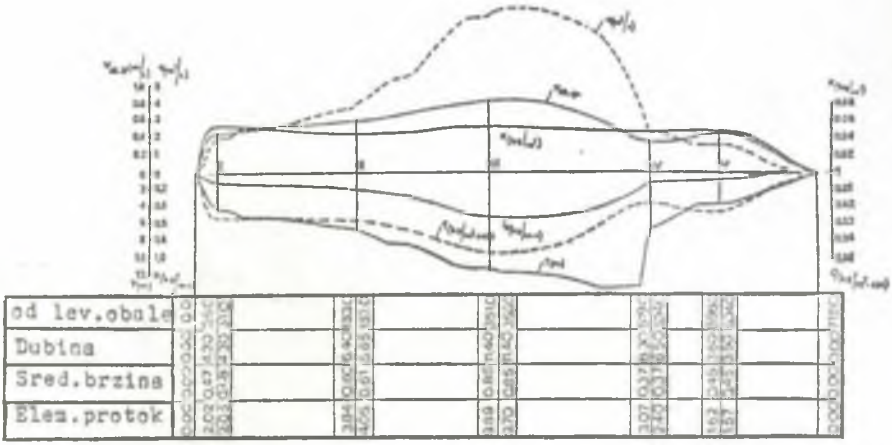
8/ Tasovac,T., i dr., Investigation of Radioactivity of the Danube, Proceeding of a Symposium of Environmental Contamination by Radioactive Materials, Vienna, 24-28 March 1969, SM-117/88,427-433.

9/ Radosavljević R., i dr., Capture of Cobalt-60 by suspended Particles in the Danube, Symposium de Radioecologie, Cadarache, Septembar 1969, Vol I.p.50

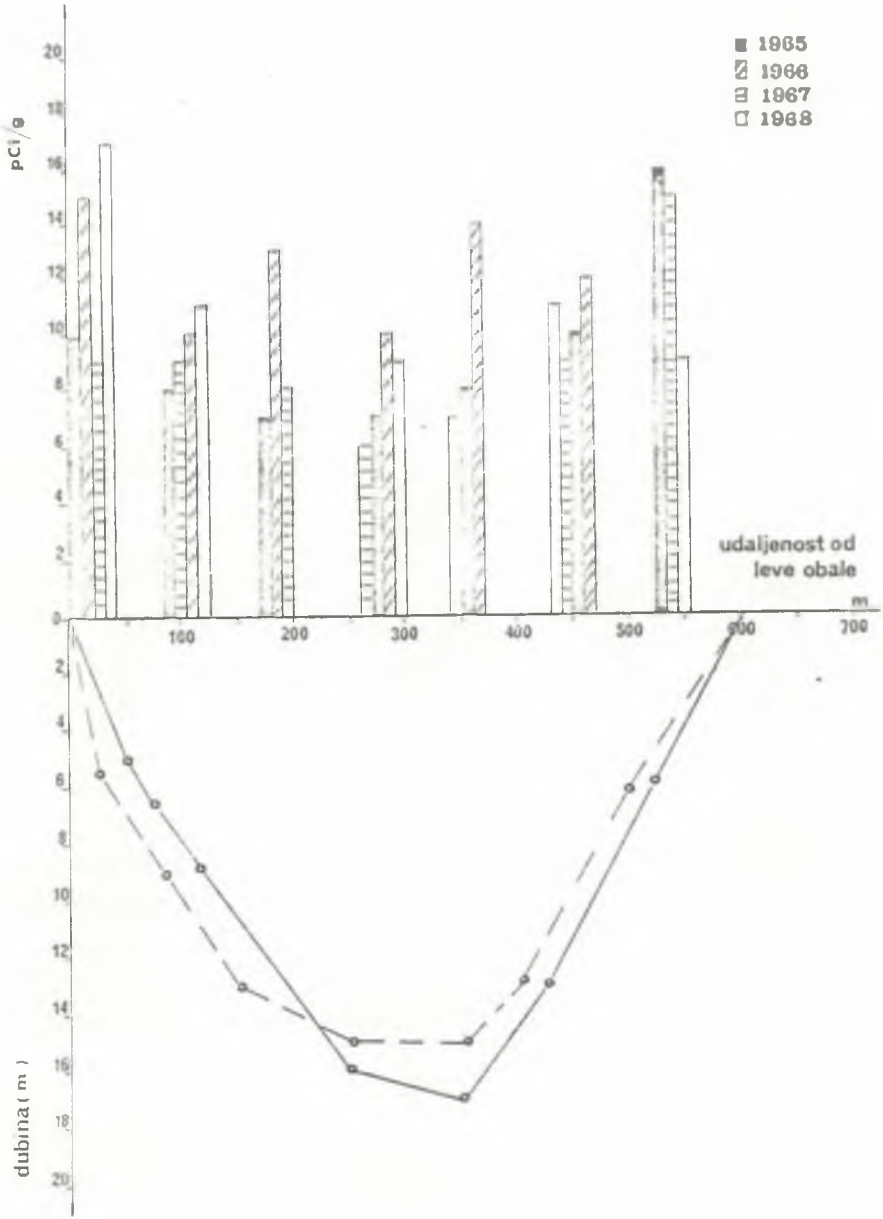
10/ Radosavljević R., Uklanjanje radioaktivnosti radioaktivnih padavina iz dunavske vode na vodovodu Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Naučno-tehnički pregled, br.1, Specijalni broj 1966, str.33-42.

11/ Radosavljević i dr., Kretanje radioaktivnosti, koja potiče od K^{40}, u padavinama i vodama na teritoriji Vinče, Tehnika 6, 1965, str.1053.

12/ Radosavljević R., i dr., Die Untersuchnung der Radioaktivität der Donau, XIII International Tagung für die Erforschung der Donau und ihre Nevenflüsse vow 14.-20. September 1970 in der Sweiz.

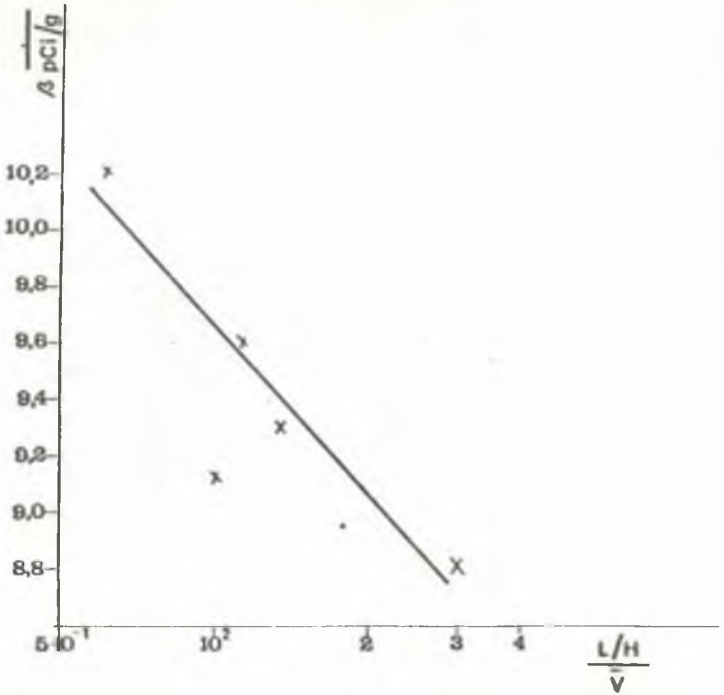


Dijagram 1. Hidrološke karakteristike Dunava u rasnu Vinče km.1144
$Q(m^2/s)$-elementarni protok; Vmg(m/s)-srednja brzina;
$K(kg/m^3)$-koncentracija suspendovanog nanosa;
G(kg/ms)-elementarni protok suspendovanog nanosa;
$Q(kg/m^2s)$-specifičan protok suspendovanog nanosa;
T(m)-dubina.

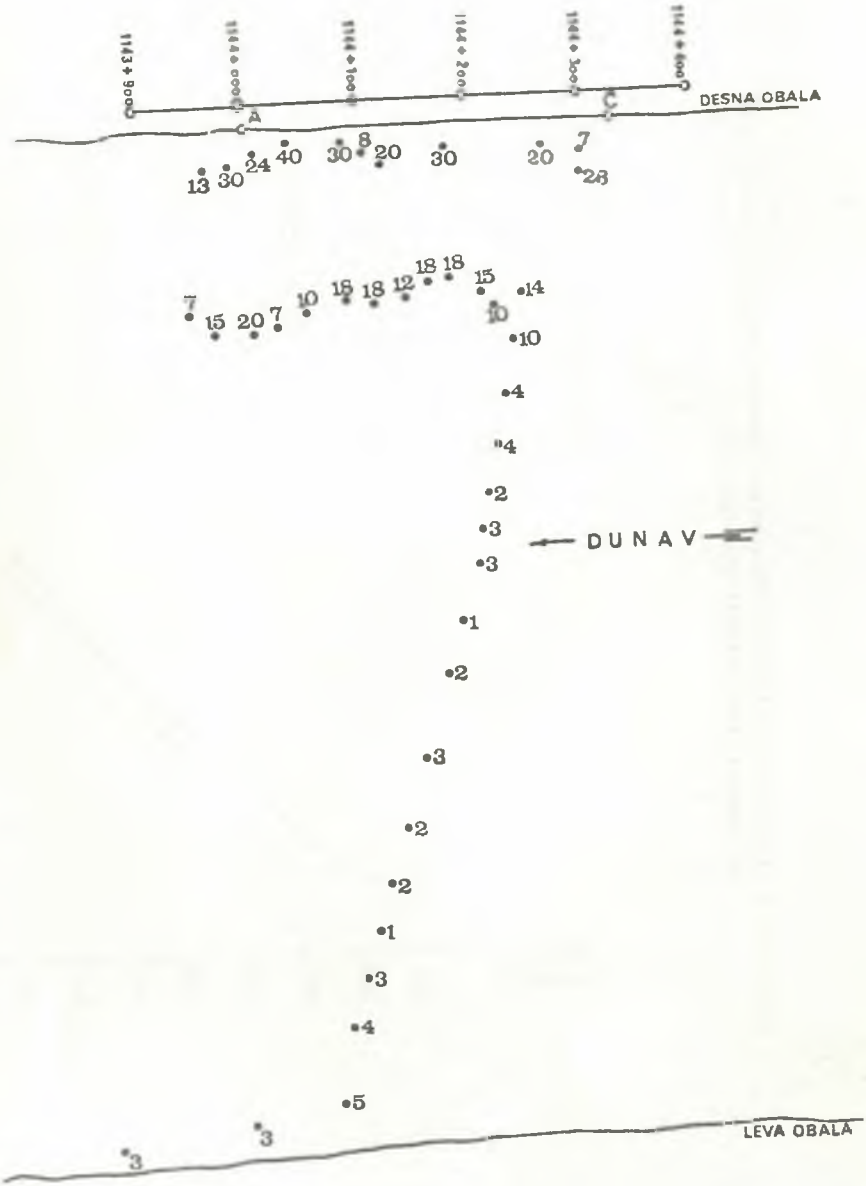


DIJAGRAM 2. UKUPNA BETA RADIOAKTIVNOST UZORAKA DNA U PERIODU 1965-1968 U POPREČNOM PROFILU DUNAVA NA 1141-om Km.

DIJAGRAM 3. UTICAJ MORFOLOŠKIH I DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA NA PROMENE AKTIVNOSTI DNA U TOKU 1965 – 1969 GOD.

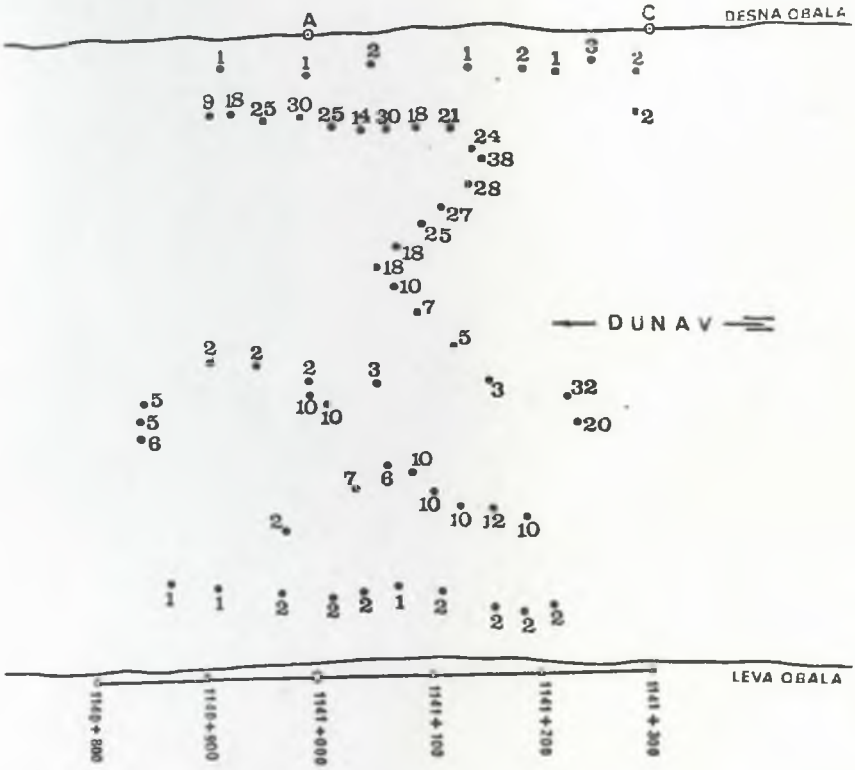


OSNOVNA AKTIVNOST DNA - km. 1144



DIJAGRAM - 5

OSNOVNA AKTIVNOST DNA – km. 1141



PK 840/70

Nr / 12

PRIMENA PROSTORNO-VREMENSKE ANALIZE ZA UTVRDJIVANJE ZAKONITOSTI KRETANJA RADIOAKTIVNOG MATERIJALA U DUNAVU

R.Radosavljević i T.Tasovac

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

ABSTRAKT

Učinjen je pokušaj primene principa ergodičnosti na probleme transporta radioaktivnog materijala u Dunavu uzimajući kao bazu obiman empirijski materijal sakupljen u toku dugog vremenskog osmatranja.

U V O D

Transport radioaktivnog materijala u vodotocima je složen fenomen koji zavisi od brojnih parametara (hidroloških, hidrohemijskih, hidrobioloških i dr.). Mnogobrojni matematički modeli korišćeni za opisivanje ovih procesa imaju zato samo relativnu važnost. Hipoteza ergodičnosti i metode statističke fizike koje se danas najviše primenjuju za prostorno-vremenske analize hidroloških elemenata nisu još dobile svoje objašnjenje ni fizički smisao, te je stoga njihova primena najčešće intuitivna. Na drugoj strani uloga genetskih odnosno determinističkih metoda ograničava se uglavnom na definisanje fizičkog smisla krivih distribucije odredjenih elemenata i na utvrdjivanje uticaja čoveka na režim voda.

Za ideju ergodičnosti je bitno da sadrži stroga razgraničenja u primeni zbog različnosti prirodnih procesa i njihovih osobenosti. Strogo uzevši primena hipoteze ergodičnosti je delishodna u slučaju dugoročnih osmatranja i u specijalnim uslovima eksperimentisanja u kratkom vremenskom intervalu na teritorijama definisanih dimenzija. To pretpostavlja vrlo obimna istraživanja i generalisanje što je mogućno većeg empirijskog materijala.

Imajući u vidu princip da vremenska osmatranja mogu biti zamenjena ili dopunjena osmatranjima u prostoru i obrnuto, pokušali smo analizom ogromnog empirijskog materijala odnosa beta radioaktivnosti tečne i čvrste faze dunavske vode u dugom vremenskom intervalu i osmatranja u specifičnim uslovima u eksperimentalnoj zoni na Dunavu izmedju 1144 i 1120 km u kratkom vremenskom intervalu, sa raznih tačaka iz ove eksperimentalne deonice, da utvrdimo zakonitosti distribucije ovih odnosa i testirajući njihove parametre dobijemo fizičko objašnjenje fenomena transporta na bazi čega bi princip bio verificiran.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na dijagramu 1 prikazane su empirijske krive kumulativnih verovatnoća pojedinačnih odnosa ukupne beta radioaktivnosti tečne i čvrste faze dunavske vode za osmatranja vršena u kratkom vremenskom intervalu u različitim tačkama u eksperimentalnoj zoni. Iz prikazanih krivih može se zaključiti da ispitivani odnosi u svim slučajevima podležu istom zakonu distribucije i da je ova identična sa distribucijom za osmatranja u dugom vremenskom intervalu u jednoj tački (1,2).

Kako konsekventna primena principa ergodičnosti uslovljava normiranje empirijskih krivih, a u analizi hidroloških elemenata se za to primenjuje Pirsonova kriva III reda, koreliranje pojedinih parametara distribucije /varijansi i srednjih vrednosti/ dala su vrlo visoke stepene korelacija koji indiciraju da je asimetričnost zakonitost sistema /dijagram 2/. Ako se uzmu u obzir i neki efekti proporcionalnosti dobiveni sa drugim parametrima onda se princip ergodičnosti ne može konsekventno primeniti jer se u napred može računati da empirijske krive imaju mali stepen slaganja sa teorijskim krivama distribucije. Visok stepen korelacije parametara distribucije upućuje na zaključak da odnosi aktivnosti tečne i čvrste faze dunavske vode slede zakon lognormalne distribucije i da u tom kontekstu treba tražiti osnovu za fizičko objašnjenje procesa transporta.

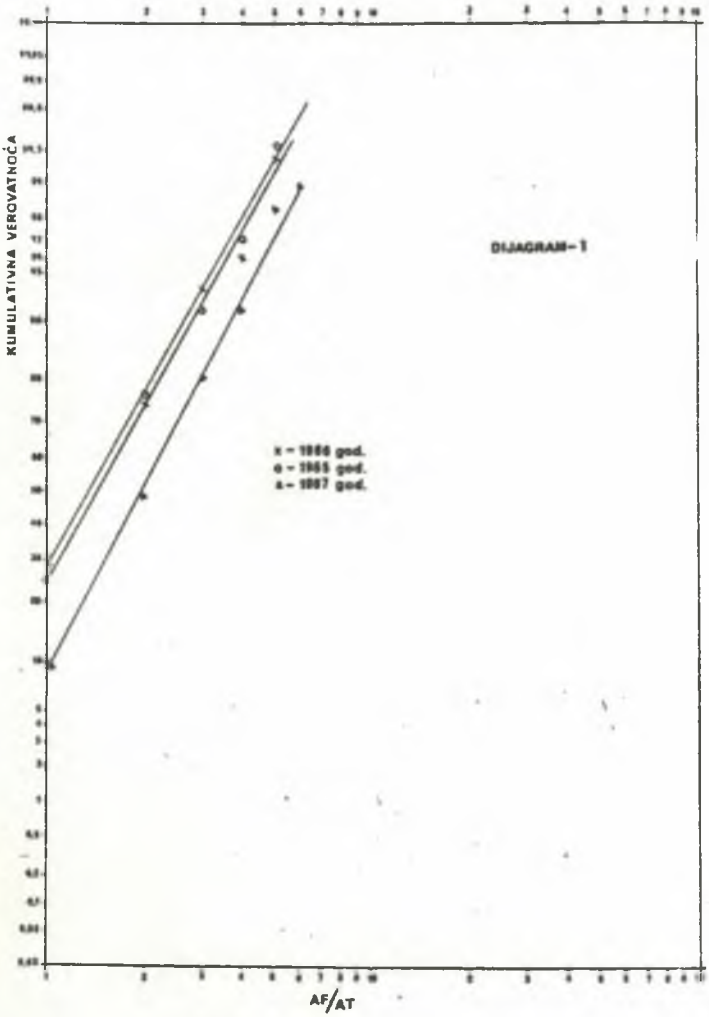
ZAKLJUČAK

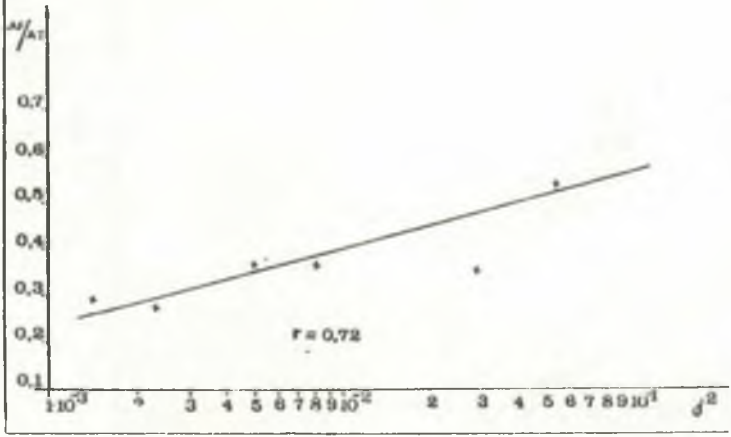
Dobiveni rezultati dugoročnih istraživanja i istraživanja u kratkom vremenskom periodu pokazali su da se odnosi ukupne beta aktivnosti tečne i čvrste faze dunavske vode pokoravaju zakonu lognormalne distribucije i da je hidrološki režim jedan od bitnih faktora koji utiče na transport radioaktivnog materijala u vodotoku.

LITERATURA

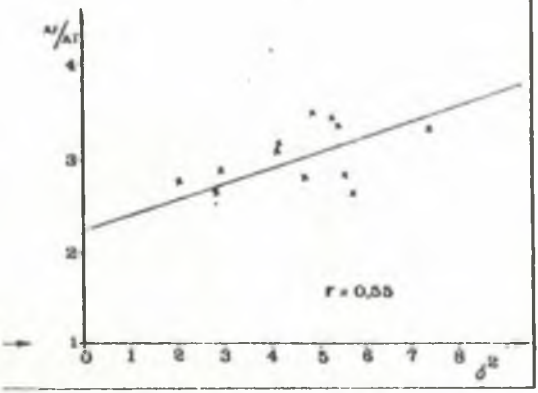
1/ Tasovac T., und Radosavljević R. (1969)., Die Verteilung der Gesamt-Beta-Radioaktivität auf die flüsige Phase und die suspendierten Teilchen im Donauwasser., - Arch. Hydrobiol. /Suppl.XXXVI (Donauforschung IV),92-97.

2/ Tasovac T., et al., (1970) Study of the Dispersion Ability and some other Characteristics of the Danube by Nuclear Techniques, Proceedings of a Symposium on the Use of Isotopes in Hydrology, Vienna, Austria, 9-13 March 1970., SM-129/30.


KUMULATIVNA VEROVATNOĆA
DIJAGRAM-1
x - 1986 god.
o - 1985 god.
Δ - 1987 god.
AF/AT


μ/μ_T
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
r = 0,72
$1\,10^{-3}$
3
4
5
6
7
8
9
10^{-2}
2
3
4
5
6
7
8
9
10^{-1}
d^2

DIJAGRAM - 2



DETEKCIJA I POSREDOVANJE INFORMACIJA

Janez Kristan
Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Jamova 39
Odsek za zaščito pred ionizirajočim sevanjem

Elektromagnetno i korpuskularno zračenje, koje prouzrukuje u materiji jonizaciju atoma i molekula, nazivamo zajedničkim imenom jonizujuće zračenje. Jonizujuće zračenje je sastavni deo čovekove prirode, u kojoj je hiljadu godina živeo, ne da bi bio svestan prisutnosti tog zračenja. Baš to zračenje je u velikoj meri ubrzalo njegov razvoj iz nižeg životinjskog sveta sa pojačanjem mutacije gena, nosioca naslednih osobina u ćeliji odnosno u organizmu. Sa svojim čulima čovek u početku nije mogao osetiti dejstvo jonizirajućeg zračenja. Kasnije, u vreme razvoja nauke, kada je čovek počeo posmatrati prirodne pojave bez straha, primećuje i dejstvo jonizirajućeg zračenja na materije. Iz te pojave zaključuje pravilno, da postoji neko zračenje njemu nepoznato. Tako su n.pr. Rentgen g.1895 i Bekerel godinu kasnije otkrili rentgensko i radioaktivno zračenje. Fizikalno--hemijske promene materije su još i danas osnova za detekciju zračenja.

Svi detektori koje upotrebljavamo za merenje zračenja, mere zapravo samo jonizacijske i ekscitacijske efekte, koji nastaju usled uticaja zračenja na materiju. Za detekciju i merenje zračenja upotrebljavamo sledeće metode, detektore ili dozimetre:

1.) jonizacione ćelije
2.) Gajger-Milerjeve i proporcionalne brojače
3.) Scintilacione detektore

4.) Fotografske emulzije
5.) Fotoluminiscentne i termoluminiscentne dozimetre
6.) Poluprovodničke detektore
7.) Hemijske dozimetre
8.) Kalorimetre

Ad.1.) Zato što je rentgen definisan sa električnim nabojem, koji nastaje u odredjenoj zapremini vazduha, je jonizaciona ćelija najneposrednija metoda za merenje doze. Jonizaciona ćelija ima zidove iz posebnog materijala, koji su po svojoj apsorpciji zračenja ekvivalentni vazduhu ili tkivu. Na unutrašnoj strani je prevučena sa elektroprovodljivom materijom, a u sredini se nalazi izolirovana elektroda. Punjena je sa vazduhom ili gasom pod običnim ili povišenim pritiskom. Kada stavimo ćeliju pod istosmerni napon elektrode pokupe sve jone koji su nastali u gasu, u ćeliji. Sa elektroskopom ili elektrometrom merimo promene naboja na elektrodama ili struju koju ćelija provodi. Naboj ili struja sorazmerne su dozi ili intenzitetu zračenja. Najrašireniji primer jonizacionih ćelija je djepni dozimetar ili penkalo dozimetar, sa kvarčnom nitkom i mikroskopom za samostalno odčitavanje, ili bez kvarčne nitke za odčitavanje na elektrometru. Djepni dozimetri imaju obično razpon skale od 100 mR do 50 R. Prenosni instrumenti monitori sa jonizacijskim ćelijama imaju vrlo osetljivo strujno kolo sa elektrometarskom lampom ili sa dinamičnim kondenzatorom, i pokrivaju područje od nekoliko mR/h do nekoliko sto R/h.

Ad.2.) Proporcionalni brojači imaju jednaku osnovnu konstrukciju kao jonizacione ćelije, samo da je električno polje oko centralne elektrode veće, tako da elektroni u električnom polju dobiju takvu brzinu, koja omogućuje joniziran-

nje nove molekule gasa i time prouzrukuju povećanu fluktuaciju naboja na elektrodama ili struje kroz ćeliju. Ova fluktuacija napona ili veličina električnog impulsa srazmerna je količini primarnih jona. Zato možemo sa ovim brojačem vrlo dobro razlikovati različite vrste zračenja i odrediti njihovu energiju. Kod GM brojača jačina polja na elektrodama dostiže takvu vrednost da se postigne jonizacija po celoj dužini elektrode. Zbog ovako povećane jonizacije veličina impulsa nije više srazmerna energiji zračenja. Brojimo sve zrakekoji prodiru kroz staklenu ili metalnu cev - spoljašnju elektrodu i prouzrukuju u gasu primarnu jonizaciju. Da se jonizacija u gasu prekida dodati su organski ili halogenski gasovi, pare. Ove poslednje nazivamo još i halogenske brojače. GM brojači mogu se upotrebljavati uz srazmerno jednostavnu elektroniku jer su promene električnog napona na cevi dosta velike i nije potrebno vrlo jako pojačanje. Prenosni monitori sa GM brojačima mogu biti vrlo mali, djepnog formata. Sa monitorima merimo beta i gama zračenje; za gama zračenje imaju malo izkorišćenje, oko 1%.

Ad.3.) Neki materijali pod uticajem zračenja scintiliraju. Ove materijale nazivamo scintilatore ili fosfore. Oni mogu biti tvrdi, organski, neorganski, tečni ili gasoviti. Zračenje, koje pada na ove materijale izaziva ekscitaciju njihovih atoma pošto nije dovoljno veliko da bi ih potpuno jonizovalo. Vraćanje atoma u normalno stanje izazove scintilaciju. Naime, atom odaje vidljivu svetlost koju registrujemo posebnim elektronskim cevima, nazvanim fotomultiplikatorima. Ove cevi pretvore svetlosni impuls u impuls struje.Upotrebljivost scintilacionih detektora je višestra-

DETEKCIJA I POSREDOVANJE INFORMACIJA

Janez Kristan
Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Jamova 39
Odsek za zaščito pred ionizirajočim sevanjem

Elektromagnetno i korpuskularno zračenje, koje prouzrukuje u materiji jonizaciju atoma i molekula, nazivamo zajedničkim imenom jonizujuće zračenje. Jonizujuće zračenje je sastavni deo čovekove prirode, u kojoj je hiljadu godina živeo, ne da bi bio svestan prisutnosti tog zračenja. Baš to zračenje je u velikoj meri ubrzalo njegov razvoj iz nižeg životinjskog sveta sa pojačanjem mutacije gena, nosioca naslednih osobina u ćeliji odnosno u organizmu. Sa svojim čulima čovek u početku nije mogao osetiti dejstvo jonizirajućeg zračenja. Kasnije, u vreme razvoja nauke, kada je čovek počeo posmatrati prirodne pojave bez straha, primećuje i dejstvo jonizirajućeg zračenja na materije. Iz te pojave zaključuje pravilno, da postoji neko zračenje njemu nepoznato. Tako su n.pr. Rentgen g.1895 i Bekerel godinu kasnije otkrili rentgensko i radioaktivno zračenje. Fizikalno-hemijske promene materije su još i danas osnova za detekciju zračenja.

Svi detektori koje upotrebljavamo za merenje zračenja, mere zapravo samo jonizacijske i ekscitacijske efekte, koji nastaju usled uticaja zračenja na materiju. Za detekciju i merenje zračenja upotrebljavamo sledeće metode, detektore ili dozimetre:

1.) jonizacione ćelije
2.) Gajger-Milerjeve i proporcionalne brojače
3.) Scintilacione detektore

4.) Fotografske emulzije
5.) Fotoluminiscentne i termoluminiscentne dozimetre
6.) Poluprovodničke detektore
7.) Hemijske dozimetre
8.) Kalorimetre

Ad.1.) Zato što je rentgen definisan sa električnim nabojem, koji nastaje u odredjenoj zapremini vazduha, je jonizaciona ćelija najneposrednija metoda za merenje doze. Jonizaciona ćelija ima zidove iz posebnog materijala, koji su po svojoj apsorpciji zračenja ekvivalentni vazduhu ili tkivu. Na unutrašnoj strani je prevučena sa elektroprovodljivom materijom, a u sredini se nalazi izolirovana elektroda. Punjena je sa vazduhom ili gasom pod običnim ili povišenim pritiskom. Kada stavimo ćeliju pod istosmerni napon elektrode pokupe sve jone koji su nastali u gasu, u ćeliji. Sa elektroskopom ili elektrometrom merimo promene naboja na elektrodama ili struju koju ćelija provodi. Naboj ili struja sorazmerne su dozi ili intenzitetu zračenja. Najrašireniji primer jonizacionih ćelija je djepni dozimetar ili penkalo dozimetar, sa kvarčnom nitkom i mikroskopom za samostalno odčitavanje, ili bez kvarčne nitke za odčitavanje na elektrometru. Djepni dozimetri imaju obično razpon skale od 100 mR do 50 R. Prenosni instrumenti monitori sa jonizacijskim ćelijama imaju vrlo osetljivo strujno kolo sa elektrometarskom lampom ili sa dinamičnim kondenzatorom, i pokrivaju područje od nekoliko mR/h do nekoliko sto R/h.

Ad.2.) Proporcionalni brojači imaju jednaku osnovnu konstrukciju kao jonizacione ćelije, samo da je električno polje oko centralne elektrode veće, tako da elektroni u električnom polju dobiju takvu brzinu, koja omogućuje jonizira-

nje nove molekule gasa i time prouzrukuju povećanu fluktuaciju naboja na elektrodama ili struje kroz ćeliju. Ova fluktuacija napona ili veličina električnog impulsa srazmerna je količini primarnih jona. Zato možemo sa ovim brojačem vrlo dobro razlikovati različite vrste zračenja i odrediti njihovu energiju. Kod GM brojača jačina polja na elektrodama dostiže takvu vrednost da se postigne jonizacija po celoj dužini elektrode. Zbog ovako povećane jonizacije veličina impulsa nije više srazmerna energiji zračenja. Brojimo sve zrakekoji prodiru kroz staklenu ili metalnu cev - spoljašnju elektrodu i prouzrukuju u gasu primarnu jonizaciju. Da se jonizacija u gasu prekida dodati su organski ili halogenski gasovi, pare. Ove poslednje nazivamo još i halogenske brojače. GM brojači mogu se upotrebljavati uz srazmerno jednostavnu elektroniku jer su promene električnog napona na cevi dosta velike i nije potrebno vrlo jako pojačanje. Prenosni monitori sa GM brojačima mogu biti vrlo mali, djepnog formata. Sa monitorima merimo beta i gama zračenje; za gama zračenje imaju malo izkorišćenje, oko 1%.

Ad.3.) Neki materijali pod uticajem zračenja scintiliraju. Ove materijale nazivamo scintilatore ili fosfore. Oni mogu biti tvrdi, organski, neorganski, tečni ili gasoviti. Zračenje, koje pada na ove materijale izaziva ekscitaciju njihovih atoma pošto nije dovoljno veliko da bi ih potpuno jonizovalo. Vraćanje atoma u normalno stanje izazove scintilaciju. Naime, atom odaje vidljivu svetlost koju registrujemo posebnim elektronskim cevima, nazvanim fotomultiplikatorima. Ove cevi pretvore svetlosni impuls u impuls struje.Upotrebljivost scintilacionih detektora je višestra-

na. Za detekciju alfa čestica upotrebljava se kao scintilator vrlo tanak zaklon iz mikrokristalinog ZnS. Pošto je jonizacija alfa čestica vrlo jaka, prouzrukuje na scintilatorumnogo veće impilse od beta i gama zračenja; to nam omogućava da ih medjusobno razlikujemo. Za detekciju beta zračenja upotrebljavamo fosfore iz plastičnog materijala, a za gama zračenje najraširenija je upotreba kristala NaJ, aktiviranog sa Tl. Ovi kristali su vrlo osetljivi i imaju veliko izkoriščenje za fotone, s njima možemo detektirati vrlo slabo zračenje. Za detekciju neutrona upotrebljavaju se scintilatori sa dodatkom Li ili B. Neutron reaguje sa jezgrom atoma B-10 ili Li-6 po nuklearnoj reakciji (n-alfa), zatim brojimo alfa čestice.

Ad.4.) Poznato je, da je učinak zračenja na emulziju sličan onome kod vodljive svetlosti. Stepen pocrnjenja zavisi od energije zraka i srazmeran je primljenoj dozi. Fotografski film je vrlo osetljiv za fotone sa energijom ispod 150 keV. Filme nosimo u posebnim kasetima na grudima ili u prstenima, a imaju više polja sa različitim filtrima, tako da možemo odrediti energiju zraka i izračunati dozu. Prednost filma je u tome, da nam daje trajan zapis doze bez zahtevne i komplicirane instrumentacije. Filmski dozimetar je srazmerno jeftin, odredjujemo totalnu dozu i možemo razlikovati i doze pojedinih vrsta zračenja. U našoj državi filmski dozimetri su obavezni za sve radnike sa jonizujućim zračenjima. Termičke nevtrone merimo iza kadmijevog filtra, brze nevtrone pa tako, da brojimo tragove nuklearnih reakcija u naročitim filmovima sa debljom emulzijom. Film dozimetri nisu primerni za vojne razmere, jer se mogu lako uništiti, a teško ih je razvijati pod tako vanred-

nim uslovima.

Ad.5.) Zračenje prouzrukuje u mnogom materijama promenu boje. Ova se osobina već odavno upotrebljavala za približno odredjivanje doze. U barijevom ili litijevom metafosfatnom staklu ($Li_3H_3PO_3$), koje je aktivirano sa Ag-jonima, posle ozračivanja nastaju centri (Ag-atomi), koji pod uticajem UV svetlosti fluoresciraju u vidnom delu spektra. Intenzitet ove svetlosti je merilo doze. Dozimetri su jeftini i upotrebljivi osobito za doze iznad 5 R; za merenje nižih doza traže vrlo osetljive instrumente i pažljivo pojedinačno čišćenje stakala. Fluorescentni centri u staklu se s vremenom gube na svetlosti i kod viših temperatura. Kao termoluminiscentni materijali upotrebljavaju se naročito CaF_2 i LiF. U ovim dozimetrima zračenje stvara slobodne elektrone, koji su uhvaćeni u nepravilnostima u kristalima. Kad dozimetar zagrejemo, elektroni dobivaju dovoljno energije, da se oslobode iz ovih kristalnih defekata i da se ujedine sa slobodnim mestima u kristalima, te kod toga emitiraju vidljivu svetlost. Ova se svetlost meri fotomultiplikatorom i merilo nam je za dozu. Obično se dozimetri zagreju od 7o - 2oo^{o}C, da bi odali svoju sakupljenu energiju. Sa termoluminiscentnim dozimetrima možemo odredjivati i niže doze od lo mR pa i više i dandanas se široko primenjuju u rednoj dozimetriji u mnogim nuklearnim centrima. Slabija stran ovih dozimetara jeste, da oni ne nude trajni zapis, jer se doza sa zagrijavanjem izbriše. Li-stakleni i termoluminiscentni dozimetri mere i dozu termalnih nevtrona usled reakcije nevtrona sa atomima Li-6. Zavisnost osetljivosti dozimetara od energije gama dobro je poznata, zato je potrebno u ovim dozimetrima upotrebljavati različite kom-

binacije metalnih i plastičnih filtara.

Ad.6.) Poluprovodnički materijali osobito Si, Ge i CdS imaju veliku gustinu, zato je doseg različitih vrsta zračenja vrlo malen i zračenje može da oda svu energiju u maloj zapremini brojača. Za stvaranje jonskog para potrebna je samo oko 10-puta manja energija nego kod formiranja u vazduhu. U poluprovodničkom detektoru upotrebljavana je takva kombinacija p i n tipa materijala, da u električkom polju nastaje medju njima zona, koja je praktički bez nosioca elektrike. Zračenje stvara u toj zoni nosioce struje, koji putuju ka elektrodama te tamo nastaju električni pulzi, koji su srazmerni energiji zraka. Poluprovodnički detektori se dosta upotrebljavaju za spektrometriju alfa čestica i gama zračenja jer je statistička fluktuacija jonskih parova za odredjenu energiju zraka vrlo mala. Tako dobijemo oštro odeljene energijske impulze i time veći ločljivost pojedinih vrhova i zato veliku tačnost kod odredjivanja vrste i količine jedinih izotopa.

Ad.7.) Promene u hemijskim sistemima koje je prouzrokovalo zračenje mera nam je za apsorbiranu dozu. Kod te metode u hemijski sistem dodaje se indikator, koji reaguje sa nastalim jonima i stvara novi spoj. Dozimetar sastavlja dozimetarska ampula i otopina koja ima jednu ili više (vodna i organska) faza. Kao tipičan sistem koji se upotrebljava je sistem kloroform-voda. Usled zračenja kloroform odvaja HCl, koji ide u vodnu fazu i snizuje pH otopine. Kod odredjene doze promeni se boja dodanog indikatora i dozimetar pokazuje prekoračenu dozu. Drugi sistemi, koji se upotrebljavaju jesu još i oksidacija fero u feri jon i promena boje na fotometru, redukcija metilenske-plave boje, oksidacija

cer-jona, raspad oksalne kiseline i drugi. Hemijski dozimetri su vrlo sigurni ali su upotrebljivi samo za doze više od 25 R jer su za niže doze beznačajni.

Ad.8.) Svaki apsorbirani R ili rad odaje jednom gramu materije $2,4.10^{-6}$ cal energije, koja se potroši za zagrevanje tela. Tako možemo odredjivanjem temperature tela (materije), odrediti i apsorbiranu dozu, potreban je samo uslov, da se sva energija zračenja promeni u toplinu i da se svo zračenje apsorbira u telu kome odredjujemo temperauru. Ovakvi dozimetri su apsolutna baza za baždarenje drugih instrumenata i komparacije medju eksperimentima. Kalorimetri su precizni veliki instrumenti i upotrebljavaju se samo za doze veće od 100 rada, jer je razliku temperature izpod 10^{-4} ^{o}C več vrlo teško tačno meriti. Temperaturu odredjujemo termočlanom sa potenciometrima ili sa termistorima, koji su kompenzaciono vezani u mostu.

Da bi detektore upotrebljavali i dobili iz njih potrebne informacije o zračenju potrebno je da su oni izbaždareni. Sa nekim instrumentima merimo integriranu dozu, sa drugima intenzitet doze, brzinu doze. Instrumenti su obično baždareni u R ili mR ili R/h ili mR/h. Ove vrednosti tačne su naime samo za ovu vrstu zračenja sa kojom je bio instrument baždaren, za druge vrste zračenja moramo upotrebljavati korekcione faktore, koji zavise od vrste energije zračenja. Neki instrumenti nam pokazivaju samo broj impulza (otkucaja) u sekundi ili minuti. Ako želimo ove vrednosti promeniti u R/h ili mR/h moramo poznati efikasnost brojača i energiju zračenja. Zato su takvi brojači samo za više ili manje kvalitativno odredjivanje prisutnosti zračenja. Upotrebljj-

vost instrumenata ograničena je prirodnim fonom i tačnošću instrumenata sa kazaljkom. Kod prirodnog fona cca. o,ol mR/h nam nezaštićeni GM brojači pokazuju cca. 5o - - loo imp/min, scintilacioni brojači pa looo - 5ooo imp/h. Iz toga zaključujemo da možemo sigurno odredjivati promene intenzitete doza samo nad o,o5 mR/h. Usled mehaničke konstrukcije instrumenata sa kazaljkom, slabe izolacije u ćelijama i provodnicama, te statističke prirode radioaktivnosti tačnost instrumenata za odredjivanje zračenja retko da je bolja od 5%. U većini slučajeva ona se kreće izmedju lo i 2o% kod dobrih instrumenata. U mirnodobskoj upotrebi atomske energije za radiološku zaštitu izradjuju se odgovarajući instrumenti za svaki poseban primer. Posto su maksimalno dozvoljene doze zakonom odredjene za zaštitu od spoljašnjeg zračenja naročito je važno područje od o,l R/h do l R/h.

Za radioaktivnost hrane, vode i vazduha zakon često dozvoljava samo take male radioaktivnosti (do lo^{-lo} mCi/ml), da su te mnogo niže od prirodnog fona i da jih je nemoguće meriti sa običnim instrumentima. Za te primere upotrebljavamo instrumente sa jakim olovnim ili železnim oklopom ili sa posebnom antikoincidentnom vezom pojedinih detektora. Kod izvanrednihi akcidentalnih uslova razmere su drgčije.

Vanredni uslovi nastupaju tada, kada vanjsko zračenje poraste do takve mere da može naneti štetu ljudima ili da se oslobode u okolini takve količine radioaktivne materije, koje mogu kontaminirati ljude, hranu, vodu i vazduh. Spektar ovih vanrednih uslova je vrlo širok, od jednostavnog polivanja ili raztrosa radioaktivnog izotopa na radnom mestu, oštećenje embalaže tokom transporta, ispust razhlad-

nih medija kod reaktora, akcidenti sa nadkritičnim reaktorima, do eksplozije atomnih oružja.

U vanrednim uslovima ne tražimo od instrumenata za detekciju neke velike tačnosti, nego veliku sigurnost u djelovanju i brzu spremnost za rad. Kod raztrosa radioaktivne materije moramo prvo ustanoviti koja vrsta zračenja dolazi u obzir. Za detekciju beta i gama emitera upotrebljavali bi GM brojače, a scintilacijske instrumente za alfa emitere. Propisi predvidjaju, da se moraju radne površine kontaminirati do 10^{-4} $\mu Ci/cm^2$, što možemo još dobro ustanoviti prenosnim GM instrumentima. Kod većih intenziteta vanjskog zračenja nam instrumenti sa GM brojačima ne koriste mnogo. Sa njima su moguće i sudbonosne greške, jer tada brojač kontinuirano provodi struju, zasiti elektronsko kolo, tako da instrument ostaje na nuli ili pokaže minimalna zračenja. Za merenje velikih doza moramo upotrebljavati instrumente sa jonizacionim ćelijama, koji su obično vrlo sigurni.

Kod svih nuklearnih uredjaja, gde postoji veća mogućnost akcidenata nuklearnim materijalima, mora postojati nekakav sistem koji nas upozorava na akcidenat ili ispuštanje radioaktivnih izotopa u okolinu. Kad smo od tog sistema primili izveštaj, da se akcidenat desio, moramo našim merenjima ustanoviti:

1. količinu i vrstu izotopa ili količinu izvora i jačinu vanjske radiacije, koja ugrožava okolinu;
2. lokalizaciju akcidenata s obzirom na dimenzije (prostiranje) i broj ljudi i opreme koji su ugroženi ili kontaminirani;
3. smerove i mehanizme nadaljneg širenja radionuklida u

okolinu;

4. stepen i obim definitivne kontaminacije okoline.

Da dobijemo ove podatke moramo izvršiti prva merenja ili izvidjanja i više kontrolnih merenja. Osoblje ili ekipe, koje vrše merenja moraju biti pored zaštitne opreme snabdevene i ličnim dozimetrima. Predvidjeti je potrebno takav način rada, da članovi ekipa dobiju što manje doze a nikako više od 25 R, što je predpisano zakonom. Zato je potrebno intenzitet doze stalno meriti i izračunavati ukupno dozu članova ekipa ili često kontrolirati lične dozimetre pa jih prema potrebi menjati. Pored penkalo dozimetara za opremu ekipa vrlo su korisni lični, djepni monitori sa GM brojačima i akustičnim alarmom, signalom kad brzina doze predje odredjen nivo, n.pr. 1o - 2o mR/h.

Odlučujuči faktor za početak kontrole akcidenata je brzo reagovanje. Prva direktna merenja gama zračenja ili ukupnog beta zračenja moraju nam dati podatke o obimu akcidenata. Na osnovu tih podataka, koji ne treba da budu vrlo precizni, potrebno je zaključiti o potrebi pokretanja akcije spasavanja. Radi srazmerno brzog prostiranja radioaktivnih aerosola ili gasova u okolinu, potrebno je odmah pokrenuti akciju i ustanoviti stepen opasnosti kod inhalacije ili vanjskog ozračivanja iz radioaktivnog oblaka. Kod kratkotrajnih pojedinih emisija radioaktivnosti, nije moguće zaštititi ljude iz okoline. Kad se vrši dugotrajno izpuštanje mogu se sprovesti mere zaštite kako n.pr. evakuaciju ili zabrana napuštanja domova. Ekipe koje su obično snabdevane samo sa prenosnim GM monitorima, moraju u takvim slučajevima imati prenosne instrumente sa protočnim jonizacionim ćelijama ili merače aerosola. Merenja je potrebno

obaviti u pravcu vjetra, niže od mesta izpuštanja.

Kontaminirana površina može da bude vrlo različita, od nekoliko m^2 kod malih laboratorijskih ili transportnih akcidenata, do nekoliko km^2 kod akcidenata u nuklearnim postrojenjima. Sa prvim merenjima potrebno je samo približno ustanoviti granice kontaminiranih područja. Većina radioaktivnih materija koja bi mogla prouzrokovati ozbiljan akcident spada u grupu fisionih produkata, zato je dovoljno, da se kontaminacija meri običnim GM brojačima. Ipak je potrebno kod akcidenta u medicinskim ustanovama obratiti pažnju na mogućnost da je posredi i alfa kontaminacija, koja izvire od oštećenih radijskih aplikatora (Ra-226). Kod alfa kontaminacije potrebno je dobro paziti da se ova kontaminacija ne širi dalje i za detekciju upotrebljavati alfa scintilacione brojače.

Druga kontrolna merenja sprovodimo zato, da ustanovimo da li su bile mere zaštite dovoljne ili pretirane i da izvršimo korekciju u tom smislu. U toj fazi meri se i eventualna kontaminacija pitke vode, hrane i agrokulturnih produkata. Potrebno je posebno pratiti kretanje akcidenata kod reaktorskih izotopa J-131 u travi i mleku. Kod uzimanja uzorka za merenje u laboratoriju treba paziti na ambalažu, da uzorci ne gube radioaktivnosti i da se još više ne kontaminiraju.

Kod daljih ili konačnih kontrolnih merenja potrebno je ustanoviti, koliko su radioaktivnosti primile u sebe osobe, koje su bile zahvaćene akcidentom. Sa merenjem radioaktivnosti u urinu ili drugim specialnim merenjima možemo pratiti opterećenost kontrolnih grupa ljudi.

Merenje kontaminacije zračenja kao posledice eksplozije atomskih oružja nije teško sprovoditi, jer se radi o velikim dozama. Osvrnimo se samo na nekoliko tačaka:

1. Odlučujuće za život je vanjsko zračenje, koje potiče od kontaminiranog zemljišta i to baš prvi časovi posle eksplozije. U tom periodu nije moguće mnogo meriti van skloništa.
2. U skloništima je potrebno pronaći mesta sa najmanjom radiacijom i tamo se zadržavati.
3. Za sigurnu zaštitu na nekom području od velike važnosti je, da se razpolaže velikim brojem gama brojača, koje mogu upotrebljavati i neobučene osobe.
4. Kontaminacija vode i hrane je i u slučaju jakog radioaktivnog taloga srazmerno mala, ali gde ona postoji, moguće ju je detektirati i sa brojačima koji nisu vrlo osetljivi.
5. U dužem periodu posle eksplozije potrebna je laboratorijska kontrola celokupne hrane zagadjene radioaktivnim materijama.
6. Masovna snabdevenost ljudi sa ličnim dozimetrima vrlo je važna jer je podatak o ukupno primljenoj dozi potreban lekaru i za kasniju normalizaciju života posle nesreće. Tako se mogu odrediti ljudi, koji su još sposobni za rad na razčiščavanju i uklanjanju posledica napada.

Nr / 14

PROBLEMI FORMIRANJA MERNE MREŽE RADIOLOŠKE ZAŠTITE ZA AKCIDENTALNE USLOVE

A. Koturović, S. Muždeka, B. Stamenković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

PROBLEMI FORMIRANJA MERNE MREŽE RADIOLOŠKE ZAŠTITE ZA AKCIDENTALNE USLOVE

A.Koturović, S.Muždeka, B.Stamenković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Nr/14

UVOD

Pod mernom mrežom, koja će biti predmet razmatranja ovog rada podrazumeva se skup mesta u kojima se vrše merenja odredjene vrste - mernih mesta, centar u koji se informacije dobijene merenjem u mernim mestima šalju - merni centar, i sistem veza koji se obezbedjuje potreban prenos informacija. Na sl.1 u datoj mernoj mreži merna mesta su označena sa 2,3...n, dok merni centar nosi oznaku "1", i to su oznake koje će se i nadalje u radu koristiti.

Dva elementa u potpunosti karakterišu mernu mrežu kao komunikacioni medijum : to je količina informacija koju iz nekog odredjenog mernog mesta treba preneti u merni centar - kapacitet prenosa t_{i1} (i=2,3...n), i sa druge strane kapaciteti pojedinih veza, grana mreže, tzv. kapacitati grana b_{ij} (i,j=1,2,...n). Kada se poštuje skup pravila, moguće je mernu mrežu posmatrati kao posebnu vrstu komunikacionih mreža (Ref.1). Tada je moguće primeniti ono što važi za komunikacione mreže i koristiti iste elemente i pravila (Ref.2). Tako, tablično sredjeni podaci o potrebnim ili mogućim kapacitetima prenosa jedne mreže, a u vidu matrice

$$T = \left[t_{ij} \right] \quad i,j = 1,2,...n \qquad ...(1)$$

daju T-matricu, ili matricu kapaciteta prenosa.

Na isti način sredjeni podaci o kapacitetima grana, u vidu matrice :

$$B = \left[b_{ij} \right] \quad i,j = 1,2,...n \qquad ...(2)$$

daju B-matricu, ili matricu kapaciteta grana.

T-matrica daje opštiji prikaz mreže, nezavistan od toga kako je mreža formirana, tj. nezavistan od njene strukture. Zbog toga jednoj T-matrici može odgovarati više mreža različite strukture. B-matrica, naprotiv, daje tačnu strukturu merne mreže i uvek samo jedna mreža odgovara jednoj B-matrici.

Uočava se još jedan element koji može da bude važan za mreže : to su rastojanja pojedinih mernih mesta od mernog centra i izmedju njih. Ta rastojanja, takodje, mogu biti sredjena u vidu matrice :

$$L = \left[l_{ij}\right] \quad i,j = 1,2,\ldots n \qquad \ldots(3)$$

čime se dobija L-matrica, tj. matrica rastojanja.

Jasno je da jedna mreža na gore iznet način može da pretstavlja mernu mrežu radiološke zaštite. Pri tome se u mernim mestima obavljaju merenja koja omogućavaju uvid u parametre bitne za radiološku zaštitu. Kako će ta mreža izgledati zavisi od skupa uslova koji se mreži postavljaju. Poseban predmet razmatranja ovoga rada jesu akcidentalni uslovi. Potrebno je najpre njih definisati.

Akcidentalni uslovi za merne mreže radiološke zaštite bi mogli da označavaju nekontrolisanu situaciju nastalu u delu oblasti koju merna mreža prekriva. Pri tome se pod akcidentalnom situacijom podrazumeva situacija koju definišu veličine skupa merenih parametara, koje su takve da čine stanje koje je unapred označeno kao akcidentalno, ili je to uopšte neka situacija nastala u mernoj mreži ili oblasti koju merna mreža kontroliše, a koja je takodje unapred definisana kao akcidentalna, jer ugrožava ljude ili objekte u posmatranoj ili susednim oblastima a preko radioaktivnog zračenja.

Prirodno je da akcidentalna situacija najpre označava situaciju nastalu nuklearnom eksplozijom - slučajnom ili namernom. Zatim to može da bude nailazak oblaka radioaktivne prašine velikog inteziteta zračenja a koji može da nastane na pr. zbog nuklearne eksplozije van oblasti posmatrane merne mreže, ili njegova pojava može namerno ili slučajno na neki drugi način da bude izazvana nad posmatranom teritorijom. Tu svakako mogu doći u obzir i eventualne havarije velikih nuklearnih postrojenja, pad aviona sa nuklearnim bombama, pad satelita sa nuklearnim tovarom, havarije u transportu radioaktivnog materijala ili sl., što sve može da ugrozi manja ili veća područja. Nije teško zaključiti da sve situacije neće imati podjednaku ozbiljnost te se prema tome može vršiti podela akcidentalnih situacija i na osnovu toga (Ref.3).

Medjutim, akcidentalni uslovi mogu nastati i u manjim lokalitetima, kao što mogu da budu sve vrste nuklearnih postrojenja, specijalnih laboratorija i sl. Pri tome akcidentalna situacija može da bude ograničena na deo prostorija ili da obuhvata ceo objekat koji kontroliše merna mreža.

Treba posebno uočiti da akcidentalni uslovi mogu da nastanu i kao sekundarna posledica prirodnih, elementarnih nesreća, na pr. zemljotresa.

Izneta razmatranja pokazuju da uzroci akcidentalnih situacija mogu da budu raznovrsni, ali je zajedničko za sve to da se tada merni sistem, tj. merna mreža, nalazi u uslovima različitim od normalnih, a zbog situacije koja je nekontrolisano nastala.

U zavisnosti od uzroka ti uslovi mogu biti različiti i ustvari oni su osnovni element koji će odredjivati kako treba da izgleda mreža koja će u takvim, unapred definisanim uslovima, da funkcioniše na unapred propisan, a zadovoljavajući način.

PREGLED AKCIDENTALNIH SITUACIJA I USLOVA

Akcidentalna situacija može osim toga što izmeni odredjene merene parametre ili stanja, da dovede i do promena na mernoj mreži - razaranja pojedinih mernih mesta ili veza u mreži. Iz ovoga sledi da se mogu razlikovati u osnovi dve vrste akcidentalnih situacija - posmatrano sa strane mreža - akcidentalne situacije pri kojima dolazi do razaranja delova merne mreže, i akcidentalne situacije pri kojima razaranja nema. Ova kvalifikacija akcidentalne situacije je bitna pošto daje vrlo važan uslov u formiranju mreže koja treba u takvim situacijama da se koristi.

Uslov koji se može nametnuti mernim mrežama radiološke zaštite u akcidentalnim situacijama može da se odnosi na strukturu koju mreža treba da dobije pri nastanku akcidentalne situacije. Uočavaju se tri osnovne mogućnosti : u odredjenoj zoni kontrolisane oblasti povećava se broj mernih mesta, zatim se može uopšte povećavati broj mernih mesta i kao treća mogućnost se javlja zahtev da se u akcidentalnoj situaciji smanji broj mesta u kojima se vrši merenje ali da se tada podaci dobija na pr. sa velikom, ili bar povećanom pouzdanošću.

U prvom slučaju, kada se u odredjenoj zoni kontrolisane oblasti povečava broj mernih mesta, to omogućava da se dobije detaljnija slika situacije na mestu akcidenta i u njegovoj široj okolini, a time i slika o strukturi akcidenta. Slično je i u slučaju kada se predvidja uopšte povećanje broja mernih mesta u celoj kontrolisanoj oblasti Ispunjavanje toga uslova omogućavalo bi da se veoma detaljno prati razvoj akcidentalne situacije i na osnovu toga razvoja da se vrši eventualno i prognoziranje , koje bi posebno interesantno bilo za slučaj praćenja radioaktivnih oblaka.

U zadnjem navedenom uslovu se ne ide na veću informisanost, jer se smanjuje broj mernih mesta, ali se predvidja povećanje po-

uzdanosti rada merne mreže. Time je obezbedjeno da se iz mernih mesta dobijaju potrebni podaci bez obzira na moguće smetnje koje bi mogle nastati kao sekundarna pojava, kao posledica osnovnih akcidentalnih situacija. Na taj način bi se dobijala jednostavnija ali pouzdana slika situacije i njenog razvoja.

Treba uočiti da je za gore navedene uslove zajedničko to što predvidjaju u akcidentalnim situacijama promenu strukture mreže, i to je bitna karakteristika koja ih povezuje

U akcidentalnoj situaciji može sepostaviti zahtev da se izmeni količina informacija koja se iz mernih mesta šalje u merni centar. Svakako, zahtev za promenom može biti dvojak : da se uvećava količina informacija koja je potrebna ili da se umanjuje količina informacija koja se traži. Zahtev za povećanom količinom informacija iz mernih mesta može biti praćen već razmatranim zahtevom da se povećava broj mernih mesta, ili da se umanjuje. Zahtev za povećanom količinom informacija koja se sa nekog mernog mesta upućuje u merni centar, može da znači najpre da se merenje istih parametara obavlja sa većom učestanošću da bi se zbog akcidentalne situacije bilo u toku sa promenama stanja, čija dinamika je najčešće tada uvećana.

Medjutim, potreba za povećanom količinom informacija može da proističe iz zahteva da se u akcidentalnoj situaciji prati više parametara na mernom mestu. To može da bude na pr. pravac i brzina vetra za slučaj nailaska radioaktivnog oblaka, a normalno ti elementi za radiološku zaštitu nisu posebno interesantni niti neophodno potrebni.

Veća količina informacija može da bude potrebna i u slučaju kada se smanji broj mernih mesta, jer se pri tome iz preostalih mernih mesta može potraživati bogatiji izveštaj o stanju na mernom mestu.

Zahtev da se dobija manja količina informacija u akcidentalnim uslovima može da izgleda čudno, ali je opravdan kada se uzme u obzir da se time može povećati pouzdanost prijema potrebnih informacija, jer bi se time informacije svodile na suštinske i zbog manje količine tražile jednostavniji sistem, mrežu prenosa pa time i pouzdaniju.

FORMIRANJE MERNE MREŽE

Sada kada su poznate moguće akcidentalne situacije i uslovi koji se mogu postavljati, mogu da se iznesu i problemi formiranja merne mreže koja bi ispunjavala postavljene zahteve.

Merna mreža treba da ispunjava dva osnovna zahteva : da obezbedi traženi i potreban prenos predvidjene količine informacija sa jedne strane, i sa druge strane da zadovolji zahteve u pogledu pouzdanosti, promene strukture ili sl. koji se još mogu postaviti.

Ovo pokazuje i koji su polazni elementi za formiranje merne mreže: traženi kapaciteti prenosa, tj. T-matrica, i dodatni uslov za funkcionalnu karakteristiku mreže. Ustvari ti dodatni uslovi bitno utiču na metod sinteze merne mreže i time i na rezultat sinteze, tako da će oni i odredjivati podelu metoda sinteze.

Ovde će se ponovo istaći da se za razmatranje mernih mreža mogu koristiti postupci koji važe za komunikacione mreže, to znači da se mogu koristiti i postupci sinteze (Ref.1). Za komunikacione mreže postoji niz postupaka koji obezbedjuju da se polazeći od date T-matrice dobije potrebna mreža koja će ispunjavati osnovni zahtev o prenosu potrebne količine informacija (Ref.2,4). Uz to su razvijene i metode koje omogućavaju i dobijanje odredjene optimalne karakteristike mreže čija sinteza se izvrši (Ref.2,4,5,6,7).

Svakako, ovde se ove metode neće iznositi, već se samo prihvataju kao moguće za korišćenje.

Mreže promenljivog kapaciteta, stalnog broja n

Kako je već rečeno, T-matrica mreže sa mernim centrom i n-1 mernim mestom je simetrična matrica n-tog reda :

$$T = \left[t_{ij} \right] \quad i,j = 1,2,\ldots n \qquad \ldots(4)$$

Za slučaj koji se ovde posmatra, red matrice ostaje nepromenjen, jer je nepromenljiv broj mernih mesta n . Medjutim, za svaku od predvidjenih situacija u kojima može da se nadje tražena mreža, menjaju se vrednosti elemenata T-matrice, a pri tome sa smatra da su promene diskretne, i za svaku situaciju definisana je odredjena matrica kapaciteta prenosa T_k.

Polazeći od date T_k-matrice za svaku, k-tu situaciju moglo bi se naći rešenje merne mreže. Medjutim ono što je potrebno to je naći opšte, zajedničko, rešenje koje će zadovoljavati u svim predvidjenim situacijama.

Moguć postupak za sintezu potrebne mreže zasniva se na standardnom postupku sinteze mernih mreža, samo što je prethodno potrebno formirati posebnu T-matricu. Da bi se ta matrica dobila polazi se od svuh datih matrica T_k, k=1,2,...p, i formira se nova zajednička T-matrica, T_m, koja se sastoji od elemenata t_{ijm} koji su dobijeni tako što su uzete vrednosti :

$$t_{ijm} = \max(t_{ij1}, t_{ij2}, \ldots t_{ijk} \ldots t_{ijp}) \qquad \ldots(5)$$
$$i,j = 1,2,\ldots n$$

Pri tome se u formiranju matrice moraju, razumljivo, poštovati potrebna pravila modifikacije mernih mreža.

Na ovaj način dobijena matrica T_m može se realizovati, a

očigledno je da će realizovana mreža zadovoljavati svaku od predvidjenih situacija, pošto je ona dimenzionisana za maksimalne kapacitete prenosa.

Mreže promenljivog broja n. stalnih kapaciteta

U zavisnosti od toga da li se predviđa u akcidentalnoj situaciji povećanje ili smanjenje broja mernih mesta problem se može posmatrati kao problem prelaska sa mreže minimalne strukture na mrežu složenije strukture, ili obrnuto : kao prelazak sa mreže maksimalne strukture na mrežu minimalne strukture.

Treba uočiti da se pri tome koriste za prenos informacija, iako ne daju informacije, i merna mesta koja se u vreme akcidentalnih situacija isključuju ili uključuju, tj. ta merna mesta i veze sa njima ne bivaju razoreni. Kada se to uoči, postupak sinteze je tada jednostavan.

Formira se maksimalna T-matrica, T_m, koja obuhvata sva merna mesta za koja se predvidja da će uopšte funkcionisati, u normalnim ili akcidentalnim uslovima, i koja sadrži sve količine informacija čiji prenos treba obezbediti.

Sa takvom polaznom T-matricom bi se mogla izvršiti standardna sinteza mreže i dobiti mreža koja bi funkcionisala i pri minimalnom i pri maksimalnom zahtevu, kao i u medjusituacijama, pošto je dimenzionisana za maksimalne uslove.

Mreže promenljivog i kapaciteta i broja n

Kombinacija prethodna dva slučaja bila bi da se postavlja zahtev da se u mreži pri prelasku iz normalne u akcidentalnu situaciju menja i broj mernih mesta i količina informacija koju treba u merni centar prenositi.

I ovde se može u sintezi potrebne merne mreže ići na maksimalno rešenje. Formirala bi se T-matrica koja bi obuhvatala sva merna mesta koja se predvidjaju da budu korišćena a pri tome bi

bili uzeti maksimalni kapaciteti prenosa koji se uz pojedina merna mesta pojavljuju uopšte.

Na predloženi način bi se sintezom matrice T dobila "maksimalna" mreža, koja bi mogla da zadovolji najtežu kombinaciju: da funkcionišu sva merna mesta i da se pri tome traži prenos maksimalnih predvidjenih količina informacija. Ovo znači da bi mreža sigurno zadovoljavala i druge režime rada koji su manje teški.

Problem koji bi se mogao uočiti i u prethodna dva slučaja formiranja mreža, a posebno u ovom trećem, jeste uvodjenje dodatnih kriterijuma u sintezi mreža, a ne samo posmatranje osnovnih funkcionalnih zahteva. Ti dodatni kriterijumi bi činili da se postupkom sinteze dobije mreža koja bi ne samo funkcionisala kako se zahteva, već koja bi bila i optimalna po izabranom kriterijumu. U razvijenimmetodama sinteze mreža taj kriterijum su na pr. ukupan kapacitet grana koje čine traženu mrežu, zatim ukupna dužina linija veze (korišćenje L-matrice) itd. Koji bi bili ti dodatni kriterijumi u slučaju mernih mreža radiološke zaštite, a posebno kako bi se formirao postupak sinteze koji be obezbedjivao rešenje optimalno po izabranom kriterijumu su problemi koji bi trebali da budu predmet daljih proučavanja.

Mreže povećane pouzdanosti

Merna mreža koja za radiološku zaštitu može da bude posebno interesantna je mreža povećane pouzdanosti. U takvoj mreži se očekuje da ona nastavlja da funkcioniše i ako joj je jedno ili više mernih mesta ili veza razoreno, tj. preostali deo mreže nastavlja da ispunjava svoju osnovnu funkciju.

Za akcidentalne situacije u kojima se predvidja razaranje merne mreže ove vrste su jedine prihvatljive kao mreže koje bi se mogle koristiti. Pošto su mreže ove vrste posebno interesantne za

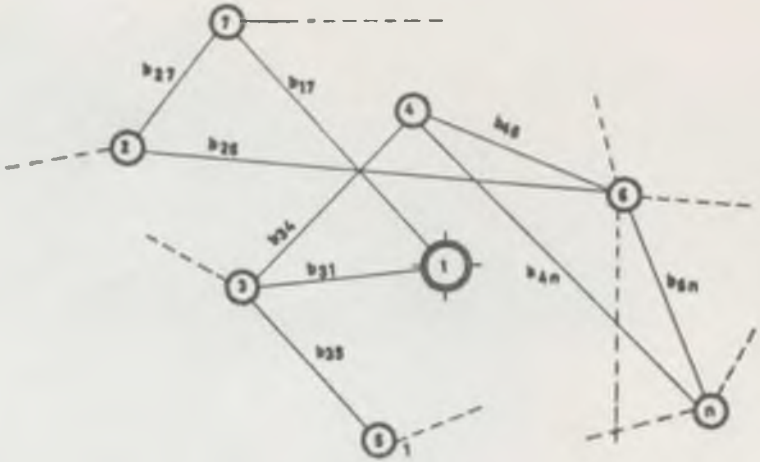
6. R.T.Chien
SYNTHESIS OF A COMMUNICATION NET
IBM Journal, July 1960, str.311-320

7. R.C.Prim
SHORTEST CONNECTION NETWORKS
The Bell Syst.Techn.Journal, Nov.1967,str.1389-401

8. H.Frank
VULNERABILITY OF COMMUNICATION NETWORKS
IEEE Trans. on Comm.Techn., v.COM-15,
Dec.1967, str.778-789

9. F.T.Boesch and R.E.Thoams
OPTIMAL DAMAGE RESISTANT NETS
Proc. IEEE Internatl.Conf.on Comm.,v. 4,
str. 688-693, 1968

10. K.Steiglitz,P.Weiner and D.J.Kleitman
THE DESIGN OF MINIMUM-COST SURVIVABLE NETWORKS
IEEE Trans. on Circuit Theory,v. CT-16,No.4
Nov. 1969, str.455-460



SL. 1

NEKI PROBLEMI RADIJACIONE KONTROLE TERITORIJE U RATU

Obrknežević S., Tanasković S.

Viša škola za civilnu odbranu - Z e m u n

U v o d

Radijaciona kontrola teritorije treba da predstavlja jedinstveni sistem potpune i sistematske kontrole sa osnovnim ciljem da se otkrije radijaciona opasnost, utvrde parametri za procenu verovatnih posledica i prati prenošenje kontaminacije preko atmosfere i vodenih tokova i njeno ponašanje u vazduhu, na zemljištu, objektima, hrani i vodi.

Radijaciona kontrola će postići cilj ako se sprovodi neprekidno, ako obezbedi pravovremeno otkrivanje opasnosti i ako verodostojne podatke brzo i sigurno dostavi zainteresovanima.

Ovako postavljen cilj zahteva da se pri organizaciji radijacione kontrole zahvati nekoliko bitnih komponenti, kao što su:

- Osmatranje i izvidjanje rejona, objekata, pravaca i zona koje mogu biti ili su već zahvaćene kontaminacijom;

- Prognoza i praćenje kretanja radioaktivnog oblaka i ponašanje kontaminanta posle taloženja;

- Kontrola vode za piće i ljudske i stočne hrane koja je zahvaćena kontaminacijom;

- Dozimetrijska kontrola ozračenosti stanovništva, a po mogućstvu i stočnog fonda;

- Kontrola izvršene dekontaminacije.

Zbog raznovrsnosti sadržaja kontrole nužno je da u njenoj realizaciji učestvuju kako stručne institucije koje su profesionalno zainteresovane za kontrolu, tako i ustanove, organizacije i službe čija bi delatnost bila posebno ugrožena u slučaju radijacione kontaminacije.

Navešćemo samo neke, po našem mišljenju najkarakterističnije primere.

Hidrometeorološka služba sa svojom meteorološkom, hidrometeorološkom i agrometeorološkom funkcijom prati vremensku situaciju, kontroliše sve značajnije vodene tokove i površine, prati fenološku situaciju i daje odredjene prognoze. Zahvaljujući solidnoj organizaciji i brojnim stručnim kadrovima, ona bi u saradnji sa ustanovama vodoprivrede i poljoprivrede mogla da bude nosilac u prognoziranju radijacione kontaminacije.

Zdravstvena služba može da učestvuje neposredno u kontroli preko higijensko-epidemioloških ustanova i sanitarnih inspekcija koje su nosioci kontrole ljudske hrane i vode za piće i ovlaštene su da odobravaju njihovo korišćenje. Ova služba će i posredno učestvovati u kontroli ako obezbedi detekciju u svojim ustanovama, prvenstveno u bolnicama i hirurškim stanicama - ekipama.

Farmaceutska služba kontrolom lekova u proizzvodnji i prometu može da da veliki doprinos u radijacionoj kontroli.

Uloga veterinarske službe je slična ulozi zdravstvene službe u odnosu na stočni fond. Ona ima poseban značaj u kontroli namirnica životinjskog porekla i mesta za klanje stoke.

Velika poljoprivredna dobra, poljoprivredno-industrijski kombinati i svi značajniji proizvodjači prehrambenih proizvoda i napitaka treba da kontrolišu svoje proizvode. Slično je i sa većim trgovačkim preduzećima koja posluju sa artiklima ishrane ili imaju skladišta ovih proizvoda.

Saobraćajna preduzeća za drumski, železnički, rečni i pomorski transport moraće da funkcionišu bez obzira na situaciju. Njihova vozila kretaće se po jačoj ili slabijoj kontaminaciji koju neće moći uvek da izbegnu. Obezbedjujući kontrolu svojih ljudi, ova preduzeća će znatno doprineti i opštoj radijacionoj kontroli.

Milicija će u vanrednim uslovima imati veću funkciju i treba da bude osposobljena i opremljena za delovanje u svim situacijama. Poseban značaj imaće saobraćajna milicija koja će kontrolisati komunikacije i učestvovati u sprovodjenju kontrolno-zaštitne službe.

Jedinice teritorijalne odbrane i civilne zaštite učestvovaće u kontroli kroz sprovodjenje sopstvene zaštite ili kao specijalno pripremane jedinice za izvršavanje specijalnih zadataka.

Stručne ustanove koje se profesionalno bave izučavanjem radioaktivnosti, kao što su istraživačke i slične institucije, koje bi verovatno nastavile sa ovom delatnošću a ukazivaće i

stručnu pomoć ustanovama, službama, jedinicama i svim onim delatnostima koje budu uključene u kontrolu teritorije.

Samo ovih nekoliko primera ukazuje na neophodnost masovnog učešća u radijacionoj kontroli, ali i na konglomerat delatnosti i institucija od kojih svaka ima znatnu samostalnost i specifičnu zainteresovanost. Sa druge strane, zbog potrebe za brzim sagledavanjem celokupne situacije i usmeravanjem najvećih mogućnosti prema najviše ugroženim rejonima nužno je da se obezbedi jedinstveno mesto dostavljanja podataka i izveštaja, što zahteva maksimalni stepen centralizacije. Ove dve suprotnosti stvaraju odredjene probleme i nameću posebne napore organizaciji.

Kada je reč o organizaciji treba napomenuti da mnoga pitanja iz ove oblasti kod nas još nisu rešena i da su neki problemi koje ćemo izneti upravo posledica takvog stanja.

Naime, u našoj organizaciji dovoljno je razradjen deo sistema kontrole od federacije do opštine, ali je opština ostala nedovoljno razradjena. Mi smatramo da je u ratu opština baza i za radijacionu kontrolu, kao i za sve druge delatnosti, i da je treba detaljno razraditi, i to tako da se sve službe i organizacije povežu sa centrom za izvidjanje, obaveštavanje i uzbunjivanje neposredno ili preko njegovih osmatračkih stanica. Na ovaj način stecište svih podataka o radijacionoj situaciji u opštini bio bi centar odakle bi se isti dostavljali zainteresovanim po potrebi.

Ovo uvodno izlaganje o verovatno već poznatoj materiji treba da služi kao platforma za lakše i kraće iznošenje

problema na koje želimo da ukažemo. Zahvatićemo neka pitanja iz četiri oblasti: prognoziranje radijacione kontaminacije, praćenje kretanja kontaminacije i obaveštavanje stanovništva, kontrola životne sredine u kontaminiranim naseljima i sredstva detekcije i dozimetrije.

1.- Neki problemi prognoziranja radijacione kontaminacije.

Danas se u nas za prognoziranje zona radijacione kontaminacije koristi metoda elipse, i to za prognoziranje kontaminacije koja je opasna kao spoljnje ozračivanje. Ovako prognozirana kontaminacija deli se na zone opasne, jake i umerene kontaminacije, čija je spoljnja granica označena intenzitetom od 8 r/č na 1 sat posle eksplozije i dozom od 4o r za sve vreme trajanja kontaminacije. Ova metoda je dosta gruba, što se može tolerisati pošto se od prognoze i ne očekuje apsolutna tačnost, ali je i nepotpuna, jer ne zahvata i one intenzitete zračenja koji su opasni ako se kontaminant unese u organizam.

U našim prognozama ćemo imati znatno većih grešaka, bez obzira na metodu, zbog dejstvujućih meteoroloških faktora. Naime, kod prognoza zona kontaminacije od meteoroloških faktora uzima se samo srednji vetar po pravcu i brzini koji se dobija kao srednja vrednost vetrova na raznim visinama od radioaktivnog oblaka do površine zemlje. Pri ovome se zona kontaminacije izvlači kao prava "cigara" iako njena dužina može da iznosi više desetina i stotina kilometara, na kome putu radioaktivni oblak može da naidje na znatne promene u atmosferi, što je naročito karakteristično za našu zemlju u koju prodiru vazdušne mase sa raznih strana

i koja ima više klimatskih oblasti i veoma karakteristično zemljište koje utiče na promenu u atmosferi. Isto tako u prognozama se zanemaruju i karakteristične situacije u atmosferi koje imaju regionalni ili lokalni značaj, kao što su: vertikalna strujanja, prostori razredjenog vazduha, stvarni uticaj atmosferskih oblaka i drugo.

Nemamo odredjene hidrometeorološke situacije pojedinih područja sa aspekta radijacione prognoze. Smatramo da je ovakva obrada neophodna i to sa prosečnim stanjem po mesecima, a po mogućstvu i po dekadama za period od više godina. Ovo nije potrebno samo radi tačnije prognoze lokalnog značaja, već i za lakše donošenje prognoza šireg značaja u situacijama kada se ne mogu dobiti podaci od pojedinih ili od većine susednih zemalja, što će u ratu biti sasvim normalno.

U sastav stanica i grupa za analizu nuklearnih udara i procenu radijacione situacije ili nema hidrometeorologa ili su to pojedinci dok služba do sada nije bila angažovana. Mislimo da je neophodno da se u prognozi i praćenju kontaminacije angažuje hidrometeorološka služba sa svim svojim delatnostima koje su po prirodi zadataka normalno vezane i za ovu funkciju /pre svega meteorološke i sinoptičke stanice/, i to kao nosilac poslova prognoze koji će saradjivati sa odredjenim ustanovama i službama.

Zbog ovakve situacije u prognoziranju morala bi da se daje uzbuna za znatno veća područja od onih koja bi stvarno bila zahvaćena kontaminacijom, što privremeno izvlači iz proizvodnje nepotrebno veći broj ljudi ili da se prihvati svesni rizik,

a u svakom slučaju da se znatno veća pažnja posveti neposrednom praćenju kontaminacije.

2.- Neki problemi praćenja kretanja kontaminacije i obaveštavanja stanovništva.

Kretanje radioaktivnih oblaka i kontaminacije u sadašnjoj organizaciji i opremljenosti treba da prate centri za izvidjanje, obaveštavanje i uzbunjivanje preko svojih osmatračkih stanica i delom jedinice civilne zaštite. Iako je ovakav način praćenja dobar broj učesnika u ratu moraće da se poveća pored ostalog i zbog nesigurne prognoze.

Mišljenja smo da u ovaj zadatak treba uključiti sve institucije koje su navedene u uvodnom izlaganju, a da težište uz osmatračke stanice i jedinice civilne zaštite bude na hidrometeorološkoj službi, vodoprivredi, saobraćajnoj miliciji i velikim saobraćajnim preduzećima. Na ovaj način bi se ne samo povećao broj učesnika u kontroli, već bi se za obavestavanje dobilo više sistema veza, što u ratu može da bude veoma značajno.

Hidrometeorološka služba bi preko meteoroloških stanica mogla znatno da doprinese proceni uticaja prizemnih slojeva atmosfere na taloženje padavina i promenama u kontaminaciji posle završenog taloženja. Poznato je da ovi uticaji mogu da budu tako veliki da stvaraju "smetove" i "čiste" prostore kao kod snežnih vejavica. Praćenjem atmosferskih padavina može se ne samo otkriti radioaktivnost, već se mogu dobiti značajni podaci za dalje prognoze. Stanice za kontrolu kvaliteta vode na rekama, praćenje podzemnih voda i pronosa nanosa na rekama, u zajednici sa

ustanovama vodoprivrede i elektroprivrede na akumulacionim jezerima, mogu dati veliki doprinos u kontroli voda i blagovremenom upozoravanju njihovih korisnika na opasnost koja nailazi, dok fenološke stanice u saradnji sa poljoprivrednim organizacijama mogu uspešno da učestvuju u praćenju kontaminacije u biljnom svetu.

Uključivanjem navedenih institucija povećao bi se i broj učesnika u kontroli biosfere, što bi u jednom termonuklearnom ratu imalo izvanredno veliki značaj. Razumljivo je da sve ove institucije ne bi izvršavale sve poslove koje traži radijaciona kontrola, već bi se isti stepenovali prema potrebama, ali bi u svakom slučaju trebale da budu osposobljene za aktivnu i samostalnu delatnost u vezi sa onim poslovima za koje se predvidjaju.

Prognoza i praćenje kontaminacije vrše se sa osnovnim ciljem da se pravovremeno obavesti stanovništvo o nailasku opasnosti. Medjutim, i ovde mogu da nastanu znatne teškoće i problemi. Naime, sistemi osmatranja i veze uglavnom su orijentisani na veća naseljena mesta, industrijske centre i značajnije raskrsnice, što je i razumljivo pošto su ovakvi rejoni potencijalni nuklearni ciljevi. Ova činjenica opet uslovljava da se iz takvih rejona evakuiše po pravilu najosetljiviji deo stanovništva /deca, trudnice, bolesni, stari/ u mesta koja su manje ugrožena, ali i slabije povezana i teže dostupna. Iako se u literaturi pominju razna sredstva za davanja uzbune /zvona, sirene, radio-difuzija i drugo/ do sada nije razradjen sistem za koji bi moglo da se kaže da je koliko - toliko zadovoljavajući.

Ovaj problem se posebno ističe u brdsko-planinskim krajevima gde su naselja razredjena, medjusobno dosta udaljena i slabo povezana, zatim u periodu kasnog proleća, leta i rane jeseni kada su stanovnici sela napolju /obradjuju zemlju i čuvaju stoku/, kao i kada padavine dolaze sa relativno malog udaljenja i mogu stići pre upozorenja o opasnosti.

Neosporno je da bi povećanje broja učesnika u kontroli donekle ublažilo ovaj problem, ali mislimo da ostaje potreba da se prouče i razrade mogućnosti i tehnika pravovremenog obaveštavanja stanovništva, pošto bez toga sve naše radnje u kontroli nemaju potpunu svrhu.

3.- Neki problemi kontrole životne sredine u kontaminiranim naseljima.

U neposrednoj vezi sa obaveštavanjem stanovništva je i kontrola njegovog ponašanja i pridržavanja mera zaštite. U radnim organizacijama, gradovima, pa i u zbijenim selima možda neće biti većih problema, ali u razredjenim selima, posebno ako su udaljena od gradova i komunikacija, biće sasvim drugačije. Ako se i može računati da će disciplina stanovništva biti zadovoljavajuća u periodu kada je intenzitet radioaktivnosti veliki, svakako treba računati da će ona da popušta opadanjem intenziteta radioaktivnosti i produžavanjem vremena boravka u zaklonu. Na ponašanje stanovništva, pa i na njegov moral, mogu da utiču i promene u stepenu kontaminacije koje bi pri suvom i vetrovitom vremenu mogle da nastaju ne samo u okviru jednog naselja, već i izmedju susednih naselja. Znatni problemi mogu da nastanu u selima, i to

leti, kada ljudi moraju da vode više računa o stoci i proizvodnji i kada je decu teško zadržati u zgradama. Ovo će iziskivati češće ubacivanje izvidjačkih ekipa na kontaminiranu prostoriju i njihovo jače ozračivanje, utoliko pre kad se ne raspolaže dozimetrima već se procena ozračenosti stanovništva vrši na bazi podataka koji su dobiveni detekcijom. Ovo će usloviti da se izvidjačke ekipe ozračuju onolikom dozom koliko operativno rukovodstvo zaključi da je neophodno s obzirom na zadatke koji moraju da se izvrše ili da se pravovremeno pripremi rezervno ljudstvo, što je znatno bolje rešenje ukoliko je moguće.

Na osnovu neposrednog uvida u stanje na terenu može se konstatovati da je spremnost čak i naših stručnih službi za radiološku kontrolu vode za piće izvanredno mala, i to ne samo u tehnici, već i u organizaciji, pa i u kadrovima. Ovo se odnosi i na vodovodne sisteme velikih gradova, a pogotovo na izvore snabdevanja po selima, koji se sada kontrolišu samo po konkretnoj potrebi. Smatramo da bi kontrola vode u bunarima koji dominiraju kao izvori vode u našoj zemlji i cisternama koje su osnovni izvori vode u kraškim predelima i u slučaju solidne organizacije i opremljenosti bila ozbiljan problem, kako zbog usitnjenosti i velikog broja izvora, tako i zbog njihove rasturenosti, a kada se radi o cisternama i zbog puta kojim se voda dobija. Ovo bi svakako zahtevalo veliki broj ekipa, njihove česte ulaske na kontaminiranu prostoriju i znatan broj malih laboratorija na nivou higijensko-epidemioloških zavoda i sanitarnih inspekcija.

Ništa bolja situacija nije ni u mogućnosti kontrole životnih namirnica bilo koje vrste. Naši najveći proizvodjači i preradjivači životnih namirnica ili lekova uglavnom nisu pripre-

mljeni za radiohemijsku, pa čak ni za radiometrijsku kontrolu svojih proizvoda. Ovo može da bude naročito aktuelno ako se proizvodjači snabdevaju sirovinama koje se nabavljaju van radne organizacije, a pogotovo ako in snabdevaju privatnici koji u ratu gotovo sigurno neće moći da kontrolišu svoje proizvode. Potpuno je isto stanje i u velikim trgovinskim preduzećima i skladištima životnih namirnica, kao i ustanovama koje pripremaju ishranu velikog broja ljudi na javnim mestima.

Nažalost, moramo da konstatujemo i činjenicu da ni organizacijski ni po opremljenosti nismo u stanju da kontrolišemo stepen ozračenosti ljudi, a da i ne govorimo o stoci. Ako se pomirimo sa činjenicom da je veoma teško i skupo obezbediti kontrolu celokupnog stanovništva, ipak moramo prihvatiti nužnost obezbedjenja kontrole onih ljudi čija će funkcija u ratu iziskivati da neizbežno borave na kontaminiranoj prostoriji. Uz velikog angažovanja zdravstvene službe i relativne sporosti kliničkih metoda neophodna su tehnička sredstva za dozimetriju.

Opšte je poznato da se dekontaminacija može smatrati završenom tek pošto se proveri njeno izvršenje. Medjutim, mi sada ovo ne bismo mogli da činimo u potrebnim razmerama radi čega i tablice o dozvoljenim intenzitetima nemaju praktičnog značaja. Ako i ovde dopustimo da je nemoguće, a možda i nepotrebno ici na omogućavanje masovne kontrole dekontaminacije ipak je treba organizovati i obezbediti na nivou stručnih službi i jedinica.

S obzirom na to da će u sistemu kontrole učestvovati veliki broj stručnih službi i radnih organizacija, neophodno je

da se odredi nosilac ratnih priprema i principi njihove medjusobne saradnje. Osim toga, nužno je obezbediti jedinstvenu obuku stručnih kadrova i druge elemente koji prate obuku. Neka od ovih pitanja su pokrenuta u republikama, ali je još uvek malo učinjeno na obezbedjenju stručne literature sa usvojenim metodama rada i načinom saradnje pri izvodjenju kontrole.

4.- Sredstva detekcije i dozimetrije

Verovatno je već banalna fraza kada se kaže da se radioaktivno zračenje ne može videti, čuti ni osetiti, već samo izmeriti specijalnim instrumentima. Mi se nažalost ne možemo pohvaliti da raspolažemo čak ni približno sa dovoljno ovakvih sredstava, ni po asortimanu, ni po količini.

Za osmatranje i izvodjenje radiološke kontaminacije raspolažemo sa detektorom vrlo velikog mernog opsega, čije su karakteristike dobro poznate. Iako se ovom detektoru mogu staviti primedbe, ipak mislimo da bi ova oblast bila dobro pokrivena kada bi raspolagali sa dovoljnim brojem, pošto su količine sa kojima trenutno raspolažemo gotovo simbolične. Iz ove oblasti se počelo sa proizvodnjom znakova za obeležavanje kontaminacije, iako njihov nedostatak nije ni bio veliki problem, pošto se obeležavanje može lako da improvizuje.

U vanrednim prilikama bi se verovatno osetila potreba za meračima na letilicama koji bi bili vrlo pogodni za praćenje radioaktivnih oblaka i izvodjanje kontaminacije iz vazduha.

Oblast dozimetrije praktično je neobezbedjena pošto nemamo dozimetara za merenje većih doza, iako se u ovoj oblasti radi na širokom frontu više godina. Mada imamo u razvoju nekoliko tipova dozimetara /termoluminiscentni, fosfatni, hemijski i penkalo-dozimetar/ ipak nismo u mogućnosti da sprovedemo dozimetrijsku kontrolu, ne samo stanovništva, već ni jedinica i stručnih službi, pošto nijedan od njih još nije uveden u opremu.

Detektore za merenje slabih intenziteta zračenja i za korišćenje u laboratorijama ili nemamo ili se mogu naći samo u ustanovama koje u miru profesionalno rade sa izvorima zračenja. Mišljenja smo da bi sa ovakvim detektorima trebalo da raspolažu zdravstvena, higijensko-epidemiološka, farmaceutska i veterinarska služba, kao i laboratorije proizvodjača prehrambenih artikala.

Na osnovu iznetih problema o radijacionoj kontroli teritorije mogu se izvući sledeći

Z a k l j u č c i

1.- U organizaciju i sprovodjenje radijacione kontrole treba uključiti sve institucije koje su profesionalno zainteresovane ili bi bile posebno ugrožene u slučaju radijacione kontaminacije. U ovom cilju treba tačno definisati učesnike, odrediti njihove konkretne obaveze i medjusobnu saradnju u izvršavanju zadataka.

2.- U prognoziranje i praćenje kontaminacije uključiti i hidrometeorološku službu, vodoprivredu i odredjene poljopri-

vredne institucije i to kao kompletne delatnosti a ne kao delegirane predstavnike u pojedinim organima. Zbog jedinstvene funkcije treba razraditi i metodologiju rada svih učesnika.

3.- Radijaciona kontrola zahteva da se odredjene ustanove zdravstvene i veterinarske službe, kao i proizvodjači i prodavci životnih namirnica i značajniji vodovodni sistemi osposobe za samostalnu kontrolu ljudske i stočne hrane i vode.

4.- Posebno treba razmotriti mogućnost pravovremenog obaveštavanja stanovništva u uslovima slabe povezanosti sredstvima informacija i komunikacijama. U vezi sa ovim zadatkom razraditi i sistem dozimetrijske kontrole i obezbediti dozimetre za stanovništvo i jedinice.

5.- Jedinstveno i kvalitetno utvrdjivanje i praćenje radijacione opasnosti, pored organizacije i obuke, traži i odgovarajuća tehnička sredstva, radi čega je neophodno da se pristupi tipizaciji i unifikaciji instrumenata koji se koriste u radijacionoj kontroli.

MERNA INSTRUMENTACIJA ZA AKCIDENTALNE I VANREDNE USLOVE

/18

S.Muždeka, M.Vidmar
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Prilikom proizvodnje, rukovanja i primene radioaktivnih i fisibilnih materija moguće je nastajanje takvih situacija i uslova u kojima dolazi do ugrožavanja bezbednosti pojedinaca ili grupa ljudi u manjim i većim zonama. Isti je slučaj i ako u ratu dodje do primene nuklearnih oružja. Akcije spasavanja i saniranje koje se poduzimaju treba da su brze i da se odvijaju prema planu koji zavisi od rezultata dobijenih merenjem.

U radu je dat pregled savremenih mernih uredjaja koji se mogu koristiti u ovim slučajevima. Takodje je dat predlog karakteristika osnovnih uredjaja.

Usvajanjem i sprovodjenjem jedinstvenog plana opreme za zemlju obezbedio bi se kvalitetan razvoj, standardizacija elemenata i metoda merenja, kao i ekonomičnija proizvodnja i održavanje i uspešnija obuka kadrova.

HEALTH PHYSICS INSTRUMENTATION IN EMERGENCY SITUATIONS

In production, manipulation and aplication of radioactive and fissile materials situations can occur in which persons or property may be brought in danger. The same applies in the case of nuclear war. Actions to be taken to bring situation under the control must be fast and well planed, based on the results of measurements.

The paper gives a review of the instruments which may be used for such occasions. Characteristics of the basic instruments produced at the "B.Kidrič" institute are also given.

Acceptance of a unique list of the instrument types to be used throughout the country would provide standardization of elements and measuring methods, good instrument development work, better training for the instrument users and more economic production and maintenanance.

U v o d

U naslovu ovog rada kao i u nazivu Simpozijuma pojavljuju se dva termina: vanredni uslovi i akcidentalni uslovi. Bilo bi korisno da, pre nego što se predje na izlaganje o karakteristikama opreme, da se definiše šta se pod svakim od ovih pojmova podrazumeva.

U svetskoj literaturi se može naći niz definicija akcidenata koje se medjusobno razlikuju. Smatramo da je definicija akcidenta kakva je data u Pravilniku Instituta "B.Kidrič" o postupku za slučaj akcidenta veoma pogodna. Po ovoj definiciji pod akcidentom se podrazumeva svaki nepredvidjeni dogadjaj čija je priroda takva da pri njegovom nastajanju i posledicama mogu da budu dovedeni u opasnost:

- ljudstvo,
- materijalna dobra,
- ljudstvo i materijalna dobra.

Bitno je pri ovome da do pojave akcidenata ne dolazi nečijom voljom. Zona u kojoj se javlja opasnost u slučaju akcidenta može da obuhvati i šire područje oko mesta na kome se desio akcident. U slučaju primene nuklearnih oružja bitne razlike u odnosu na gore definisani akcident bile bi sledeće:

a) Opasnost se javlja zbog nečije zapovesti - želje.
b) Izvor opasnosti - nuklearna eksplozija - ne mora uvek da se nalazi na teritoriji koja je ugrožena tj. eksplozija može da se desi i dosta daleko od zone u kojoj je došlo do deponovanja radioaktivnih materijala.
c) Ugrožene zone u slučaju akcidenata su obično manje i mogu se odrediti znatno brže - predhodnim proračunima (kod nuklearnih postrojenja) ili neposrednim merenjem.

d) U slučaju akcidenata je obično preciznije poznat sastav radioaktivnih materija koje su uzrok opasnosti.

Ma da se i situacija i uslovi u akcidentom ugroženoj zoni mogu smatrati vanrednom, u daljem toku ovog referata termin vanredni uslovi koristiće se za opis stanja koje nastaje u slučaju nuklearnog udara. Razlog za ovo je potreba za diferenciranjem ovih dveju situacija jer one ipak postavljaju unekoliko različite zahteve u pogledu potrebne opreme, a naročito u pogledu brojnosti.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju u pogledu merenja u akcidentalnim i vanrednim uslovima

Pri akcidentima sa izvorima zračenja može da se javi:

a) opasnost spoljnjeg ozračivanja,
b) opasnost kontaminacije,
c) opasnost spoljnjeg ozračivanja i kontaminacije.

Iste opasnosti se javljaju i u vanrednim uslovima s tim što u većini slučajeva dominantnu ulogu ima opasnost kontaminacije. U odnosu na normalne uslove pri primeni jonizujućih zračenja u slučajevima akcidenata je obično potrebno:

- meriti i znatno veće nivoe jačine ekspozicione doze,
- brzo dobiti rezultate i interpretirati ih,
- izvršiti znatno veći broj merenja,
- vršiti merenja na otvorenom prostoru, u improvizovanim laboratorijama, kolima, kamionima i sl.,
- koristiti za vršenje merenja i nedovoljno obučeno osoblje.

Za vanredne uslove važi sve gore rečeno samo još više potencirano. Pored toga u vanrednim uslovima neka merenja se moraju obavljati u uslovima znatno povišenog prirodnog fona.

Dalji elementi koji utiču na izbor opreme i njene karakteristike proizilaze iz potrebe za odredjivanjem vrste i stepena opasnosti. Za ovo je potrebno:

- odrediti zone u kojima postoji opasnost i obeležiti ih prema stepenu i vrsti (ozračivanje, kontaminacija)
- odrediti da li i koliku opasnost predstavljaju predmeti, a posebno hrana i voda, izneti iz tih zona, drugim rečima odrediti stepen njihove upotrebljivosti
- odrediti da li se postojeća opasnost pomera npr. prisustvo radioaktivnih materija u vazduhu, i ako se pomera kojom brzinom i u kom smeru
- izvršiti procenu stepena oštećenja živih bića koja su bila u tim zonama u momentu nastanka akcidenta odnosno vanrednih uslova i u takvim uslovima provela izvesno vreme.

Opšti zahtevi koje treba da zadovolje uredjaji za detekciju i merenje zračenja

Na osnovu ranije iznetog proizilazi da je za akcidentalne odnosno vanredne uslove potrebno, isto kao i u normalnim uslovima, imati uredjaje kojima se mogu meriti:

- individualno primljene doze;
- radijaciona polja gama zračenja;
- stepen kontaminacije ljudi, predmeta i površina;
- stepena kontaminacije vazduha, vode, tla, itd.;
- osnovnih meteoroloških parametara.

Ova poslednja merenja treba da omoguće procenu kretanja i lokacije zona nuklearne opasnosti.

Ovi uredjaji treba da zadovolje sledeće zahteve, da bi se mogli upotrebiti u akcidentalnim odnosno vanrednim uslovima:

- da su otporni na mehaničke udare;
- da su sposobni da rade i u uslovima velike vlažnosti;
- da su sposobni da rade u uslovima ekstremnih temperatura;
- da su nezavisni u pogledu napajanja energijom;
- da su pouzdani u radu i da je moguća brza i laka provera ispravnosti rada instrumenta i njegovog baždarenja i u jakim poljima zračenja;

- DR-M3 koji ima dva merna opsega

  0,5 - 500 mR/h

  0,5 - 500 R/h

  sa logaritamskom skalom

Prenosni dozimetar PD-6F koristi kao detektore zračenja dve ugradjene jonizacione komore i odlikuje se velikom tačnošću. Originalno rešenje, prvi put primenjeno u ovom instrumentu, omogućava električno uključivanje i isključivanje komore. Pomoću samo dva visokoomska otpornika i dve jonizacione komore pokriveno je područje od šest linearnih mernih opsega. Merenje malih struja iz komora vrši se pomoću operacionog pojačavača koji u ulaznom kolu ima tranzistore sa izolovanim gejtom (MOSFET). Zapremine komora, ulazne struje, visokoomska otpornost i izlazni napon pojačavača za sve merne opsege dati su u Tabeli I.

Tabela I

Merni opseg, R/h	Zapremina komore, cm^3	Struja, A	Otpornost, Ohm	Izlazni napon, V
0,01	1000	10^{-12}	$3x10^{11}$	0,3
0,1	1000	10^{-11}	$3x10^{11}$	3
1	1000	10^{-10}	$3x10^{9}$	0,3
10	1000	10^{-9}	$3x10^{9}$	3
100	10	10^{-10}	$3x10^{9}$	0,3
1000	10	10^{-9}	$3x10^{9}$	3

Merenje površinske kontaminacije predstavlja poseban problem. Cilj ovih merenja je da se prvo utvrdi postoji li površinska kontaminacija, i ako postoji da li je vezana za mesto ili se može lako prenositi sa jednog mesta na drugo.

Za otkrivanje površinske kontaminacije potrebno je da uredjaj raspolaže detektorom koji omogućava detekciju slabo prodornih zračenja (alfa i beta). Ovi radioaktivni materijali mogu

biti štetni u dodiru sa delovima ljudskog tela ili ako se unesu u organizam. Utvrdjivanje da li je kontaminacija fiksna ili ne vrši se metodom uzimanja briseva. Dešavalo se pri akcidentima da je koža bila neposredno zagadjena beta aktivnim materijalima što je dovodilo do pojava opekotina.

U poljoprivrednim predelima potrebno je odrediti kontaminaciju stoke, hrane i drugih proizvoda. Ako se hrana nabavlja iz predela koji su bili kontaminirani fisionim produktima, radioaktivni nuklidi mogu da se pojave i u delovima zemlje koji nisu bili direktno izloženi nuklearnom udaru. Kao što je poznato odredjivanje stepena kontaminacije vrši se merenjem aktivnosti sakupljenih uzoraka. Problemi vezani za utvrdjivanje kontaminacije životne sredine bili su veoma aktuelni u vreme intenzivnih proba nuklearnog oružja a značajni su i danas. U akcidentalnim i vanrednim uslovima pri kojima može da dodje i dolazi do rasturanja velikih količina radioaktivnog materijala i kontaminacije životne sredine u prostranim zonama odredjivanje stepena kontaminacije dobija izuzetan značaj. Treba istaći da je potrebno kontrolu kontaminacije životne sredine, zbog mehanizma prenošenja kontaminacije, vršiti i u zonama koje su znatno udaljene od mesta gde su nastupili vanredni uslovi. Obzirom na prirodu radioaktivnosti i efekte dejstva ne manji značaj ima dugoročno sistematsko praćenje promena nivoa kontaminacije.

Prenosni univerzalni monitor zračenja KOMO-T3 ili KOMO-TM mogao bi pogodnim izborom sondi da se koristi za trostruku namenu:

- merenje jačine ekspozicionih doza od nekoliko 10 uR/h do 1000 R/h;
- merenje površinske kontaminacije na beta i beta/gama aktivnost;
- merenje uzoraka kontaminiranih fisionim produktima na beta aktivnost.

Ovaj tip instrumenta trebao bi da se nalazi kao oprema u srednjim i većim skloništima, naseljima i preduzećima. Slični instrumenti u inostranstvu nalaze se u mreži službe unutrašnjih poslova (u okviru stanica ili u vozilima saobraćajnih patrola).

Za merenje površinske kontaminacije i merenje uzoraka potrebno je imati detektore sa dovoljno velikim prozorom i linearnim mernim skalama na osetljivijim opsezima.

Instrument KOMO-T sadrži tri linearna merna opsega:

opseg	sonda 18506	sonda 18529
0 - 10 imp/s	0 - 0,2 mR/h	0 - 30 mR/h
0 - 100 imp/s	0 - 2 mR/h	0 - 300 mR/h
0 - 1000 imp/s	0 - 20 mR/h	0 - 3 R/h

i strujni opseg koji se koristi za merenje jačine ekspozicione doze:

do 1 R/h sa sondom 18506
do 1000 R/h sa sondom 18529.

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

Pri merenjima kontaminacije sa beta i gama emiterima koristi se sonda da GM brojačima STS-6. Debljina zida brojača je oko 45 mg/cm^2. Pokretljiv zastor na metalnom kućištu služi za selekciju beta emitera.

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

Uz odredjene dodatke univerzalni monitor se može koristiti za merenje tečnih i homogenih čvrstih uzoraka u akcidentalnim uslovima na ukupnu beta aktivnost. Za ova merenja koristi se sonda GM 18506 koja se stavlja u posebno kućište. Za kvantitativno odredjivanje beta aktivnosti fisionih produkata koristi se metod merenja uzoraka sa debelim slojem. Specifična aktivnost uzoraka izvržava se u Ci/kg ili u Ci/l za tečne uzorke.

Prenosni instrumenti ne mogu da pruže detaljnu sliku pri analizi uzoraka jer ne daju dovoljno informacija potrebnih za interpretaciju rezultata naročito u jačim poljima zračenja(nekoliko desetina mR/h). Zato se za pripremu i merenje uzoraka koriste stacionarne ili pokretne laboratorije. Ove laboratorije su u stanju da vrlo brzo pripreme i izmere uzorke i interpretiraju

dobivene rezultate. Sakupljanje uzoraka može da vrši ljudstvo iz sastava laboratorije ili posebne ekipe. Uzorci se mogu meriti na beta ili gama aktivnost. Za merenje beta aktivnosti pogodna je metoda merenja debelog uzorka jer zahteva manje vremena za pripremu uzorka.

Radiološka laboratorija za merenje uzoraka RL-B sastoji se od merne jedinice koja sadrži GM brojač u olovnom oklopu i elektronskog dela koji se sastoji od skalera, tamjera i visokog napona. Pored ovoga postoji i komplet za pripremu uzoraka. Upotrebom halogenog GM brojača 18536 mogu se realizovati merenja u opsegu 10^{-11} do 10^{-6} Ci.

Za veoma osetljiva merenja uzoraka pogodna i za mirnodopske uslove, koristi se aparatura LOLA-4 sa opsegom 10^{-12} do 10^{-8} Ci, i fonom manjim od 2 imp/min. Aparatura sadrži tri osnovna dela:

- antikoincidentno kolo sa GM brojačima, izvedeno sa čisto pasivnim elementima, smešteno u olovnom oklopu težine oko 65 kg;
- dekadni skaler;
- deo za napajanje.

Broj upotrebljenih elektronskih komponenti sveden je na minimum, što omogućuje postizanje velike pouzdanosti i male potrošnje (5 W), a napajanje se vrši iz mreže ili akumulatora od 12 V, tako da se aparatura može koristiti i u terenskim uslovima.

U antikoincidentnom kolu koristi se kao zaštitni detektor GM brojač 18518 dok se kao merni detektori mogu koristiti:

- GM brojač 18516 sa debljinom prozora 10 mg/cm^2, za merenje beta aktivnosti energija viših od 400 keV;ć
- GM brojač 18536, sa debljinom prozora 1,5 mg/cm^2, za merenje beta aktivnosti energija nižih od 400 keV.

Za oba tipa mernih detektora efektivna površina prozora je 6,1 cm^2. Najmanje aktivnosti koje se mogu detektovati pri trajanju merenja od 30 min, za razne izotope, dati su u tabeli II.

Tabela II

Izotop	Brojač 18516		Brojač 18536	
	efikasnost	min.akt.(pCi)	efikasnost	min.akt.(pCi)
C^{14}	1	42	10	3,3
Co^{60}	11	2,2	25	1,5
Tl^{204}	24	1,2	34	1,2
Bi^{210}	34	0,75	43	0,9
Pa^{234}	46	0,6	47	0,75

Merenje uzoraka na gama aktivnost ne zahteva specijalnu pripremu uzoraka i može vrlo brzo da se obavlja. Za ova merenja pogodan je minijaturni scintilacioni spektrometar. Uredjaj je namenjen za energetsku analizu radioaktivnih izvora i uzoraka. Pored scintilacionih uz njega se mogu koristiti i proporcionalni i poluprovodnički brojači. Komplet sadrži linearni pojačavač, jednokalani amplitudni analizator, generator linearne vremenske baze, merač srednje brzine brojanja i detektor sa visokim naponom. Pomoću kompleta može se lako utvrditi prisustvo joda, cezijuma ili drugih fisionih produkata u uzorcima mleka, hrane, vode kao i u biološkim i medicinskim uzorcima. Ovu opremu bi trebalo da imaju specijalizovane laboratorije u gradovima i veće sanitetske jedinice.

U nekim zemljama su veći gradovi (napr. u okviru vatrogasnih jedinica) snabdeveni specijalnim pokretnim radiološkim laboratorijama, smeštenim u vozilima. Pokretna radiološka laboratorija realizovana u IBK snabdevena je prenosnim i stacionarnim uredjajima koji obezbedjuju merenja radijacionih polja, površinske kontaminacije i radioaktivnih uzoraka na beta i gama zračenja. Laboratorija je montirana u kampanjoli a može se montirati i u specijalnim prikolicama.

U Tabeli III dat je pregled instrumentacije razvijene u IBK koja može da se koristi u akcidentalnim i vanrednim uslovima. Instrumenti su podeljeni prema nameni za merenje radijacionih polja, površinske kontaminacije i merenje radioaktivnih uzoraka.

Pored prenosnih i mobilnih uredjaja koji su ranije opisani mogu se realizovati i specijalne izvedbe za korišćenje u odredjenim objektima, skloništima ili u okviru mreže stanica za detekciju i merenje zračenja na široj teritoriji. Na ovaj način obezbedjuje se pored poznavanja nuklearne opasnosti u objektu ili na terenu gde se stanica nalazi i procena kretanja te opasnosti kao i prikupljanje podataka sa cele teritorije u sabirnim centrima.

Neki od specijalnih uredjaja koji se koriste za kontrolu zračenja u akcidentalnim i vanrednim uslovima su:

- uredjaji tipa LOGAL pogodni za skloništa ili veće objekte za merenje jačine ekspozicione doze sa alarmom na centralnim mestima u slučaju prekoračenja odredjenog nivoa;
- uredjaji za kontinualnu kontrolu aerosola uključeni u mreže meteorološke službe i drugim objektima sa alarmom i automatskim uključivanjem ventilacionih sistema sa filtrima u slučajevima povišene koncentracije kratkoživećih i dugoživećih radioaktivnih aerosola u vazduhu;
- uredjaji za merenje jačine ekspozicione doze i ukupne ekspozicione doze za posade aviona, vozila i sl.;
- uredjaji za orijentaciju u polju zračenja;
- sistemi za sakupljanje i obradu podataka.

Složena merenja, koja mogu da budu potrebna u normalnim, akcidentalnim i vanrednim uslovima, zahtevaju istovremeno merenje više parametara, tj. istovremeno korišćenje više mernih instrumenata. Takva merenja su napr. neophodna za praćenje stanja radioaktivnosti ambijenta u odredjenim objektima, skloništima ili u okviru mreže stanica za detekciju i merenje zračenja na užoj ili široj teritoriji.

Da bi se merenja te vrste efikasno obavljala, potrebno je pored prenosnih i mobilnih uredjaja koji su opisani da se formiraju i realizuju manje ili više specifični sistemi. Tim sistemima se podaci dobijeni merenjima na raznim instrumentima u mernim stanicama, sakupljaju na jednom mestu i tu se na pogodan

način prikazuju, registruju ili se vrši dalja obrada tih rezultata.

Kao prilog referatu dat je opis sa slikama i tehničkim karakteristikama instrumenata koji se koriste za potrebe zaštite od zračenja a razvijeni su u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči.

Literatura

1. Procedings of Symposium, Interlaken, 1968.
2. Merenje i instrumentacija u zaštiti od jonizujućih zračenja. III Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, Banja Luka, 1967.
3. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, 1969.
4. Environmental monitoring in Emergency Situation, Safety Series, No. 18.
5. Colloque sur l'électronique nucléaire et la radioprotection, Toulouse, 1968.
6. Second international congress of the IRPA, Brighton, 1970.

Tabela III

Pregled elektronske instrumentacije koja može da se koristi u akcidentalnim i vanrednim uslovima

Merenje radijacionih polja	Merenje radioaktivne kontaminacije	Merenje radioaktivnih uzoraka
Lični dozimetri		
200 - 500 R		
Lovac zračenja MLZ-1		
zvučna i optička indikacija		
Univerzalni monitor zračenja KOMO-TM		
gama	beta, beta/gama	beta
0 - 0,2 mR/h	0 - 30 mR/h	0 - 10 imp/s
0 - 2 mR/h	0 -300 mR/h	0 - 100 imp/s
0 - 20 mR/h	0 - 3 R/h	0 - 1000 imp/s
do 1 R/h	do 1000 R/h	
Prenosni dozimetar PD-6F		**Uredjaj za merenje niske beta aktivnosti LOLA-4**
0 - 10 mR/h	0 - 10 R/h	
0 -100 mR/h	0 -100 R/h	**Uredjaj za merenje uzoraka (beta) RL-B**
0 - 1 R/h	0-1000 R/h	
Alarmni uredjaj LOGAL		**Scintilacioni spektrometar (gama)**
Monitor-dozimetar za vozila, letilice		**Uredjaj za kontinualnu kontrolu radioaktivnih aerosola ACA-3**
0,5 - 500 R/h		
0 - 1000 R		

Pokretna radiološka laboratorija PRL

Kontrola radijacionih polja, površinske kontaminacije, čvrstih i tečnih uzoraka na beta, gama aktivnost

Sistem sakupljanja i obrade podataka

Multiparametarsko merenje radioaktivnosti i centralizovano sakupljanje podataka, njihova registracija i obrada, koja može da sadrži i korišćenje računara

MOGUĆNOST BRZE DETEKCIJE SVJEŽIH RADIOAKTIVNIH PADAVINA U ATMOSFERI

Pioer M., Popović V., Bistrović M., Stampf D.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb i

Klinički bolnički centar Zagreb

Rezime

Na temelju pretpostavke eksponencijalnog raspada reteniranih radionuklida na filtrir papiru, dobivenih prosisavanjem atmosfere i relativno dugog vremena poluraspada umjetnih kontaminatora atmosfere, autori na temelju svojih eksperimentalnih podataka pokušavaju naći optimalne uvjete najkraće metode detekcije svježe radioaktivnosti u atmosferi. U teoretskim pretpostavkama načinjena su daljnja usavršavanja uvođenjem nebrojenog intervala između dva intervala brojenja. Izračunate su nove tablice odnosa početne brzine brojenja, duljine brojenja i teoretskog faktora raspada na temelju novih saznanja o vremenu poluraspada reteniranih prirodnih radionuklida na filtrir papiru.

Uvod

Brza i pravodobna detekcija svježih radioaktivnih padavina u atmosferi kao posljedica nuklearne eksplozije ili akcidenta u nuklearnim postrojenjima, otežana je prisustvom prirodnih radioaktivnih elemenata u atmosferi. Zadatak ovog rada je omogućavanje brze detekcije svježih radioaktivnih padavina u atmosferi na temelju dobrog poznavanja nivoa kao i

raspadnih karakteristika prirodnih radionuklida u atmosferi. U prethodnim našim ispitivanjima (1,2,3,4) istražene su, između ostalog, i krivulje raspada prirodne beta radioaktivnosti radionuklida reteniranih na filtrir papiru dobivenih prosisavanjem izvjesne količine zraka. Kako su nađene priiično konstantne krivulje raspada kod raznih uvjeta, to smo nastojali da iz razlike brzine raspada prirodne beta radioaktivnosti atmosfere, te fisionih ili nekih drugih radioaktivnih materija pronađemo optimalnu metodu brze detekcije umjetne kontaminacije atmosfere.

Metodika, rezultati i diskusija

Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti zraka vršili smo na isti način kao što je već opisano u našim prethodnim radovima (1,2,3), osim što je prosisavanje zraka bilo kraće (do 20 min) i nisu se bilježili samo integrirani impulsi nakon odredenog vremenskog intervala, već se bilježio broj impulsa u svakoj minuti do 30. minute nakon početka brojenja. Na temelju ovakvih raspadnih lista uzoraka mogli smo kasnije odabirati po volji vremenske intervale brojenja i integrirati impulse po tim intervalima. Prednost ovakvog načina uzimanja uzoraka je dvostruka. Prvo zbog uštede u radu i sredstvima, jer je izvor po volji kombinacija iz ovakvog niza uzoraka veoma velik a drugo, još mnogo važnije, pri eksperimentalnoj evaluaciji neke teoretske pretpostavke na raspolaganju imamo ustvari uvijek iste uzorke atmosfere (što je u direktnoj provjeri praktički nemoguće postići) koji su uz to i veoma reprezentativni jer su dobiveni tokom nekoliko mjeseci u godini a ne samo kroz desetak dana.

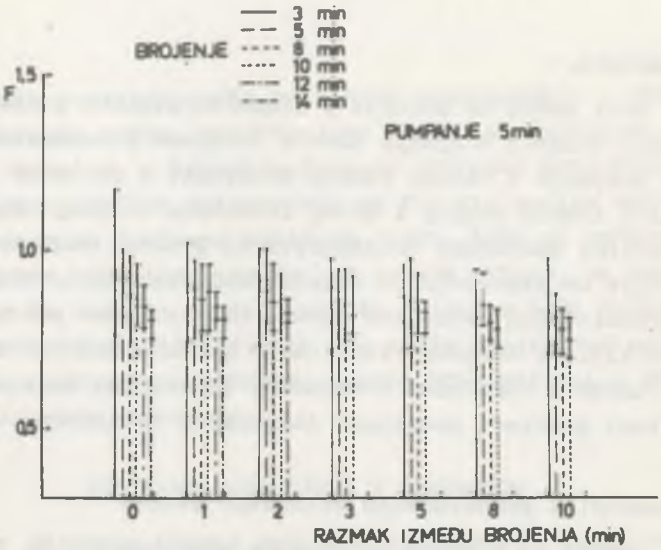
Već smo ranije opisali (5, 6) dva načina u rješavanju zadatka pronalaska optimalne metode detekcije umjetne kontaminacije atmosfere a na temelju razlika u brzini radioaktivnog raspada prirodnih radionuklida u atmosferi i umjetnog

kontaminatora.

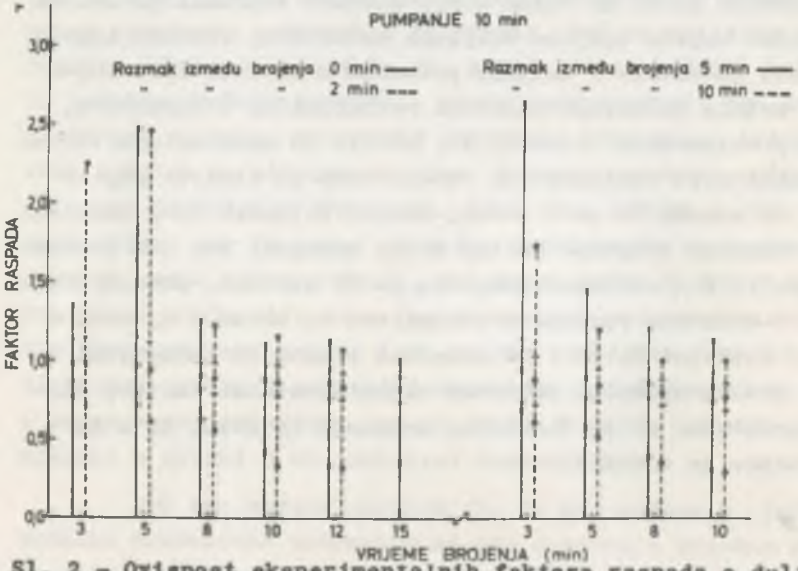
Prvi način se sastoji u eksperimentalnom pronalaženju minimalnog vremena trajanja metode (vrijeme prosisavanja + vrijeme brojenja + razmak između brojenja) a da odnos ukupne aktivnosti između drugog i prvog intervala brojenja uzorka u statistički značajnoj vrijednosti ne prelazi jedinicu a što ukazuje na nepostojanje umjetne kontaminacije. Drugi način pronalaženja optimalne metode bazira se na pretpostavci eksponencijalnog raspada retiniranih radionuklida na filtrir papiru (barem u određenom vremenskom intervalu) te u eksperimentalnoj provjeri dobivenih teoretskih rezultata.

Eksperimentalno pronalaženje optimalne metode

Budući da u našim prethodnim radovima (5, 6, 7) eksperimentalnim provjeravanjem teoretskih pretpostavki nismo dobili zadovoljavajuće rezultate, stoga smo željeli eksperimentalnim putem na većem broju uzoraka ispitati približne optimalne uvjete duljine brojenja intervala, razmaka između brojenih intervala i duljine pumpanja a koji bi dali najkraću metodu detekcije umjetnih radionuklida u atmosferi. Nakon prosisavanja zraka 5, 10, 15 ili 20 minuta, mjerila se radioaktivnost radionuklida reteniranih na filtrir papiru tokom 30 minuta te se u svakoj minuti bilježio broj impulsa. Za 10-minutno pumpanje na taj način sakupili smo 100 uzoraka, a za 5, 15 i 20-minutno pumpanje po 20 uzoraka. Uzorci dobiveni 10-minutnim pumpanjem sakupljeni su tokom 8 mjeseci a uzorci dobiveni 5, 15 i 20-minutnim pumpanjem sakupljeni su tokom jednog mjeseca. Dobiveni eksperimentalni faktori raspada prikazani su za 5-minutno pumpanje na slici 1, a za 10-minutno na slici 2.



Sl. 1 - Ovisnost eksperimentalnih faktora raspada o duljini intervala i razmacima između intervala brojenja.



Sl. 2 - Ovisnost eksperimentalnih faktora raspada o duljini intervala i razmacima između intervala brojenja.

Faktor raspada dobiven je omjerom ukupnog broja impulsa drugog i prvog intervala brojenja , što znači ukoliko nema povišenog nivoa kontaminacije atmosfere, taj faktor mora biti manji od jedan. Na slici 1 (5-minutno pumpanje) označene su srednje vrijednosti faktora raspada, te opažene minimalne i maksimalne vrijednosti izmjerenih faktora. Na slici 2 (10-minutno pumpanje) osim srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti faktora raspada date su i njegove opažene standardne devijacije za mjerenih 100 uzoraka atmosfere tokom osam mjeseci. Usporedimo li varijabilnost faktora raspada dobivenih 5 i 10-minutnim pumpanjem zraka, opaža se u prvi mah izvjesna nelogičnost radi veće varijabilnosti faktora dobivenih 10-minutnim pumpanjem u odnosu na one dobivene 5-minutnim pumpanjem zraka. Ali to je i razumljivo s obzirom da su uzorci pumpani 10 minuta sakupljani tokom osam mjeseci i ima ih daleko više od onih dobivenih 5-minutnim pumpanjem koji su sakupljeni samo tokom jednog mjeseca.

I stoga je razumljivo da za donošenje sigurnijeg zaključka o optimalnom odnosu duljini intervala brojenja, razmaka između intervala brojenja i duljine pumpanja , potrebno je imati još daleko veći broj uzoraka koji se moraju sakupljati tokom cijele godine tako da se uzmu u obzir i svi ostali faktori stanja atmosfere.

Teoretski pristup istraživanju optimalne metode s eksperimentalnom provjerom

Što se tiče teoretske koncepcije određivanja svježih radioaktivnih padavina u atmosferi na temelju proučavanja raspadnih karakteristika ratenirani radionuklida na filtrir papiru, razrađeni su novi momenti koji su došli do izražaja zahvaljujući usporedbi teoretski računatih s praktički mjerenim parametrima. Uočeno je da se povećanjem intervala

brojenja centri ovih intervala približuju te na taj način povećavaju standardnu devijaciju brojenja. Ovo smo uzeli u obzir i nanovo definirali problem na slijedeći način:

Već od prije znamo (5) da je $dF = 1/\sqrt{N_1}$.
Ako je brzina brojenja "A" te duljina intervala brojenja "t" tada je

$$dF = 1/\sqrt{A \cdot t}$$

Ako je sveukupno trajanje mjerenja T tada je udaljenost između sredina intervala T - t. Problem minimuma postavlja se za standardnu devijaciju relativno prema trajanju intervala između sredina brojenih intervala. Treba znači naći minimum izraza

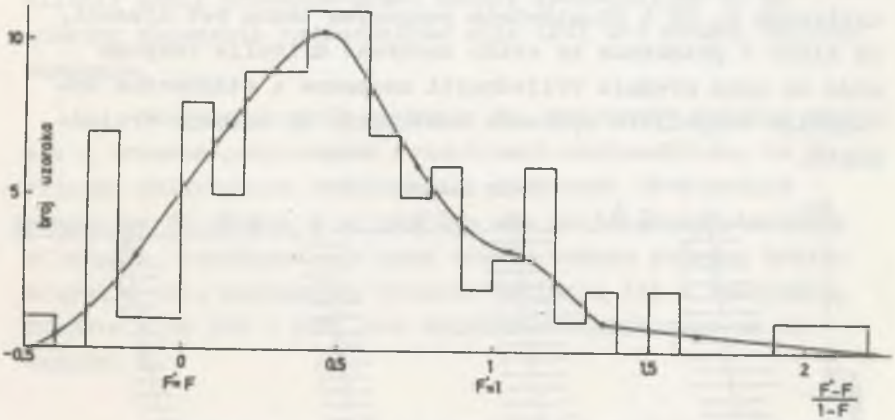
$dF/(T-t)$, odnosno maksimum funkcije od t

$B(t) = (T-t) \cdot t$ uz T kao konstantu.

Rješavanjem problema ekstrema $dB/dt = 0$ dobivamo rezultat $t = T/3$. Prema tome, dobili smo to da je minimum greške pri stavljanju u omjer dva brojenja radioaktivnog raspada onda kada se jednako broji, ostavlja jednaki nebrojeni interval i opet jednako broji. Uvođenjem ove nove činjenice dobili smo nove vrijednosti za intervale brojenja i razmake između brojenja, te vrijednosti teoretskog faktora raspada za 2dF i 3dF (7).

Međutim, prilikom eksperimentalne provjere ovih novih saznanja nismo dobili zadovoljavajuće rezultate uspoređujući vrijednosti teoretskih i eksperimentalnih faktora raspada na 20 uzoraka dobivenih 5 i 10-minutnim prosisavanjem zraka(7). Prema tome, usprkos novog načina mjerenja tj. i prilikom uzimanja $t = T/3$ mjereni F-ovi nisu se statistički okupljali oko teoretskog F već su se okupljali oko srednje

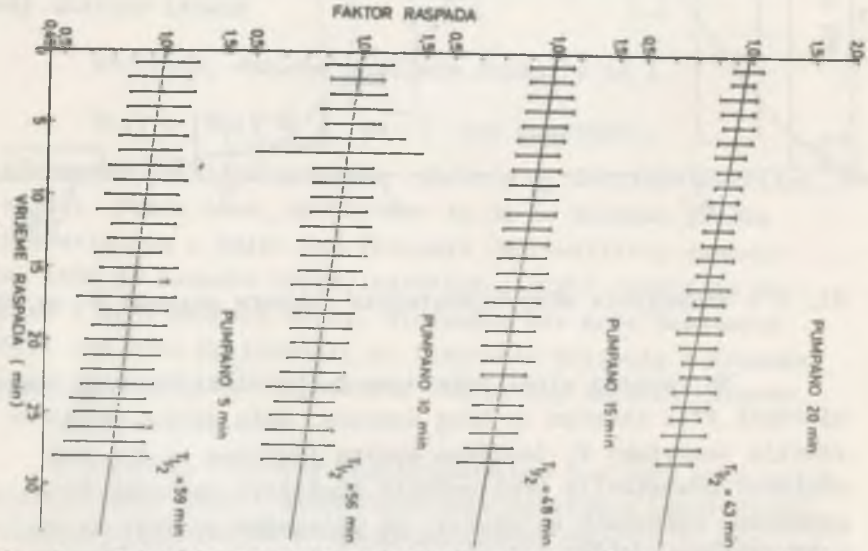
vrijednosti pomaknute udesno u smislu odgovora "DA". S namjerom da detaljnije ispitamo neslaganje teorije i eksperimentalnih rezultata izvršili smo 100 mjerenja uz teoretski raspad 3dF i napravili raspodjelu rezultata prikazanih na slici 3.



Sl. 3 - Raspodjela eksperimentalnih faktora raspada F' za 3dF.

Na gornjoj slici prikazano je statističko okupljanje mjerenih F' s obzirom na broj uzoraka. Nula apcise predstavlja teoretski F, jedinica apcise jedinicu za F', dok ordinata predstavlja broj nađenih slučajeva mjerenih F' u granicama određenih na apcisi. Iz dijagrama se vidi da se prvih desetak minuta raspada uopće ne može uključiti u eksponencijalu s vremenom poluraspada od 37 minuta na kakvoj pretpostavci smo i numerički obradili teoretski pristup

ovome problemu. Prema tome, trebalo je detaljno ispitati kakva je ustvari krivulja raspada reteniranih radionuklida i to osobito u prvih 30 minuta kada se i odvijaju naša mjerenja. Najveća poteškoća kojom smo ovdje zatečeni je malena brzina brojenja koja se mora nadomjestiti ispitivanjem velikog broja uzoraka. Da bi tačnost bila što bolja, izvršeno je 100 mjerenja raspada radionuklida dobivenih 10-minutnim pumpanjem tokom 8 mjeseci i 50 mjerenja raspada radionuklida dobivenih 5, 15 i 20-minutnim pumpanjem tokom pet mjeseci. Na slici 4 prikazane su ovako dobivene krivulje raspada gdje su osim srednje vrijednosti nanesene i standardne devijacije raspodjele opaženih odstupanja od srednje vrijednosti.



Sl. 4 - Krivulje raspada prirodnih radionuklida u atmosferi uzoraka dobivenih u raznim vremenima pumpanja.

Iz prikazanih krivulja raspada možemo zaključiti slijedeće:

a/ Sve su krivulje (barem u 30 minuta) prilično dobro definirane eksponencijale iako se u 20-minutnoj nazire određena struktura,

b/ Vremena poluraspada sve su kraća s duljinom pumpanja što bi dalo naslutiti da se duljim pumpanjem nanose na filtrir papir pretežno kraće živući radionuklidi te da spektar nanesenih radionuklida nije isti kod raznih duljina pumpanja.

Na temelju ovih saznanja tj. ovisnosti duljine pumpanja i vremena poluraspada reteniranih radionuklida, te da je vrijeme poluraspada radionuklida dobivenih 10-minutnim pumpanjem 56 minuta a ne kao što smo prije pretpostavljali 37 minuta, izračunata je nova tabela odnosa početne brzine brojenja (A), optimalnog vremena brojenja (t) i teoretskih faktora F za 2dF i 3dF. Ove vrijednosti prikazane su na tablici 1.

S obzirom da su vrijednosti za funkciju DA/NE ostale i dalje iste (5, 7) to smo na uzorcima dobivenim 10-minutnim prosisavanjem zraka primijenili ova nova saznanja. Rezultat ovog provjeravanja novih teoretskih postavki prikazan je na tablici 2. U stupcima kako slijedi prikazano je: početni broj impulsa, trajanje metode T a to je broj minuta pumpanja, brojenja i razmaka između brojenja, broj uzoraka (N), broj standardnih devijacija (dF), teoretski F, srednja vrijednost eksperimentalnih faktora raspada ($\overline{F'}$), vrijednost funkcije DA/NE za tu srednju vrijednost eksperimentalnih faktora raspada u odnosu na teoretski faktor raspada. U posljednje četiri kolone date su vrijednosti funkcije DA/NE za

Tablica 1

Odnos između početne brzine brojenja, optimalnog vremena brojenja i teoretskog faktora raspada

A (imp/min)	t(2dF) (min)	t(3dF) (min)	F(2dF)	F(3dF)
500	3.1	4.1	0.92	0.91
400	3.2	4.2	0.92	0.90
350	3.3	4.4	0.92	0.90
300	3.5	4.6	0.91	0.89
250	3.7	4.9	0.91	0.89
200	4.0	5.3	0.89	0.88
150	4.4	5.8	0.88	0.87
100	5.1	6.6	0.88	0.85
90	5.3	6.9	0.87	0.84
80	5.5	7.2	0.87	0.84
70	5.7	7.5	0.87	0.83
60	6.0	7.9	0.86	0.82
50	6.4	8.4	0.85	0.81
40	6.9	9.0	0.84	0.80
30	7.5	9.9	0.83	0.78
20	8.7	11.4	0.81	0.75
10	10.9	14.3	0.76	0.70

Tablica 2

Raspodjela odgovora DA/NE dobivenih na 100 uzoraka nekontaminirane atmosfere

A (imp/min)	T (min)	N (broj uzoraka)	ndF	F (teor.)	F' (ekper.)	DA/NE	F'-SD DA/NE	F'+SD DA/NE	F' MIN. DA/NE	F' MAKS. DA/NE
10	42,7	1	n=2	0,76	0,80	0,260	-	-	-	-
	52,9		n=3	0,70	0,85	1,00				
20	36,1	3	n=2	0,81	0,98	4,85	0,004	>10	0,040	>10
	44,2		n=3	0,75	0,88	1,20	0,138	>10	0,198	>10
30	32,5	5	n=2	0,83	0,86	0,270	0,020	3,64	0,005	5,84
	39,7		n=3	0,78	0,81	0,038	0,001	5,14	<0,001	>10
40	30,7	10	n=2	0,84	0,89	0,470	0,018	>10	0,005	>10
	37,0		n=3	0,80	0,82	0,027	0,001	1,00	<0,001	6,05
50	29,2	11	n=2	0,85	0,85	0,135	0,021	0,875	0,009	7,41
	35,2		n=3	0,81	0,81	0,011	<0,001	0,306	<0,001	0,789
60	28,0	16	n=2	0,86	0,88	0,240	0,014	4,174	0,002	>10
	33,7		n=3	0,82	0,86	0,082	0,007	1,00	<0,001	4,48
70	27,1	15	n=2	0,87	0,88	0,184	0,029	1,17	0,003	2,94
	32,5		n=3	0,83	0,86	0,054	0,004	0,767	<0,001	2,21

Tablica 2 - nastavak

A (imp/min)	T (min)	N (broj uzoraka)	ndF	F (teor.)	F' (eksper.)	DA/NE	F'-SD DA/NE	F'+SD DA/NE	F' MIN. DA/NE	F' MAKS. DA/NE
80	26,5	4	n=2	0,87	0,87	0,135	0,029	0,630	0,016	0,857
	31,6		n=3	0,84	0,83	0,006	<0,001	0,105	0,001	0,185
90	25,9	5	n=2	0,88	0,87	0,097	0,001	7,39	<0,001	7,37
	30,7		n=3	0,84	0,82	0,004	<0,001	1,00	<0,001	0,570
100	25,3	15	n=2	0,88	0,82	0,018	0,001	0,513	<0,001	3,79
	29,8		n=3	0,85	0,81	0,001	<0,001	1,35	<0,001	>10
150	23,2	8	n=2	0,89	0,94	0,834	0,195	3,57	0,135	3,57
	27,4		n=3	0,87	0,88	0,022	<0,001	1,41	<0,001	2,82
200	22,0	4	n=2	0,91	0,93	0,329	0,135	0,801	0,135	1,25
	25,9		n=3	0,88	0,96	4,48	1,00	>10	0,472	9,49
350	19,9	1	n=2	0,92	0,91	0,082	-	-	-	-
	23,2		n=3	0,89	0,86	0,001				
500	19,3	1	n=2	0,92	0,92	0,135	-	-	-	-
	22,3		n=3	0,90	0,87	0,001				

eksperimentalne faktore raspada umanjene i povećane za standardnu devijaciju rasapa rezultata te za opažene minimalni i maksimalni eksperimentalni faktor raspada. Potrebno je napomenuti da su opažene vrijednosti funkcije DA/NE veće od 10 prikazane kao >10 a za manje od 0,001 kao $<0,001$. Iz prikazane tablice očito je da za sigurnu ocjenu da li postoji ili ne postoji svježa kontaminacija atmosfere nije dovoljna sigurnost niti za 3dF i to osobito za uzorke atmosfere koji pokazuju veoma nisku radioaktivnost. Ali tu je opet s druge strane povoljna situacija da pri stanju veoma niske prirodne radioaktivnosti atmosfere možemo brzo otkriti i relativno niske koncentracije svježih radioaktivnih padavina što nam u mnogim uvjetima nuklearnog rata ili velikih akcidenata može biti od dragocjene koristi.

Zaključak

Iz iznesenih rezultata mogu se dati slijedeći zaključci:

1. Krivulja raspada (barem u prvih 30 minuta) reteniranih radionuklida na filtrir papiru dobivenih prosisavanjem zraka u raznim vremenima je eksponencijala sa sličitim vremenima poluraspada ovisno o duljini pumpanja.

2. Uvođenjem novih saznanja o odnosima duljine intervala brojenja i razmaka između brojenja te pravih vremena poluraspada povećava se sigurnost procjene stanja kontaminacije atmosfere ali još nije dovoljna a da bismo mogli biti zadovoljni.

3. S obzirom na povećanje duljine metode u odnosu na povećanje sigurnosti (tj. broja dF) izgleda da je bolje povećavati duljine intervala brojenja nego ponavljati uzimanje uzoraka a što će biti i predmet naših daljnjih istraživanja.

L i t e r a t n r a

1. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-3, 1967.

2. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-6, 1968.

3. Popović V., Picer M.: Mogućnost brze registracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata. III Simpozijum merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizujućeg zračenja, Banja Luka, 1967. Zbornik materijala, str.262.

4. Popović V., Picer M.: Utjecaj atmosferskih uvjeta i okoline na nivo prirodne beta radioaktivnosti atmosfere. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje 1969., str.688.

5. Bistrović M., Picer M. i Popović V.: Mogućnost brze regristracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata na osnovu njihovih krivulja raspada, A/ Teoretska razmatranja. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje 1969., str.617.

6. Popović V., Picer M. i Bistrović M.: Mogućnost brze regristracije radioaktivnih padavina u atmosferi u prisustvu prirodnih radioaktivnih elemenata na osnovu njihovih krivulja raspada, B/ Eksperimentalna provjera teoretskih razmatranja. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje 1969., str.625.

7. Izvještaj IMI JAZU, IMI-CB-7, 1969.

Nezavisnost pokazivanja doze od brzine doze definirana je prema maksimalno mogućoj brzini doze u polju lokalnih radioaktivnih padavina. Pri tome je pretpostavljeno da dozimetri za masovnu primenu nisu namenjeni za merenje primarnog neutronskog i gama zračenja nuklearnih eksplozija.

Maksimalna ugaona i energetska zavisnost dozimetra odredjena je iz ugaonih i energetskih raspodela doze (i brzine doze) na otvorenim (nezaštićenim) mestima i u najelementarnijim zaklonima i skloništima (delimično zaštićena mesta).

Eksploatacione karakteristike dozimetra zavise od performansi korisnika (npr. vojna jedinica, nuklearni institut, seosko stanovništvo itd.), ekonomskih, tehnoloških i drugih faktora. Mi nismo u stanju da ocenimo težine tih faktora, pa prema tome ne možemo ni definirati eksploatacione karakteristike dozimetara, koje bi istovremeno udovoljile svim vrstama korisnika.

Karakteristike doznog polja gama zračenja lokalnih radioaktivnih padavina zavise od vremena posle eksplozije, odnosa fisija-fuzija, tipa oružja, vrste eksplozije i frakcionacije. Medjutim, sa stanovišta ocene karakteristika dozimetra te promene gotovo da nemaju nikakvog praktičnog značaja, jer ako dozimetar zadovolji neke najstrože uslove, zadovoljit će i sve ostale.

A. Karakteristike doznog polja gama zračenja lokalnih radioaktivnih padavina

2. Definicije i standardi

Da bi se neodredjenosti nekih pojmova u dozimetriji lokalnih radioaktivnih padavina svele na najmanju meru uvedene su (i usvojene) neke definicije i standardi. Navodimo samo neke koje su potrebne za ovu analizu:

Trenutak eksplozije, H: Kalendarsko vreme (datum, čas i minut) izvršenja nuklearne eksplozije. Vreme posle nuklearne eksplozije obeležava sa H + t, gde je H trenutak eksplozije, a t (časovi) vreme posle eksplozije.

Standardi energetski spektar: Inicijalni energetski spektar gama zračenja u H + 1,12 h je usvojen za standard. Pri odredjivanju ovog standarda [1] vodilo se je računa o srednjim efektima frakcionacije i o zahtevu da standard bude najbliži proseku u prvih nekoliko sedmica posle H. Didgram ovog standarda je dat u literaturi [1].

KonZ: Oblast površine zemlje na kojoj su nataložene lokalne radioaktivne padavine (skraćenica od: Kontaminirano zemljište).

Idealizirani KonZ: Beskonačna, ravna površina Zemlje, koja je homogeno kontaminirana sa radioaktivnim padavinama koje imaju standardni energetski spektar.

Standardna brzina doze: Brzina doze na visini 0,915 m (3ft) iznad idealiziranog KonZ-a, (visina 0,915 m odgovara visini gonada srednjeg čoveka).

Faktor zaštite: Na KonZ-u se faktor zaštite definiše odnosom

$$F = \frac{P_o}{P} = \frac{1}{Y} \qquad (1)$$

gde je:

P_o - standardna brzina doze (ili doza).

P - brzina doze (ili doza) u bilo kojoj tački na KonZ-u (u zaklonu, skloništu, visoko u vazduhu itd.).

Recipročna vrednost faktora zaštite zove se koeficijent slabljenja, i obeležava se sa Y.

Nulta tačka: Normalna projekcija centra (nuklearne) eksplozije na površinu KonZ-a.

3. Maksimalna brzina doze na KonZ-u

Maksimalna brzina doze na KonZ-u je najveća u okolini nulte tačke i na početku traga radioaktivnog oblaka [2], i to u prvim vremenima posle H. Ova brzina doze ima dve komponente: od radioaktivnog oblaka iz atmosfere i

od nataloženih radioaktivnih padavina na KonZ-u. Procenjeno je [2] da za H + 0,5 h ova veličina može dostići vrednosti od $(5-10)\cdot 10^3$ R/h. To znači da se letalna doza (450R) akumulira u toku od 3 - 6 minuta. Za ovu analizu se usvaja P_{max} = 10.000 R/h.

4. Ugaona raspodela doze (i brzine doze) iznad idealiziranog KonZ-a:

Polazeći od standardnog energetskog spektra L. V Sprencer [1] je izračunao ugaonu raspodelu doze iznad idealiziranog KonZ-a. Rezultati njegovih proračuna su prikazani na slici 1. Na ordinati je data vrednost funkcije ℓ (d, cos θ), gde je d - visina iznad idealiziranog KonZ-a. Na apscisi je data vrednost cos θ , gde je θ - ugao koji se računa od okomice normalno spuštene iz detektora na horizontalnu ravan KonZ-a.

Funkcija ℓ (d, cos θ) predstavlja relativnu brzinu doze (ili dozu), tako da je normirana na jedinicu za d = 0,915 m:

$$\int_{-1}^{1} \ell(0{,}915;\cos\theta)\cdot d(\cos\theta) = 1 \qquad (2)$$

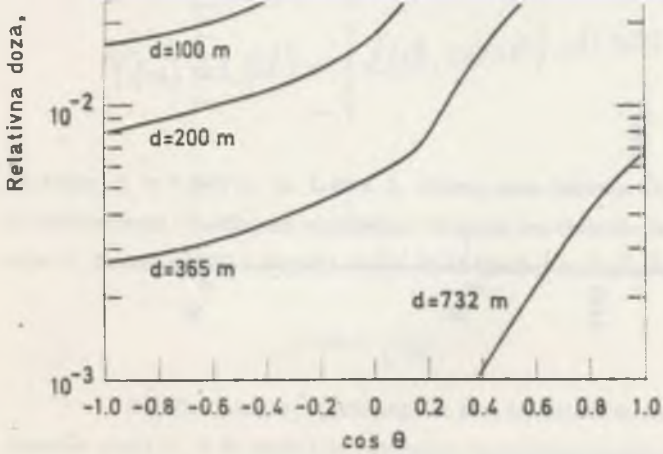
Sa slike 1 se može proceniti da do malih visina (d = 1 - 20 m) osnovni doprinos doze dolazi pod uglom od 70 do 95°, sa maksimalnom amplitudom u području od 85 - 90°.

5. Atmosferska reflekcija:

Ova veličina je definirana izrazom:

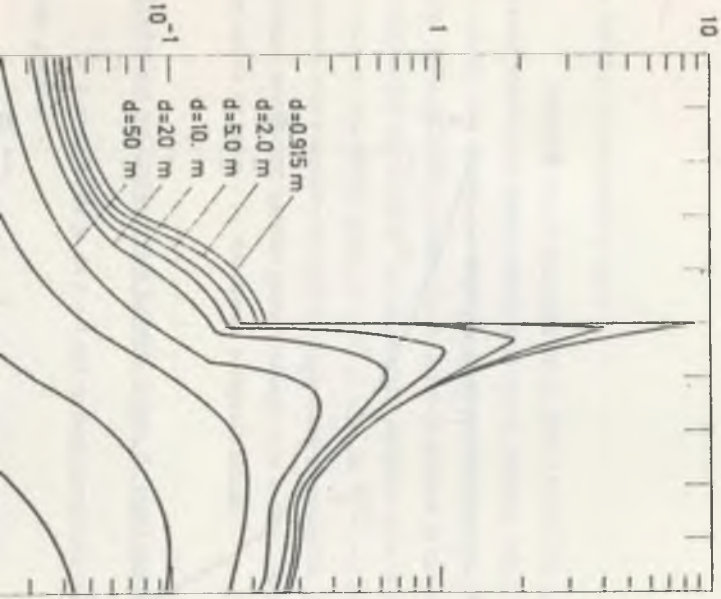
$$S(d) = \int_{-1}^{0} \ell(d,\cos\theta)\cdot d(\cos\theta) \qquad (3)$$

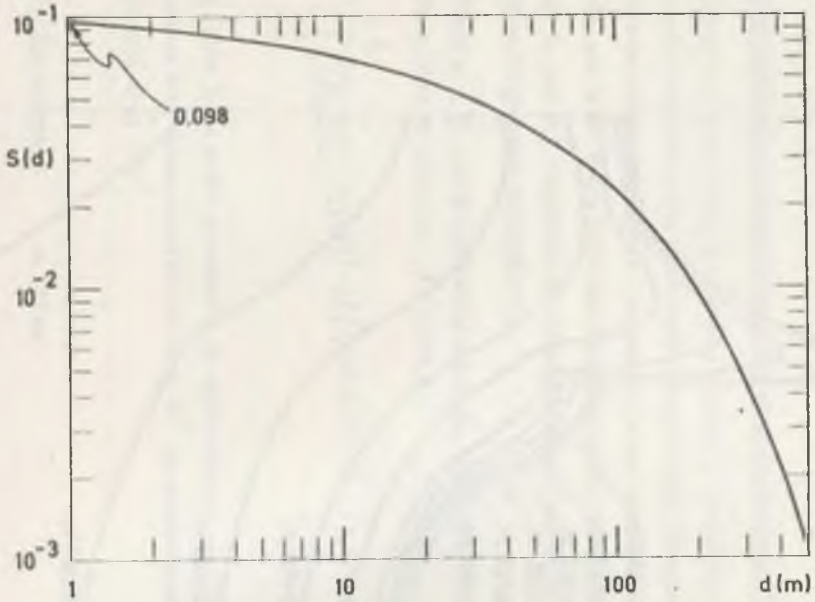
i predstavlja doprinos doze rasejanog gama zračenja koje dolazi pod uglom od θ = 90° do θ = 180°, tj. doprinos rasejanog zračenja koje se "reflektuje" od gornjeg dela atmosfere.


Relativna doza,
d=100 m
d=200 m
d=365 m
d=732 m
10^{-2}
10^{-3}
-1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
cos θ

SL.1

(relativne jedinice) $l(d, \cos\theta)$





SL. 2

Ova funkcija je prikazana na slici 2.

Interesantno je primetiti da je $S(0) = 0,098$. To znači da najprimitivniji zaklon daje faktor zaštite veći od 10. (Srednji zaklon daje faktor zaštite izmedju 20 i 50 (!), pod uslovom da je dekontaminiran). Iz elementarne teorije prolaska gama zračenja kroz materiju poznato je da gama zraci koji se rasprše pod uglom od 90° ne mogu imati energiju veću od $mc^2 = 0,511$ MeV-a. a oni koji se raseju pod uglom od 180° ne veću od $\frac{mc^2}{2} = 0,255$ MeV-a. Već na osnovu ovih elementarnih rasudjivanja može se zaključiti da je u ukopanim zaklonima energetski spektar gama zračenja vrlo mekan, jer sva doza unutar njega potiče od jedno - ili višestruko rasejanih fotona.

6. Koeficijent slabljenja doze u funkciji visine, d, iznad idealiziranog KonZ-a.

S obzirom da je za $d = 0,915$ m doza normirana na 1, to je za bilo koju visinu d

$$Y(d) = L(d) = \int_{-1}^{1} \ell(d, \cos\theta) \cdot d(\cos\theta) \tag{4}$$

Za svako $d > 0,915$ m, je $L(d) < 1$. Prema tome funkcija L (d) predstavlja istovremeno i koeficijent slabljenja. Diagram ove funkcije je prikazan na slici 3. Faktor zaštite u funkciji visine iznad KonZ-a je saglasno relaciji (1):

$$F(d) = \frac{1}{L(d)} \tag{5}$$

Detaljne analize [6] pokazuju da je K (d) praktično nezavisan od vremena posle H, (a to znači i od varijacija energetskog spektra gama zračenje) na visinama od 100 do 200 metara. Napominjemo da ova činjenica ima izuzetno veliku važnost za vazdušno radiaciono izvidjanje KonZ-a.

8. Ugaona raspodela broja fotona i energetskog fluksa iznad realnog KonZ-a

Ugaona raspodela broja fotona i energetskog fluksa iznad realnog KonZ-a snimljena je θ dana posle H, [4]. Rezultati tih merenja su pokazani na slici 4. Na ordinati je: N-relativni broj fotona, i ϕ = NE relativni energetski fluks. Na apscisi je ugao elevacije θ^{o}. Pošto je doza direktno proporcionalna sa energetskim fluksom, to se i sa ovog diagrama vidi da je maksimalni doprinos doze najveći oko horizontale. Napominjemo da druga polarna koordinata, azimut φ, nije uračunata, pošto se pokazuje da ugaona raspodela doze praktično ne zavisi od φ.. Energetski epektar u H + 9 dana vrlo je sličan standardnom spektru, pa se zbog toga diagram na slici 4 može smatrati reprezentativnim.

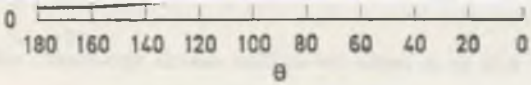
9. Ugaona raspodela srednje energije gama zračenja iznad realnog KonZ-a

Ugaona raspodela srednje energije gama zračenja iznad realnog KonZ-a prikazana je na sl. 5, [4]. Detaljan opis energetskog spektra u funkciji ugla θ prikazan je u literaturi [4]. Iz tih podataka se vidi da je za velike uglove θ, (od $\theta = 150 - 180^{o}$) velika količina gama zračenja u području od 0,05 do 0,25 MeV-a, što je u skladu sa elementarnom teorijom (vidi tačku 5). Sa sl. 5 se vidi da je srednja energija po fotonu najveća u okolini $\theta = 90^{o}$, odakle upravo dolazi i najveći doprinos doze. Uzeto preko svih uglova (od $0 - 180^{o}$) srednja energija po fotonu je jednaka 0,436 MeV-a. Za ovo vreme (H + θ d) drugi antori (7) su našli da je srednja energija po fotonu 0,518 MeV-a. Ove razlike se mogu protumačiti fenomenom frakcionacije, koji nažalost još do danas nije detaljno izučen.

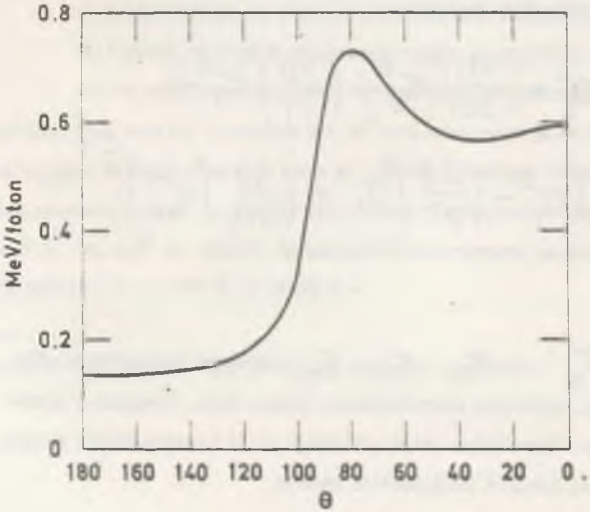
B. Analiza dozimetrijskih zahteva

10. Merni opseg masovnog dozimetra:

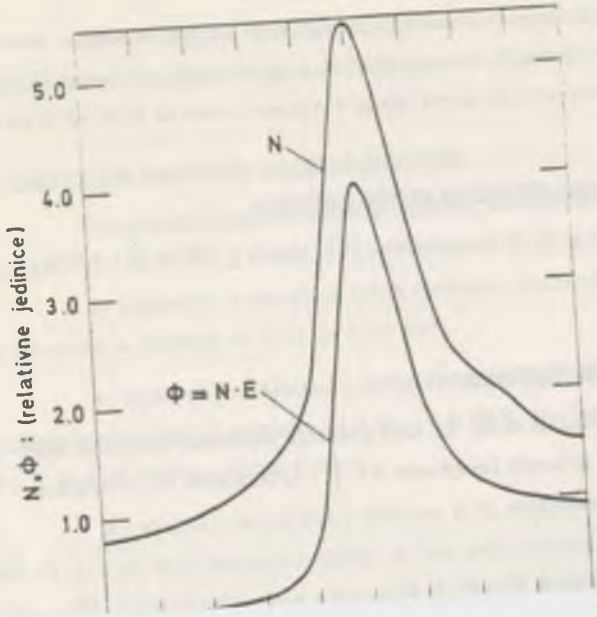
U ratnoj situaciji se ocena sposobnosti skupa ljudi odredjuje isključivo po somatskim efektima. Prvi uočljivi simptomi radiacione bolesti javljaju se oko 50 R, a manje promene krvne slike na oko 25-30R. Prema tome, donji


0
180 160 140 120 100 80 60 40 20 0
θ

SL. 4


0.8
0.6
0.4
0.2
0
MeV/foton
180 160 140 120 100 80 60 40 20 0
θ

SL. 5


N, Φ : (relativne jedinice)
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
N
Φ = N·E

prag mernog opsega dozimetra treba da je manji od 25 R. Gotovo totalna smrtnost nastupa pri dozi od 600 R. Iz ovog sledi da je gornji prag dozimetra 600 R. Na osnovu ovakvog rezonovanja merni opseg dozimetra treba da bude od 25 do 600 R.

11. Prihvatljiva srednja standardna greška dozimetra

Odredjeno je na IV simpozijumu [5] i iznosi ± 10% na D = 200 R i ± 5% na D = 450 R.

12. Komponente greške dozimetra:

U opštem slučaju doza, D, koju pokazuje dozimetar zavisi od energije gama zračenja E, polarnih koordinata θ i φ, brzine doze P, vremena t i od totalne (stvarne) doze D_t:

$$D = D(E, \theta, \varphi, P, t, D_t) \tag{7}$$

U prvoj aproksimaciji, koja je za svrhe ove analize sasvim opravdana, može se pretpostaviti da su argumenti u jedn. (7) medjusobno nezavisni (ili vrlo slabo zavisni, tj. da su svi korelacioni faktori jednaki nuli). U tom slučaju je totalna standardna greška data izrazom:

$$\sigma_T = \left[\left(\frac{\partial D}{\partial E}\right)^2 \sigma_E^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \theta}\right)^2 \sigma_\theta^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \varphi}\right)^2 \sigma_\varphi^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial P}\right)^2 \sigma_P^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial D_t}\right)^2 \sigma_{Dt}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{8}$$

gde su: σ_E, σ_θ, σ_φ, σ_P, σ_t, σ_{Dt} srednje kvadratne greške dozimetra po energiji, polarnim koordinatima, brzini doze, vremenu i totalnoj dozi - respektivno. Porcijalni izvodi odredjuju se iz karakteristika doznog polja gama zračenja na KonZ-u za najstrože uslove.

Mi ovde nećemo dati detaljnu analizu, koja je izvršena standardnim metodama teorije grešaka, nego samo rezultate uz najpotrebniji komentar*.

13. Prihvatljiva energetska zavisnost dozimetra

Pri odredjivanju ove veličine pošlo se je od sledećih poznatih činjenica:

a) Dozimetri u najvećem broju slučajeva imaju najveću energetsku zavisnost u području od 0,05 do 0,25 MeV.

b) Ljudstvo u zaklonima i skloništima prima najveći doprinos doze od rasejanog zračenja u području od 0,05 - 0,5 MeV, sa dominatnim učešćem od 0,1 do 0,25 MeV-a, (tačka 5, 8 i 9).

Na osnovu ovih podataka došlo se je do zaključka da u području od 0,07 do 0,25 MeV dozimetar nesme da ima veću energetsku zavisnost od $\pm$ (8 - 10%). (Uzeto preko celog spektra od 0,05 do 0,5 MeV, ona će biti manja od $\pm$ (4 - 5%).

14. Prihvatljiva ugaona zavisnost masovnog dozimetra

U ovom slučaju su uzete u obzir sledeće činjenice:

a) Ugaona zavisnost dozimetra opada sa povećanjem energije.

b) Na idealiziranom KonZ-u ugaona zavisnost doze data je sa funkcijom ℓ(d, cos θ). U okolini $\theta = 90^{\circ}$ ova zavisnost je najveća, ali je u tom slučaju srednja energija reda 0,7 MeV. U zaklonu su niže energije i ugaona raspodela doze je takodje vrlo strma. Uzimajući u obzir činjenicu datu od a), mi smo se odlučili da analiziramo ugaonu zavisnost dozimetra za područje od E = 0,07 do 0,25 MeV-a.

---

* Detaljan opis ove procedure biti će objavljen naknadno.

Na osnovu ovih podataka došlo se je do rezultata da ugaona zavisnost dozimetra nesme biti veća od ± 15% u intervalu od E = 0,07 do 0,25 MeV. (Uzeto preko celog spektra od 0,05 do 0,5 MeV-a i preko celog prostornog ugla, ukupna "ugaona" greška neće biti veća od ± 4 - 5%).

15. Zavisnost pokazivanja dozimetra od brzine doze

Pri ovoj analizi pošlo se je od argumenata datih u tački 3. Na temelju toga je izračunato da dozimetar nesme da ima veću zavisnost pokazivanja doze od brzine doze od ± 5% u području od $P = (0 - 10^4)$ R/h.

16. Bledjenje dozimetra

Ovaj parometar zavisi od maksimalnog vremena očitavanja posle ozračivanja. Ako dozimetar treba da posluži kao trajan dokument, tada blednjene treba da bude jednako nuli barem u toku prvih 4 - 10 godina posle ozračivanja. U ratnim uslovima se može postaviti blaži zahtev, tako da dozimetar promeni svoje pokazivanje za ± 5% nakon 4 dana posle ozračenja.

17. Linearnost dozimetra

Treba da je bolja od ± 5% u intervalu od 25 - 600 R.

C. Zaključak

18. Dozimetri za masovnu upotrebu

Dozimetri za masovnu upotrebu trebalo bi da zadovolje sledeće zahteve:

a) da im je tačnost u svim realnim uslovima merenja bolja ili jednaka ± 10% na 200 R ili ± 5% na 450 R;

b) merni opseg od 25 - 600 R;

c) energetska zavisnost treba da je manja od 8 - 10% u intervalu od 0,07 do 0,25 MeV.

d) ugaona zavisnost treba da je manja od ± 15% u intervalu od 0,07 do 0,25 MeV;

e) zavisnost pokazivanja doze od brzine doze treba da je manja od ± 5% u intervalu brzine doze od 0 do 10^4 R/h;

f) bledjenje dozimetra treba da je manje od ± 5% u toku prva 4 dana posle ozračivanja dozimetra;

g) linearnost dozimetra treba da je bolja od ± 5% u intervalu od 25 - 600 R.

19. Iz analize doznog polja gama zračenja na KonZ-u zaključeno je da:

a) Obični ukopani zaklon, koji je dekontaminiran, daje faktor zaštite veći od 10, a mogu se očekivati i vrednosti od 30 - 50.

b) U zaklone i skloništa dopiru samo rasejani gama zraci čija je energija manja od 0,5 MeV.

c) Maksimalno učešće doze u zaklonu dolazi od gama zračenja koje ima energiju od 0,07 do 0,25 MeV.

d) Na otvorenom mestu na KonZ-u maksimalno učešće u dozi čine gama zraci koji dolaze pod uglom od 70 - 95°.

e) Srednja energija gama zračenja po fatonu iznosi od 0,43 do 0,8 MeV, u prvih nekoliko sedmica posle H.

20. Analiza dozimetrijskih zahteva

Analiza dozimetrijskih zahteva izvršena je na bazi podataka o karakteristikama doznog polja gama zračenja na KonZ-u, na bazi korelacije

jednokratno-akumulirana doza - ljudski skup, i na bazi samatskih efekata radiacione bolesti ljudskog skupa.

Ovde nisu analizirani dozimetri koji bi merili akumuliranu dozu od primarnog neutronskog i gama zračenja nuklearnih eksplozija. Nuklearna oružja male snage daju najveći efekt upravo po primarnom nuklearnom zračenju. Danas su takva oružja masovna i raspoloživa. Zbog toga rešavanje masovnih dozimetara za ovu namenu postoje neophodno. Iz toga slede daljnji zadaci analiza i razvoja masovnih dozimetara.

Literatura:

1. L.V. Spencer: Structure Shielding Against Fallout Radiation From Nuclear Weapons. NBS, Monograps 42; Washington 1962.

2. The Effects of Nuclear Weapons. (Editor: S.Glasstone); USAEC, Washington 1964.

3. C.M. Huddleston et.d: Ground Roughness Effects on the Energy and Angular Distribution of Gamma Radiation from Fallout. CEX-62.81 (Final): Washington D.C. 1964.

4. A.L. Frank: Gamma - Radiation Characteristics - Angular Distribution over a Desert Terrain Fallont Field; Health Physics, Vol.12, pp. 1715-1731; (1966).

5. V. Vojvodić: Prihvatljive greške merenja doze i brzine doze u akcidentalnim i vanrednim situacijama; Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti (II, str. 512).

6. Ju A: Izraelj, E.D. Stukin: Gamma izlučenije radioaktivnih vypadenij; Atomizdat; Moskva 1967.

7. C.F. Miller: USNDRL - TR - 829 (1965).

V JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI (Bled, 6-9.X 1970.)

IGOR DVORNIK
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

Nr / 22

ULOGA MASOVNE RADIOLOŠKE DOZIMETRIJE U UVJETIMA UGROŽENOSTI RADIOAKTIVNIM PADAVINAMA

U nuklearnom ratu ili u slučaju velikih mirnodopskih nuklearnih nesreća izazvanih eksplozijom nuklearne bombe stanovništvo je najviše ugroženo gama zračenjem radioaktivnih padavina. U prvim satima nakon nuklearne eksplozije osnovna mjera zaštite je boravak u skloništu, pri čemu korisni zaklon može pružiti i svaka zgrada (određeno mjesto u zgradi, podrum i sl.) pod uvjetom da je početni nivo zračenja na otvorenom dovoljno nizak i da poznajemo faktor zaštite za izabrani dio zgrade. Zavisno od početnog nivoa zračenja boravak u skloništu trajao bi od nekoliko dana do dvije sedmice ili duže. Za to vrijeme kretanje izvan skloništa je potpuno zabranjeno ili vrlo ograničeno, pa je u tom periodu stanovništvo zaštićeno u mjeri u kojoj je sposobno za samopomoć. Veza sa centralnim organima zaštite i pomoći može biti prekinuta. Podatke o stvarnoj opasnosti od zračenja, o promjeni nivoa zračenja izvan skloništa po vremenu, o nivou zračenja u skloništu, o dopustivom trajanju nužnog izlaska iz skloništa, o tome kada se može očekivati slobodniji izlaz iz skloništa, o opasnim dozama koje su primili stanovnici skloništa i o tome tko je sposoban da ode po namirnice ili vodu, a kome treba pošteda, te druge podatke od kojih će jako zavisiti sposobnost samopomoći - sve to će mnogi građani morati odrediti sami, na osnovu vlastite sposobnosti i s mjernim instrumentima koje posjeduju. Većina građana u našoj zemlji morat će još dugo

drugi kod kuće. Upute bi trebale biti toliko jasne, da bi mogle poslužiti samoizobrazbi u momentu nastupa opasnosti. Dozimetri, instrumenti (nekvarljivi, s jednostavnim i jasnim uputama za upotrebu) i dozimetričari morali bi biti prisutni u dovoljnom broju i teritorijalno ravnomjerno raspodijeljeni (svaka zgrada!). Na taj način bi u slučaju opasnosti vjerojatnost akcije dozimetričara prema njihovoj namjeni bila znatna (ako bi njihov broj bio znatnije veći od minimalno potrebnog), premda nije vjerojatno da bi velika većina djelovala na mjestu koje je bilo unaprijed predviđeno. Iz ovakve analize priprema dozimetrijske samopomoći izlazi da se te pripreme moraju masovno provesti, a otuda slijedi da se moraju od početka zasnivati na probuđenom ličnom interesu građana i dobrovoljnosti. Dozimetričar bi morao u neku ruku biti svaki obrazovaniji građanin, a izobrazba bi većim dijelom mogla biti i samostalna, tj. slična dopisnoj školi - opet zasnovana na želji pojedinca da se štiti i snabdije sredstvima zaštite.

Jasno je iz izloženoga da bi veći dio troškova u snabdijevanju ličnim dozimetrima i masovnim instrumentima trebao počivati na kupovini sredstava od strane građana. Za našu je zemlju pri tom razumljivo da se ova postavka može ostvariti samo ako su sredstva dozimetrije krajnje jeftina, garantirano nekvarljiva i toliko jednostavna, da onaj tko ih kupuje može i iz elementarnih podataka o sredstvu spoznati da kupuje nešto što predstavlja za njega lično trajnu vrijednost. Posebno je u odnosu na masovne instrumente neprihvatljiva svaka potreba periodične provjere ili tehničkog održavanja, a teško je zamisliti efikasnost čak i onda ako su za njihov rad potrebne proste električne baterije.

Ostvarenje ovdje navedenih osnovnih pretpostavki masovne radiološke dozimetrije, pretpostavki u čiju ostvarivost malo

tko u svijetu vjeruje jer nema odgovarajućih dozimetara, dalo bi masovnoj dozimetriji pravo mjesto u okvirima organiziranja civilne radiološke zaštite, mjesto osnovnog preduvjeta za samopomoć. Ovdje namjerno i radi uštede vremena nismo govorili o također bitnoj ulozi masovne lične dozimetrije, ličnoj dozimetriji za potrebe medicinske trijaže stanovništva. Ona je naime opće poznata i u literaturi dobro obrađena. Budući da je doza očitana na dozimetru samo jedna od indikacija potrebnih liječniku za procjenu težine radijacione bolesti, isti lični dozimetri mogu se koristiti za potrebe samopomoći i za potrebe medicinske trijaže (razumljivo, uz određena pravila koja moraju biti sadržana u uputama za korištenje ličnih dozimetara, u uputama za rad "dozimetričara-amatera" i u cijeloj koncepciji radiološke zaštite u vanrednim uvjetima).

Treba konačno napomenuti da se ovo izlaganje prije svega odnosi na probleme teške ratne situacije i sličnih situacija u kojima je početni nivo zračenja takav da prijeti smrću nezaklonjenim osobama. Od takvih slučajeva do lagane radioaktivne kontaminacije terena postoji cijeli spektar situacija čiji optimalni tretman traži posebne mjere. Njihovo razmatranje sa stanovišta masovne dozimetrije ovdje nije moguće.

U našem slijedećem izlaganju govorit ćemo o mogućnostima koje u smislu ostvarenja materijalnih pretpostavki masovne radiološke dozimetrije pruža razvoj novog tipa kemijskih dozimetara i vizuelnih čitača, ostvaren u Institutu "Ruđer Bošković".

INTERKOMPARACIJA AKCIDENTALNIH DOZIMETARA ZA NEUTRONSKO I GAMA ZRAČENJE NA UREDJAJU CRAC (VALDUC - FRANCUSKA)

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

U v o d

Veliki porast broja nuklearnih energetskih postrojenja i pogona u kojima se fisibilni materijal obradjuje i stokira u količinama većim od minimalnih kritičnih količina, uslovio je da Medjunarodna Agencija za Atomsku energiju (MAAE) pokrene akciju za stvaranje koordiniranog istraživačkog programa za povećanje sigurnosti i tačnosti dozimetrijskih merenja.

Februara 1969 god. je u organizaciji MAAE održano prvo panel savetovanje sa temom "Nuclear Accident Dosimetry System"(1). Na savetovanju je analizirano stanje u ovoj oblasti i definisan niz preporuka koja služe kao baza za stvaranje i razvoj koordiniranog istraživačkog programa.

U toku 1969/70 god., u cilju koordinacije rada, MAAE je sklopila 10 saglasnosti i 1 ugovor o saradnji i istraživanju sa institutima iz Velike Britanije, Indije, Kanade, Francuske, Madjarske, Zap.Nemačke, Poljske, SSSR, SAD, Čehoslovačke i Jugoslavije, a u toku su pregovori sa Belgijom,Italijom i

Japanom.

Na osnovu preporuka panela[1] i konsultovanja vodjenih prilikom sklapanja ugovora MAAE je u periodu 15 - 26 juni 1970 god. organizovala interkomparaciju akcidentalnih dozimetara i koordinaciono savetovanje o nuklearnoj akcidentalnoj dozimetriji.

Interkomparacioni eksperimenti su obavljeni u francuskom centru za nuklearna istraživanja Valduc u blizini Dijom-a, a savetovanje u CEA u Parizu.

Opis postrojenja CRAC

Uporedno ispitivanje dozimetara je izvedeno u radijacionom polju eksperimentalnog postrojenja CRAC, koje je izradjeno radi proučavanja akcidenata kritičnosti i njihovih posledica. (Naziv CRAC je skraćenica od "Conséquences Radiologiques des Accidents de Criticité").

Uredjaj CRAC je počeo da radi novembra 1968 god. i do interkomparacije je izvedeno 26 "akcidenata" koji su simulirali različite uslove koji se realno mogu pojaviti pri transportu i u pogonima za proizvodnju i preradu fisibilnog materijala. Prilikom ovih eksperimenata vršena su merenja i ispitivanja sa dva osnovna aspekta:

- fizika proučavanja akcidenata: kinetika, broj fisija, emitovano zračenje, prateći efekti (temperatura, pritisak, oslobadjanje gasova itd)
- proučavanje posledica akcidenata sa aspekta zaštite od zračenja: lična dozimetrija, dozimetrija

prostora, poznavanje fluksa i spektra zračenja, fisioni produkti, biološki aspekti, itd.

Princip rada CRAC-uredjaja se sastoji u dovodjenju ras rastvora uranijum nitrata (uran obogaćen do 93%) do kritične zapremine, što omogućava da se simuliraju tri osnovna tipa akcidenta kritičnosti:

- akcidenti sa sporim razvojem,
- akcidenti sa brzim razvojem i oscilacijom snage i
- akcidenti sa "eksplozivnim" razvojem.

Zbog odsustva biološke zaštite i relativno čiste geometrije, spektar fisionih neutrona je vrlo blizu čistom fisionom spektru, što znači da je relativni udeo termalnih i epitermalnih neutrona nizak.

Opis eksperimenta

Ekipe učesnika su za interkomparaciju donele dozimetre koji su u njihovim zemljama namenjeni za dezimetriju polja i/ili odredjivanje individualno primljenih doza u akcidentalnim uslovima. Ekipa iz naše zemlje je u merenjima učestvovala sa akcidentalnim dozimetrom iz Instituta "Boris Kidrič" i hemijskim dozimetrom iz Instituta "Rudjer Bošković".

Za interkomparacione merenja izvršena su dva eksperimenta na uredjaju CRAC. U prvom su dozimetri ozračeni čistim fisionim spektrom, a u drugom fisioni spektar je deformisan betonskim blokom debljine 20 cm. Oblici neutronskih spektara

Tabela 1

	Prvi eksperiment	Drugi eksperiment
Datum	17.0.1970	18.06.1970
Početak fisije	12h 06'	10h 20'
Koncentracija urana (ukupna)	89 gr/lit.	89 gr/lit.
Kritična visina	38,35 cm	38,35 cm
Nivo početka	12 cm	12 cm
Protok	1500 l/h	1500 l/h
Krajnji nivo	58,35(H_c+20cm)	H_c + 20 cm
Trajanje eksperimenta posle prelaska H_c	70 sec	9 min
Vreme do uspostavljanja krajnjeg nivoa	80 sec	82 sec
Procenjeni broj fisija	$3 \div 3{,}3.10^{17}$	-

za oba slučaja su prikazani na slici 1. Osnovni podaci o radu CRAC-a za oba eksperimenta su dati u tablici 1. Kao što se iz tablice vidi, drugi eksperimenat je zbog betonske zaštite trajao znatno duže, da bi se na mestu ozračivanja dobile doze istog reda veličine kao u prvom eksperimentu.

Referentna merenja i definisanje neutronskog spektra obavila je dozimetrijska ekipa iz francuskog Instituta za

nuklearna istraživanja iz Cadarache-a. Ovoj ekipi je od strane MAAE bila poverena i cela organizacija eksperimenata i merenja.

Interkomparacija je vršena simultanim ozračivanjem dozimetara u vazduhu i na fantomima tipa REMCAL. Na slici 2 se vidi raspored u sali za ozračivanje pripremljen za prvi eksperiment. Šematski prikaz rasporeda elemenata u eksperimentima je prikazan na slici 3. Eliptične crne tačke označavaju mesta fantoma, a kvadrati mesta dispozitiva za merenje u vazduhu. Oznake 1 i 2 se odnose na prvi, odnosno drugi eksperiment. Položaj fantoma u oba eksperimenta je bio isti, što sa dispozitivima za odredjivanje doze u vazduhu nije bio slučaj. U svakom eksperimentu su oba fantoma, odnosno dispozitiva bila u izodoznom polju, što je prethodnim merenjima proverila ekipa iz Cadarache-a.

Jedan čas nakon ozračivanja ekipe su dobile dozimetre da bi mogle da pristupe potrebnoj obradi i merenjima. Ovaj posao su učesnici obavili na tri različita načina:

- korišćenjem sopstvene opreme i opreme i ljudstva koji su im stavljeni na raspolaganje prema prethodnom dogovoru od strane francuskih instituta za nuklearna istraživanja(SAD, Zap.Nemačka, Italija, Kanada, Jugoslavija i MAAE),
- korišćenjem opreme koju su ekipe donele (Velika Britanija i Francuska),
- slanjem dozimetara u matični institut na obradu (Poljska, Indija i Madjarska).

Odmah po završetku potrebnih merenja komponenata dozimetara, započelo je koordinaciono savetovanje, tako da je bilo moguće samo grubo obraditi rezultate merenja i dati ih kao preliminarne vrednosti. Konačni rezultati će prema dogovoru biti dostavljeni dozimetrijskoj ekipi iz Cadarache-a,koja će ih definitivno srediti i dostaviti MAAE i svim učesnicima.

K o o r d i n a c i o n o s a v e t o v a n j e

Prvi deo savetovanja obuhvatio je detaljno izlaganje svakog učesnika o dozimetrima koji su korišćeni u eksperimentima i metodama interpretacije i elavuacije rezultata. Kroz diskusiju koja pri tome vodila konstatovano je da su aktivacioni detektori još uvek najviše korišćeni i najpogodniji za odredjivanje neutronskih doza u akcidentalnim slučajevima. Što se tiče dozimetrije gama zračenja izbor detektora je veći, ali problem uticaja neutronskog zračenja nije ni za jedan detektor rešen na zadovoljavajući način.

Prikazivanje i diskusija preliminarnih rezultata interkomparacije je bila druga tačka savetovanja. Na unapred dogovoreni način svaka ekipa je trebalo da da podatke o obliku neutronskog spektra, neutronskoj i gama dozi u vazduhu i apsorbovanoj neutronskoj i gama dozi u fantomu. U tablici 2 date su vrednosti doza koje su pojedine ekipe izmerile u prvom, a u ~~drugo~~ tablici 3 u drugom eksperimentu. Referentne vrednosti su označene sa CRAC.ST.

Diskutujući dobijene rezultate i metode izračunavanja doza, zaključeno je sledeće:

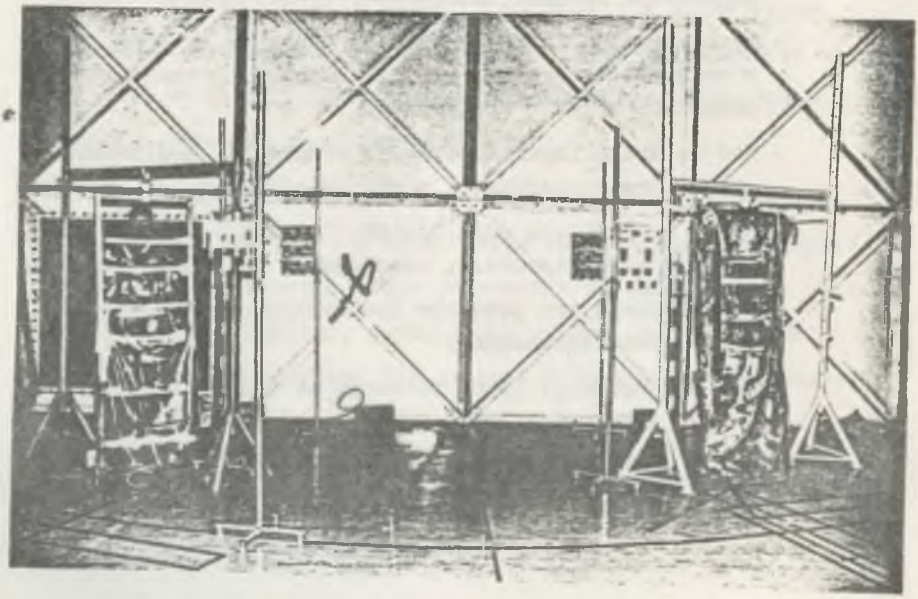
- Uzimajući u obzir da su prikazani rezultati samo preliminarne vrednosti, da izračunavanje doza nije vršeno istim postupkom i da za fantom nisu sve doze obračunate u odnosu na tkivo, dobijeni rezultati se mogu smatrati zadovoljavajućim,
- Zbog razlika u metodama izračunavanja i načina kojima se izražava doza, sve rezultate merenja treba sakupiti i obraditi po istom postupku, da bi se dobila mogućnost realnog prodenjivanja koji dozimetar zadovoljava kriterijume definisane na panel-sastanku februara 1969 god. u Beču.
- Obavljena interkomparacija se može smatrati kao početak rada na stvaranju zajedničkih metoda merenja, obrade rezultata i interpretacije doza. Zbog toga je predloženo da MAAE već u toku 1971 god. organizuje sledeća interkomparaciona merenja.
- Svaka naredna interkomparacija treba da se obavi u neutronskom spektru koji je karakterističan za jedan tip mogućih akcidenata.
- Već za drugu interkomparaciju pripremiti jedinstven način obrade podataka i odredjivanja doza.
- Da bi se postigla veća brzina, tačnost i autonomija ekipa u eksperimentima, usvojeno je da ubuduće svaka ekipa donese sve potrebne instrumente za merenje komponenata dozimetara.
- Kao najpogodniji izvor zračenja za eksperimente u u 1971 god. predložen je HPRR u Oak Ridge-u.

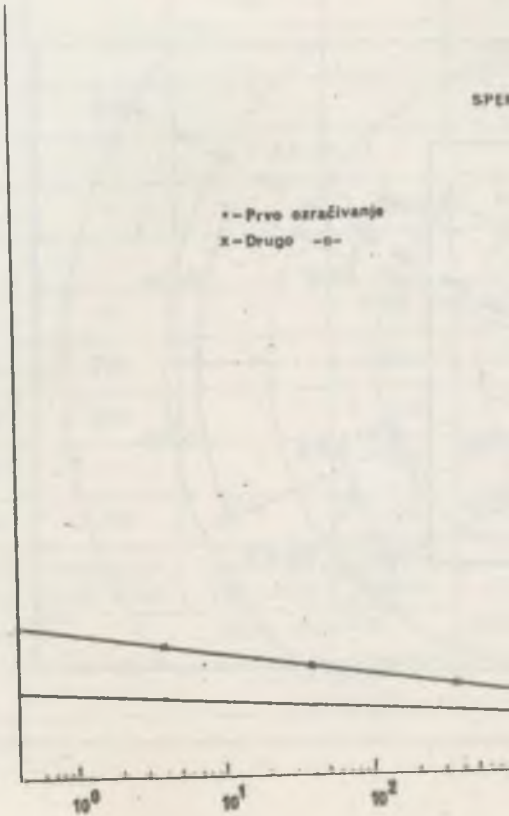
Treći završni deo savetovanja se sastojao u izlaganju programa na kome će svaka ekipa raditi do sledećeg koordinacionog sastanka.

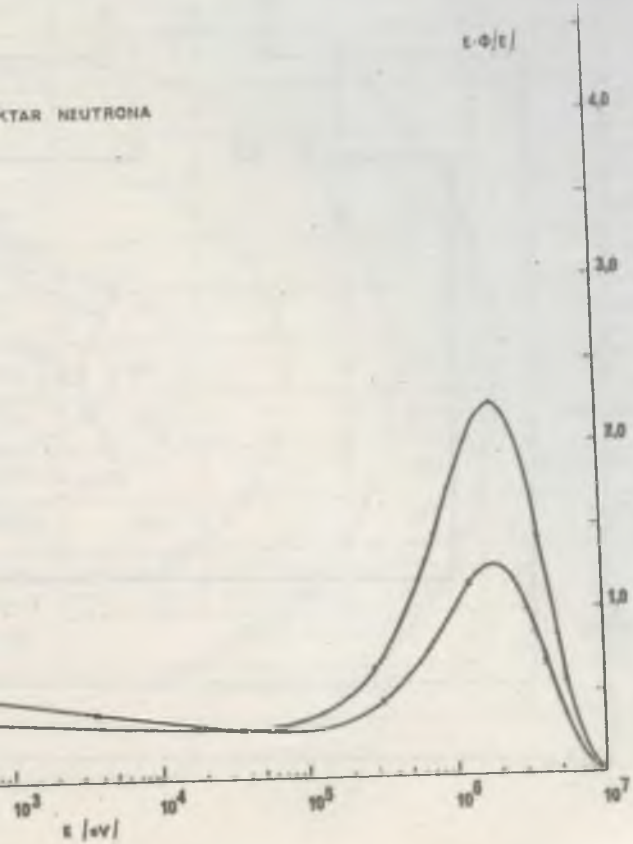
Smatramo da je interkomparacija sa koordinacionim savetovanjem bio retko koristan sastanak stručnjaka iz zemalja koje rade na razvoju metoda akcidentalne dozimetrije.

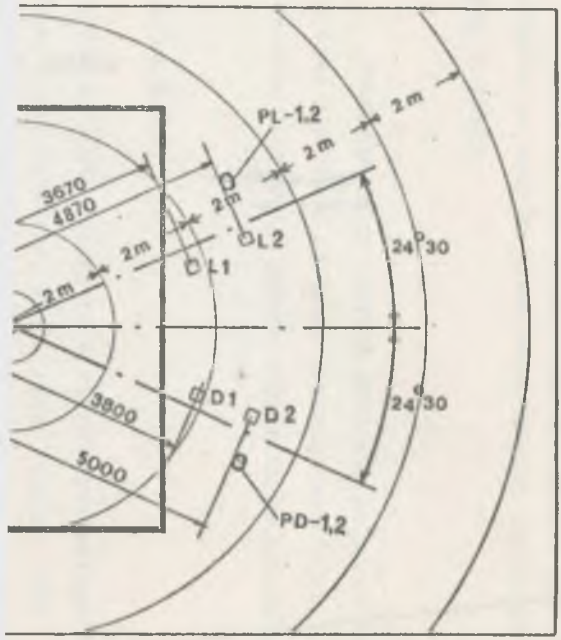
R e f e r e n c a

1. "Nuclear Accident Dosimetry Systems" Proceedings of a Panel, Vienna, 17-21 February, 1969, IAEA, Vienna, 1970




SPE
•–Prvo ozračivanje
x–Drugo –o–
10^0
10^1
10^2


KTAR NEUTRONA
E·Φ(E)
4,0
3,0
2,0
1,0
10³
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
E [eV]


PL-1,2
2m
2m
3670
4870
2m
2m
L2
L1
24°30
2m
D1
D2
24°30
3800
5000
PD-1,2

PRVI EKSPERIMENAT

ZEMLJA	DOZA U VAZDUHU				LIČNA DOZA			
	NEUTRON DOSE			GAMMA	NEUTRON DOSE			GAMMA
	KERMA /h·erg·g^{-1}/	FIRST COL. DOSE /rad/	MULTI. COL. DOSE /rad/	DOSE /rad/	KERMA /h·erg·g^{-1}/	FIRST COL. DOSE /rad/	MULTI COL. DOSE /rad/	DOSE /rad/
KANADA	555	–	621	>500	344	–	395	400
ZAP. NEMAČKA	395	–	–	394	234	–	–	303
FRANCUSKA	468	–	612	495	316	–	448	340
VEL. BRITANIJA	320	–	380	750	220	–	253	520
MAĐARSKA	–	–	–	–	–	–	–	–
ITALIJA	–	–	–	–	–	–	–	–
MAAE	322	–	–	425	185	–	–	286
INDIJA	–	–	–	–	–	–	–	–
POLJSKA	–	–	–	–	–	–	570	–
SAD	–	404	–	400	–	–	–	298
JUGOSLAVIJA	–	380	–	420	–	213	–	233
CRAC	390	–	525	407	233	–	340	265

DRUGI EKSPERIMENAT

ZEMLJA	DOZA U VAZDUHU				LIČNA DOZA			
	NEUTRON DOSE			GAMMA	NEUTRON DOSE			GAMMA
	KERMA /h·erg·g^{-1}/	FIRST COL. DOSE /rad/	MULTI. COL. DOSE /rad/	DOSE /rad/	KERMA /h·erg·g^{-1}/	FIRST COL. DOSE /rad/	MULTI. COL. DOSE /rad/	DOSE /rad/
KANADA	231	–	265	285	227	–	261	370
ZAP. NEMAČKA	119	–	–	211	114	–	–	225
FRANCUSKA	124	–	229	212	143	–	245	225
VEL. BRITANIJA	82	–	99	330	80	–	99	300
MAĐARSKA	–	–	–	–	–	–	–	–
ITALIJA	–	–	–	–	–	–	–	–
MAAE	85	–	–		75	–	–	241
INDIJA	–	–	–	–	–	–	–	–
POLJSKA	–	–	>140	–	–	–	>124	–
SAD	–	87	–	179	–	–	–	222
JUGOSLAVIJA	–	101	–	205	–	93	–	240
CRAC	115	–	221	194	–	–	–	–

DOZIMETRIJSKO ISPITIVANJE I KARAKTERISTIKE LIČNOG HEMIJSKOG DOZIMETRA ZA VANREDNE USLOVE

Živadinović M., Jovanović F., Ilić R.
Dvornik I.

DOZIMETRIJSKO ISPITIVANJE I KARAKTERISTIKE LIČNOG HEMIJSKOG DOZIMETRA ZA VANREDNE USLOVE

M.Živadinović, F.Jovanović i R.Ilić
Institut za tehničko-medicinsku zaštitu, Beograd

i

I.Dvornik
Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

Uvod

O hemijskom sistemu etilalkohol-hlorbenzol i procesu radiolize, na čemu se zasniva ovaj hemijski dozimetar za gama zrake, saopštavano je nekoliko puta [1,2] . Opis dozimetra i njegovog čitača sa vizuelnim kolorimetrijskim očitavanjem, koji je namenjen za dozimetriju u vanrednim uslovima, biće uskoro publikovan.

Valjanost jednog dozimetra kao što je poznato definišu: namena, kvalitet informacija koje se traže, korisnik informacija, postupci i organizacija dozimetrijske aktivnosti i drugo. Nažalost, još ne postoji dozimetar za univerzalnu namenu, koji bi zadovoljio sve dozimetrijske i tehničke zahteve. Očigledno je da zahtevi za dozimetre za profesionalnu redovnu dozimetrijsku kontrolu moraju da se razlikuju od onih za vanredne i ratne radijacione uslove, u kojima je verovatno da ljudstvo može da primi visoke doze zračenja.

Dozimetriju u vanrednim uslovima za gama zrake karakterišu: merenje ekspozicionih doza iznad desetak rad-a i u opsegu energija od 0,1 do nekoliko MeV. Namena te dozimetrije je u Armiji, Civilnoj zaštiti i kod nuklearnih instalacija kod kojih potencijalne havarije mogu da budu praćene prekomernim ozračivanjem. Izmerene doze služe kao deo podataka, potrebnih za odredjivanje optimalnog medicinskog tretmana ozledjenih i za procenu radne i borbene sposobnosti ljudstva u datome trenutku.

Ovaj lični hemijski dozimetar je ispitivan i razmatran sa tačke gledišta praktične dozimetrije u vanrednim uslovima.

Eksperimentalni rad

Kao izvor gama zraka korišćena je "kobaltna bomba" - kobalt 60 od oko 400 Ci a X zraka rendgen aparat "Philips" za terapeutska ozračivanja u Institutu "Rudjer Bošković", Zagreb.

Dozimetri za ozračivanje postavljani su na drveni "fantom" čime se imitira ljudsko telo. Pozicija dozimetara odredjena je odstojanjem od izvora zračenja na kome je metodama kalibrisanja izmerena ekspoziciona doza.

Kalibrisanje je vršeno jonizacionim komorama "Victoreen" i hemijskim sekundarnim dozimetrijskim standardom. Za "kobaltne" zrake korišćena je komora od 400-1300 keV,eff sa greškom merenja ±5% a za X zrake komora od 30-400 keV,eff sa greškom merenja ±10%. Hemijski sekundarni standard imao je prinos $1,71 \times 10^{-3}$ jedinica ekstinkcije po jedinici "rad". Odredjen je pomoću apsolutnog Fricke-ovog dozimetra čiji prinos G je 15,45 molekula Fe^{3} /100 eV. Medjusobno odstupanje rezultata kalibrisanja iznosilo je najviše 1,4%.

Na odstojanju 41,5 cm od izvora gama zraka na primer, pri kalibrisanju, izmerena je ekspoziciona doza polja zračenja 3,39 r/s sa reproduktivnošću od ±1%.

Podaci za linearnost pokazivanja doza dobijeni su ozračivanjem 40 dozimetara sukcesivno postavljanih na "fantom" i pri brzini doze od 12.2000 r/h gama zraka primili su 66 različitih doza u opsegu do 700 rad.

Podaci za ocenu uticaja brzine doze dobijeni su tako, što su dozimetri ozračivani gama zracima sa brzinama doze 138.000, 12.200, 65 i 3,7 r/h.

Podaci za ugaonu zavisnost dobijeni su ozračivanjem dozimetara gama zracima pri 65 r/h pod uglovima prema izvoru zračenja 0,30, 45 i 90 stepeni. Odstojanje od izvora zračenja bilo je 3,50 m.

Podaci za energetsku zavisnost dobijeni su ozračivanjem

"kobaltovim" gama zracima (1,25 MeV) pri [illegible] r/h i X zracima, dobijenim pri uslovima: 100 kV, 24 mA, [illegible] 1,0 i Cu 1,0 (što odgovara energiji oko 70 keV).

Podaci za uticaj temperaturnih uslova dobijeni su eksperimentima: ozračivanje pri -25°C, čitanje doza pri sobnoj temperaturi; ozračivanje pri 57°C, čitanje doza pri sobnoj temperaturi; ozračivanje i čitanje doza pri sobnoj temperaturi; ozračivanje pri sobnoj temperaturi, držanje dozimetara na -25°C 12 časova pa čitanje doza pri sobnoj temperaturi i ozračivanje pri sobnoj temperaturi, držanje dozimetara na 54°C 12 časova pa čitanje doza pri sobnoj temperaturi.

Podaci za uticaj svetlosnog izvora pri korišćenju vizuelnog kolorimetrijskog čitača dobijeni su čitanjem doza pri svetlosti: dnevnoj, neonskoj, džepne baterijske lampe, običnog fenjera i sveće.

Mehanička i termička ispitivanja izvršena su na standardni način kao za sredstva i instrumente za upotrebu u poljskim i vanrednim uslovima.

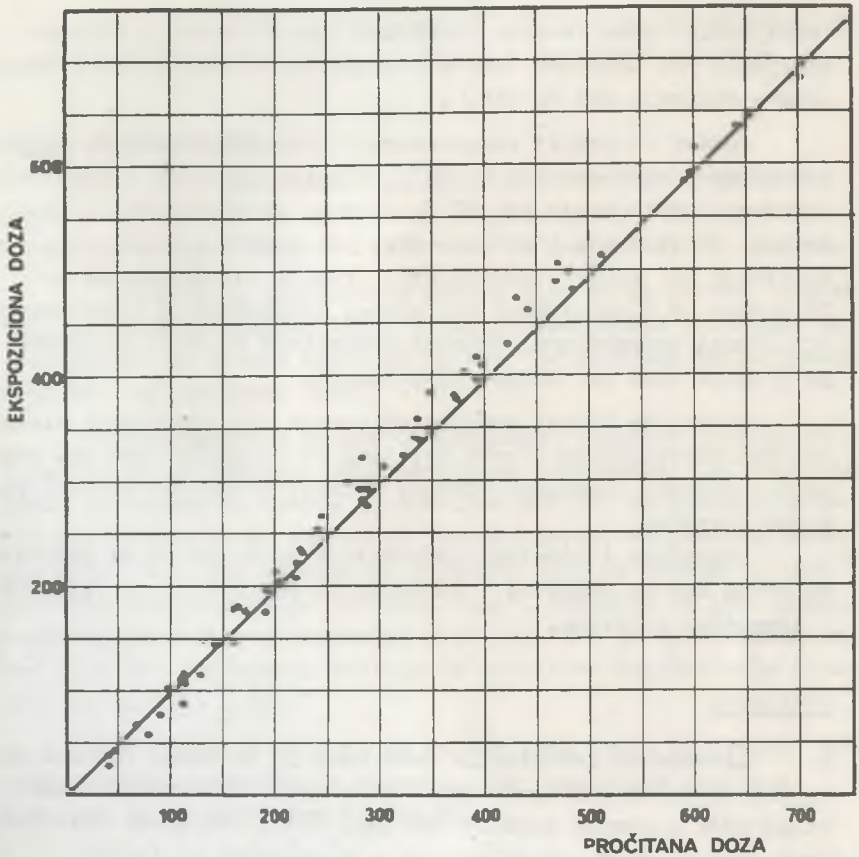
Rezultati

Linearnost pokazivanja doza data je na sl.1. Metodom najmanjih kvadrata utvrdjeno je da ne postoji nikakva zavisnost višeg reda u opsegu doza do 700 rad. Jednačina prave tako dobijena je $y = 0,989x - 0,548$.

Za razne brzine doze gama zraka dobijeni su rezultati:

Brzina doze r/h	Ekspoziciona doza /rad/	Pročitana doza /rad/
12.200	102 ± 2	98 ± 6
65	102 ± 5	103 ±13

Za još dve ekstremne brzine doze: 136.000 i 3,7 r/h odstupanje ekspozicione doze od pročitane doze nije bilo veće od ±10%.



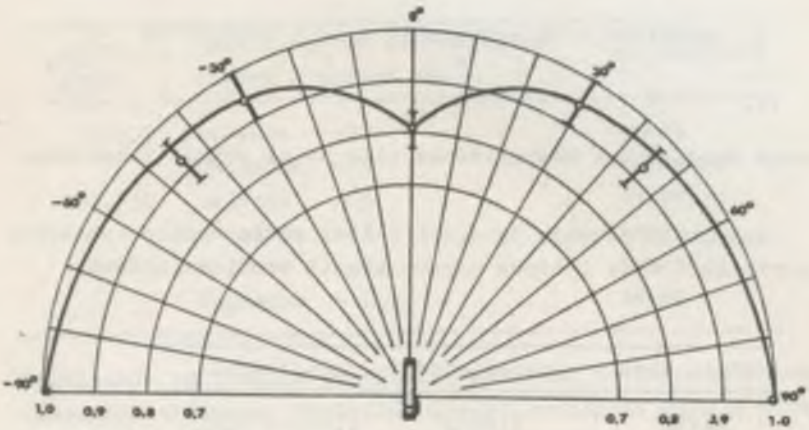
Sl.1. Linearnost pokazivanja doza

Ugaona zavisnost pokazana je na sl.2. Vrednosti pročitanih doza za uglove 0,30 i 45 stepeni uporedjene sa vrednostima za ugao 90°, daju sledeće faktore uticaja ugaone zavisnosti:

$$D_{45}/D_{90} = 0,93 \pm 0,049$$

$$D_{30}/D_{90} = 0,94 \pm 0,046$$

$$D_{0}/D_{90} = 0,81 \pm 0,043$$



Sl.2. Ugaona zavisnost

Vidi se da odstupanja za uglove 30° i 45° nisu veća od 7%. Za ugao 0° odstupanje je 19% i ono ne može da se smatra nepovoljnim s obzirom na položaj dozimetra na telu čoveka i što u poljskim uslovima praktično nema tačkastog izvora zračenja.

Energetska zavisnost merena za dve energije zračenja je sledeća:

Energija zračenja /keV/	Ekspoziciona doza /rad/	Pročitana doza /rad/
1250	300 ± 5	296 ± 8
X zračenje - 100 kV,24 mA, Al 1,0 i Cu 1,0	230 ± 22	232 ± 15

Temperaturna zavisnost odredjivana je sa podacima eksperimenata:

a. ozračivanje na -25°C
b. " " 57°C
c. " " 20°C

d. ozračivanje na sobn.temp. i 12 h držanja na -27°C
e. " " " " " " 54°C
f. " " " " " " 35°C

Čitanje doza za sve eksperimente bila su na sobnoj temperaturi.

Rezultati merenja za a,b i c dati su kao odnos vrednosti ekspozicionih doza i odnos odgovarajućih pročitanih doza:

Odnos doza	ekspozicionih	pročitanih
Da/Db	1,0202	1,000 ± 0,11
Da/Dc	0,9934	1,000 ± 0,15

Različite temperature pri ozračivanju ne utiču na registrovane doze.

Rezultati merenja za d,e i f dati su kao odnos vrednosti pročitanih doza pre i posle grejanja odnosno hladjenja ozračenih dozimetara:

Eksperimenat	D_{pre}/D_{posle}
d	0,94 ± 0,06
e	0,76 ± 0,076
f	0,84 ± 0,06

Za d ne može da se zaključi da postoji efekat, a ako postoji nije veći od 6%. Za ostale vidi se da ima uticaja grejanje ozračenih dozimetara. Za temperaturu 35°C pročita se doza za oko 16% manja od one na sobnoj temperaturi.

Pročitane doze sa vizuelnim kolorimetrijskim čitačem pri svetlosti: dnevnoj, neonskoj, baterijske lampe, fenjera i sveće, normalizovane su na dnevnu svetslost, koja je uzeta kao standard /faktor 1,000/. Odstupanja od vrednosti za dnevnu svetlost su:

Opseg /rad/	Odstupanje od vrednosti za dnevnu svetlost /%/		za svetlost
0-100	najveće	-10	sveće
	najmanje	- 5	baterije
250-350	najveće	- 5	baterije
	najmanje	- 1	sveće
450-700	najveće	- 7	baterije
	najmanje	- 0,5	sveće

Odstupanja za neonsku svetlost i svetlost fenjera su unutar navedenih ekstrema. Različiti izvori svetlosti nemaju bitnog uticaja na kvalitet čitanja doza sa čitačem.

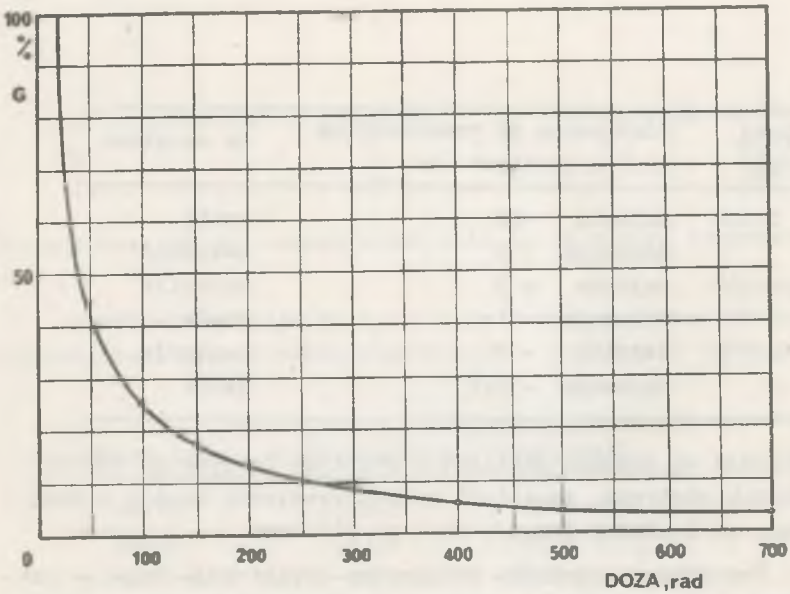
Termička i mehanička standardna ispitivanja koja se primenjuju za instrumente i sredstva za vanredne uslove, pokazala su da na dozimetrima i čitačima ne nastaju oštećenja.

Maksimalna greška merenja absorbovanih doza u ličnom hemijskom dozimetru odredjena je analizom: a/ greške očitavanja-subjektivne greške, b/ greške reproduktivnosti, c/ greške linearnosti i grešaka za d/ temperaturnu zavisnost, e/ ugaonu zavisnost, f/ energetsku zavisnost, g/ brzinu doze i h/ osvetljenje pri čitanju doza sa čitačem. Greške navedene pod a,b i c odredjene su po pravilu "tri sigma" a ostale uporedjivanjem rezultata kada odgovarajućeg efekta ima, odnosno nema.

Maksimalna greška registrovanja doze, koja se sastoji od elemenata greške a,b i c pokazana je u funkciji doze na sl.3. Greška opada sa dozom, ona je na primer ± 60% za 25 rad, ± 40% za 50 rad, ± 25% za 100 rad itd. do ± 4% na 600 rad.

Zaključak

Za dozimetriju u vanrednim uslovima, kada je mogućno ozračivanje velikog broja ljudi na relativno velikom prostranstvu, predpostavlja se korišćenje dozimetara na kojima korisnici ne čitaju dozu direktno, nego prikupljene dozimetre čita odredjeno lice sa odgovarajućim čitačem. Takvi lični dozimetri po-



Sl.3. Greška čitanja doza
u funkciji doze

negde se nazivaju i masovnim dozimetrima. Korisnici podataka o dozama nisu osobe koje nose dozimetre nego medicinski i rukovodeći organi, koji procenjuju stepen radijacionih ozleda, odredjuju medicinski tretman i mere, i procenjuju zdravstveno stanje i fizičku sposobnost ozračenog ljudstva.

S obzirom na takvu namenu smatraju se zadovoljavajućim oni dozimetri koji u opsegu 200-700 rad mere doze gama zraka s greškom ±10-20%, a za manje i veće doze od toga opsega tolerišu se i veće greške [3].

Ovaj lični hemijski dozimetar prema tome veoma dobro udovoljava nameni takvog masovnog dozimetra. Greške merenja doza u navedenom opsegu su ±4-13%. Dozimetri koji su u vidu nalivpera i čitač težine oko 500 g i dimenzija 6,5 x 7,5 x 16 cm, za čije korišćenje nije potreban izvor energije ni posebno održavanje i kalibrisanje, pogodna su sredstva za nošenje i korišćenje i u poljskim uslovima.

Literatura

[1] I.Dvornik et al. Aerated Systems of the Type RH-RCl-Ethanol-Thymolsulphonphthalein Stable Low-Level Chemical Dosimeters.
Proceedings of the Symposium "Solid State and Chemical Radiation Dosimetry in Medicine and Biology", IAEA, Vienna /1967/, 273-280.

[2] I.Dvornik et al. Stable Chemical Dosimeters for Partial Reconstruction of Nuclear Accident Conditions.
Proceedings of the Symposium "Handling of Radiation Accidents", IAEA, Vienna /1969/, 225-233.

[3] K.Beker. Personnel Dosimetry in Large-Scale Nuclear Emergencies.
Proceedings of the Symposium "Radiological Protection of the Public in a Nuclear Mass Disaster", Interlaken /1968/, 175-186.

MOGUĆNOST PRIMJENE OBIČNIH RENDGENSKIH FILMOVA ZA ODREĐIVANJE PRIMLJENIH DOZA ZRAČENJA U IZVANREDNIM UVJETIMA

Kempni K., Planinić J.

Zavod za fiziku i matematiku Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta, Zagreb

1. Uvod

Rendgenski filmovi imaju razmjerno malsno područje ekspozicije, zato se za različita područja doza proizvode posebni filmovi. Proizvode se i kontrolni filmovi s dva fotografska sloja različite osjetljivosti. No u slučaju izvanrednih uvjeta mora se uzeti u obzir i eventualna nemogućnost nabavke specijalnih rendgenskih filmova, nego se treba poslužiti raspoloživim filmovima. S obzirom na takav slučaj razradili smo metodu po kojoj se, koristeći posebnu kemijsku obradu, može obični rendgenski film visoke osjetljivosti upotrijebiti za registraciju i velikih doza zračenja.

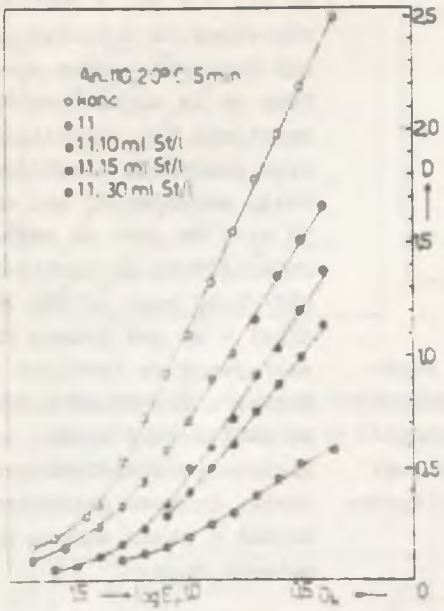
Dodatkom fotografskog stabilizatora u razvijačku otopinu moguće je znatno sniziti osjetljivost fotografskih materijala /1,2/. Dodavajući različite količine stabilizatora može se područje iskoristive registracije filmova pomaknuti prema većim ekspozicijama odnosno dozama. Naša su istraživanja bila usmjerena u iznalaženju pogodnog razvijača i odgovarajućih koncentracija stabilizatora kako bi se medicinski rendgen-film učinio pogodnim za registraciju određenog područja doza.

2. Eksperimentalni uvjeti

Istraživanja su izvedena rendgenskim filmom "Sanix" tvornice Fotokemika. Upotrebljavani su čisti hidrokinonski razvijači, jer su oni posebno osjetljivi na djelovanje stabilizatora. Uglavnom su pokusi vršeni razvijačem Ansco 110 /An-110/, i to razrijeđen s vodom u omjeru 1:1. No upotrebljena je i varijanta An-110 sa više natrijeva sulfita, te hidrokinonski razvijač po Jakobsonu /JR/. Kao stabilizator upotrebljena je 1%-tna alkoholna otopina 6-nitrobenzimidazola. Dodatak stabilizatora /st/ izražen je u ml po litri razvijača. Uzorci filma su razvijani 5 mm u vertikalnom položaju uz neprestano pomicanje filma i uz temperaturu 20°C. Po jedan uzorak neozračenog filma je razvijan da bi se mogla odrediti gustoća zacrnjenja podloge i eventualne mrene razvijanja, koja se onda odbijala od mjerenih vrijednosti gustoće zacrnjena pojedinih polja klina zacrnjenja odnosno pojedinačnih uzoraka filma.

3. Utjecaj dodatka stabilizatora

Uzorci mikrofilma osvijetljeni su kroz senzitometrijski klin, te razvijeni u An-110 razvijaču originalnom, razrjeđenom 1:1 i onda još uz dodatke stabilizatora. Na slici 1 su prikazane odgovarajuće krivulje zacrnjenja. Kao apscise su nanesene vrijednosti gustoće zacrnjenja D_k senzitometrijskog klina i to od desna prema lijevo, što u suprotnom smjeru odgovara logaritmu relativne ekspozicije log E_r. Po njima se razabira, da se već razrijeđenjem razvijača znatno smanji osjetljivost filma, no dodatkom stabilizatora smanjenje je drastično. Odredimo li osjetljivost s obzirom na gustoću zacrnjenja 0,5 onda slijedi da je razrjeđenjem osjetljivost smanjena za faktor 1,4 , uz dodatak 15 ml/l St za faktor 2,5,

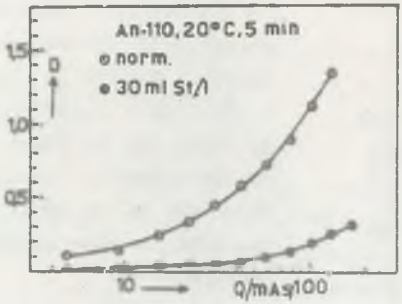


Sl. 1 Krivulje zacrnjenja za mikrofilm. Uzorci optički ozračeni i razvijeni uz različite dodatke stabilizatora

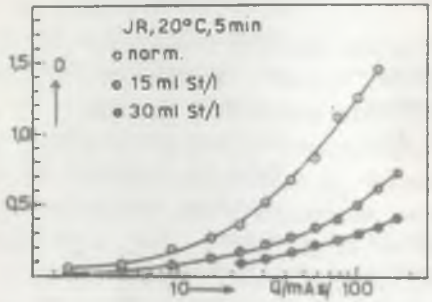
a uz dodatak 30 ml/l St za faktor 6,3. Međutim se uz osjetljivost smanjuje i gradacija, pa su i razlike u osjetljivosti to veće što je veća gustoća zacrnjenja. Idealno bi bilo kad bi se krivulja zacrnjenja samo paralelno pomicala.

4. Pokusi s rendgenskim filmom uz manje doze zračenja

Rendgenski filmovi /13x18 cm/ ozračivani su rendgenskim aparatom za snimanje uz napon od 75 kV. Da se dobije klin zacrnjenja, film u papirnom omotu postupno je zastiran gumiranom olovnom pločom, i to paralelno s dužim rubom filma. Tako je dobiveno 10 polja ozračeno sve većim dozama rendgenskog zračenja i jedno polje ne ozračeno. Doze nisu mjerene, nego su samo zabilježene odgovarajuće vrijednosti mAs, budući da se je radilo samo o isporedbi krivulja zacrnjenja. Film je tada rezan u trake paralelno s kraćim rubom i te su trake onda razvijene u različitim razvijačima. Razvijani su u razvijačima An-110 /1:1/ i JR bez i uz dodatak St.



Sl. 2 Krivulje zacrnjenja za rendgenski film. Uzorci ozračeni malenim dozama rendgenskog zračenja uz 75 KV. Razvijeni bez i sa dodatkom stabilizatora.

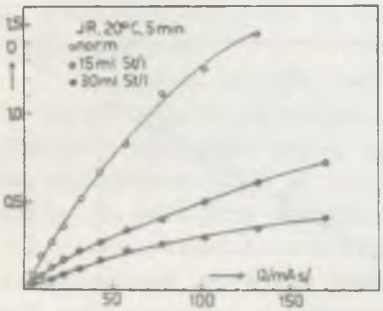


Sl. 3 Isto kao za sl. 2, samo razvijanje u razvijaču po Jakobsonu.

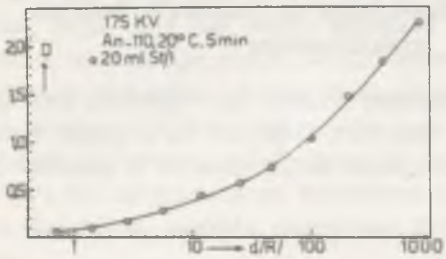
Na sl. 2 i sl. 3 prikazane su odgovarajuće krivulje zacrnjenja u logaritamskom mjerilu. Kako se iz slika razabira oba razvijača bez stabilizatora daju praktički identične krivulje zacrnjenja, ali dodatkom 30 ml/l St jače se smanjuje osjetljivost za razvijač An-110 /1:1/ nego za JR. Na slici 4 su još jednom krivulje zacrnjenja za razvijač JR prikazane u linearnom mjerilo, da bi se i za taj slučaj uočilo djelovanje stabilizatora. Naravno, ovakovo prikazivanje dolazi u obzir samo u slučaju malenih doza.

5. Pokusi s rendgenskim filmom uz velike doze zračenja

Uzorci filma su ozračivani terapeutskim rendgenskim aparatom uz visoki napon od 175 KV a doze su mjerene Victoreen komorom. Metoda ozračivanja postupnim zastiranjem nije se mogla uspješno primijeniti, nego su odvojeni uzorci filma /3x4 cm/ zajednički ozračivani u istom snopu i



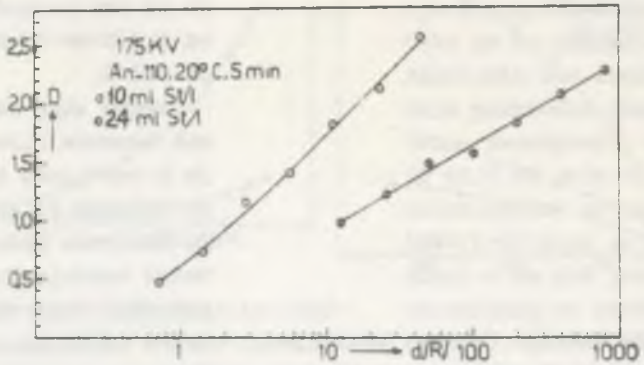
Sl. 4 Isto kao sl. 3, samo krivulje zacrnjenja prikazane u linearnom mjerilu.



Sl. 5 Jedinstvena krivulja zacrnjenja rendgenskog filma za veliko područje doza. Razvijanje uz znatniji dodatak stabilizatora.

postupno uklanjani iz snopa zračenja. Ozračivano je za dva područja doza: od 0,7 R do 50 R i od 12 R do 800 R.

Jedan slog svih ozračenih uzoraka filma razvijen je u razvijaču An-110 /1:1/ uz dodatak 25 ml/l St. Tako je dobivena jedinstvena krivulja zacrnjenja za cijelo područje doza od 0,7 R do 800 R prikazana na slici 5. Doze su, naravno, nanesene u logaritamskom mjerilu. Ovakova krivulja za široko područje ne može, doduše, poslužiti kao baždarna krivulja, jer je i suviše položita u području malenih doza, No takva krivulja može dobro poslužiti za orijentaciju o kojem se području doza radi. Na slici 6 su prikazane krivulje zacrnjenja za navedena dva područja doza, gdje je za svako područje primijenjen odgovarajući razvijač. Ovakove krivulje, specijalno pravčasti dio, prikladne su



Sl. 6 Odvojene krivulje zacrnjenja za dva različita područja doza. Razvijanje uz različiti dodatak stabilizatora

kao baždarne krivulje rendgenskog filma. Npr. gustoći zacrnjenja D=1,0 prema prvoj krivulji odgovara doza 2,5 R, a prema drugoj doza 13,0 R ili gustoći zacrnjenja D=2,0 doza 17 R odnosno 340 R.

6. Zaključak

Iz naših istraživanja slijedi da se isti rendgenski film visoke osjetljivosti može koristiti za registraciju rendgenskog zračenja u cijelom području doza od nekoliko mR pa sve do 1000 R i preko toga. Budući da se radi samo o različitom razvijanju, jasno je da se na isti način mogu registrirati i druge vrste zračenja.

FE 840770

Za pojedina područja doza može se odrediti pogodan dodatak stabilizatora, tako da gustoće zacrnjenja budu prikladne za tačno mjerenje.

S obzirom na izvanredne prilike, u kojima bi moglo doći do ozračivanja osoba velikim dozama, može se opisana metoda koristiti na slijedeći način: a/ Može se upotrijebiti bilo koja vrsta rendgenskog filma pa i drugih filmova, koji onda treba baždariti za različita područja doza. b/ U normalnu filmsku značku ili u improvizirani omot stavljaju se po 2 uzorka filma. Jedan se orijentaciono razvije u jedinstvenom razvijaču, da se grubo odredi područje doze, a zatim u odgovarajućem baždarnom razvijaču. c/ U omot se stavljaju 3 uzorka filma, a razvijači se podese tako, da neka unaprijed izabrana gustoća zacrnjenja određuje granice područja doza. Npr. gustoća zacrnjenja D=0,5 određuje granicu 650 R u određenom razvijaču. Ako za prvo uzorak razvijen u takvom razvijaču bude gustoća manja od 0,5 znači da je doza manja od 650 R, pa ćemo drugi uzorak razviti u drugom razvijaču za srednje područje, koji opet ima svoju određenu granicu za D=0,5. Ako je opet gustoća zacrnjenja manja od 0,5 razvit ćemo uzorak u trećem razvijaču za područje malenih doza. Granice se mogu odabrati tako da budu ujedno biološko-medicinske granice. Uzorak filma gustoće zacrnjenja 0,5 nam može poslužiti da vizuelno procijenimo da li su postavljene granice doza premašene ili nisu. Naknadno se naravno, može izmjeriti gustoća zacrnjena uzorka i točnije odrediti pripadna doza.

L i t e r a t u r a

1. Kempni K.: Proširenje područja ekspozicije rendgenskih filmova
Kemija u industriji, 13 /1964/ br.11

2. Kiss I., Koczàs J., Bojtor I.
Filmdosimeter von grossem Messbereich durch Änderung der Emulsionen und der Entwicklungsbedingungen. Röntgen-Blätter, 18 /1966/ 120

JEDNA KARAKTERISTIKA OPTIMALNOG LIČNOG DOZIMETRA ZA VANREDNE I RATNE USLOVE PRIMENE

Radovan Ilić,
Institut za tehničko-medicinsku zaštitu
Beograd

U v o d

U vanrednim i ratnim uslovima podjednako su verovatna akutna i hronična ozračenja ljudi visokim dozama. Aktivnost ozračenih i neozračenih ljudi u zonama,zahvaćenim izvorima zračenja, uslovljena je ili težnjom da se akcident i njegove posledice na okolinu što pre saniraju, ili potrebom da oni obavljaju svoje ratne zadatke uz nastojanje da se što manje izlažu delovanju zračenja. U oba slučaja broj ozračenih ljudi povećava se, i u celini gledano, raste ukupna doza koju su primili svi učesnici u ovim aktivnostima.

Vremenski interval u kome se odvijaju pomenute aktivnosti može da se procenjuje. Svakako da je on manji kad je u pitanju akcident nuklearnog postrojenja od onoga u kome se odvijaju ratni zadaci i preodolevanje posledica nuklearnog rata.

Sve rečeno ukazuje, da će ljudi biti neprekidno ozračivani i primati parcijalne doze. Medicinska služba i organi zaštite od zračenja prinudjeni su da stalno prate zdravsteno stanje ljudi i da uredno vode evidenciju ozračenja. Broj ljudi koji moraju da prodju medicinski tretman stalno raste u toku zadatka. Posle nekog vremena medicinski organi dolaze u situaciju kada nisu u stanju da pružaju adekvatnu pomoć ozračenom ljudstvu. Čak ne mogu ni da ih sve pregledaju,jer im pored ozračenih pristiže i veliki broj ranjenih lica.

Ovakav porast broja lica koja traže medicinsku pomoć uslovljen je činjenicom da se ljudi upućuju medicinskim organima na osno-

vu stanja dozimetra svakog pojedinca.A jasno je da svi lični dozimetri sabiraju parcijalne doze u različitim vremenskim intervalima.

Živi organizam ima osobinu da vremenski smanjuje posledice koje na njemu izaziva apsorbovana doza. Pod smanjenjem posledica podrazumeva se oporavak organizma. Posle nekog vremena organizam se ponaša kao da je primio manju dozu od one koju je primio na počtku. Kada bi svako lice znalo u svakom trenutku kolika je ta manja doza, mnogi od njih ne bi bili upućeni u medicinske centre. Medjutim, sadašnji lični dozimetri to ne omogućavaju.

Tok oporavljanja može da se prati u centrima zaštite od zračenja,koji vrše funkciju dozimetrijske kontrole, i da se tako izvršava selekcija ozračenih ljudi.

Praćenje toka oporavljanja za svako lice zahteva angažovanje ljudi, vremena i sredstava za obradu podataka, što nije moguće da se ispuni u svakoj od situacija koje uslovljavaju ili karakter i trajanje akcidenta ili,pak,ratni zadaci. Dakle, ako bi se i želelo da se smanji broj zahteva za medicinskom pomoći, takva nastojanja ne mogu u svakoj prilici da se ostvare, te se ipak povećava broj lica koja traže medicinsku pomoć.

Izlaz iz ove situacije nije u povećanju snaga i sredstava za uredno praćenje toka ozračenja i oporavljanja ljudi, već se on mora tražiti u novoj koncepciji dozimetrijske kontrole i trijaža ozračenog ljudstva. U ovom radu izlaže se ta nova koncepcija, zahtevi koje treba da ispuni lični dozimetar i neophodne preporuke za dopunska istraživanja u radiobilogiji i dozimetrijskoj instrumentaciji,neophodna za realizaciju ove koncepcije.

1. Oporavljanje ozračenog ljudskog organizma

Radiobiološka istraživanja pokazuju da ljudski organizam ima osobinu da umanjuje posledice u njemu izazvane apsorbovanom dozom. Taj proces ide do nekog stanja koje se naziva stalno zaostalim stanjem,ili, po LeRoy [1] stalno zaostala doza. Bilo koje stanje

organizma od akutnog ozračenja do konačnog stanja naziva se prelaznim stanjem ili,izraženo preko doze - akutni ekvivalent doze.

Ako je neki organizam primio dozu D_o u trenutku $t_o = o$, onda se saglasno [1,2] on oporavlja sa vremenom t na sledeći način

$$D_t = D_o[f + / 1 - f / e^{-\beta t}], \qquad 1$$

gde su: f - konstanta koja zavisi od vrste zračenja, β - konstanta koja odredjuje period poluoporavljanja,definisan $\beta T = \ln 2$.

LeRoy koristi podatke za $f = 0,1$ i $\beta = 0,001\ h^{-1}$ pri definisanju doze,akutnog ekvivalenta doze i stalno zaostale doze. Ove vrednosti primenjuje za fisione produkte i neutrone. Ipak postoji izvesna rezerva za ekstrapolaciju ovih konstanti na neutrone [2].Medjutim, nema razloga da se opšta relacija 1 ne primeni i za neutrone. U pitanju je samo pouzdano odredjivanje f i β .Za dalje analize u ovom radu nisu od značaja konkretne vrednosti f i β, već samo tok funkcije D_t, jer predpostavlja se da nema razloga da se oporavak od doze gama zračenja bitno razlikuje od oporavka od neutronske doze.

Analiza 1 pokazuje da organizam zadržava neku trajnu dozu koja iznosi fD_o. Ova okolnost čini dalje razmatranje nešto komplikovanijim,mada ne toliko kao što je pokazano u [4], jer se višekratna ozračenja sabiraju uzimajući u obzir 1 te se dobija da je

$$D_t = \Sigma D_i[f + / 1 - f / e^{-\beta/t-t_i/}], \qquad 2$$

odakle se vidi da se trajno zaostala doza dobija neposredno iz 2 ako se konstatuje da su vrednosti t_i konačne a $t \to \infty$.

Pomenute relacije vrede pod uslovom da se ljudski organizam posle sukcesivnih ozračenja ponaša tako, da efekti ozračenja uvek vode pogoršanju opšteg zdravstvenog stanja ozračenog lica. Medjutim, proces ne mora uvek tako da ide ako se za ocenu zdravstvenog stanja uzmu oni efekti koji ne znače slabljenje organizma. Jer,poznato je da neke funkcije organizma mogu da se pojačaju posle ozračivanja. U ovom radu polazi se od prve predpostavke.

3. Neke karakteristike ličnog dozimetra

Istraživanje i razvoj ličnih dozimetara uvek su polazili od zahteva da unutrašnji proces u dozimetru izazvan zračenjem traje dok na njega deluje zračenje, i da se on zaustavi posle prekida ozračivanja. Nadalje, zahtevalo se da dozimtar trajno zadrži promenu, nastalu u njegovoj aktivnoj zapremini. Veliki napori učinjeni su da se ovakav zahtev realizuje,jer se proces ili nije mogao da zaustavi, ili je imao tendenciju da vraća dozimetar u početno stanje. Obrazloženje ovih zahteva leži u tradicionalizmu i pravnim aspektima,jer se želelo da se ima dozimetar koji treba da ima trajnu vrednost pravnog dokumenta.

Poznato je da kod nekih hemijskih dozimetara HD proces,izazvan apsorbovanom energijom zračenja nastavlja da se razvija nekontrolisano. Neki drugi dozimetri: TLD,FLD,jonizacione komore i hemijski dozimetri HDO imaju osobinu da vremenom gube zračenjem izazvan fizički ili hemijski proces u njihovoj aktivnoj zapremini.

Nastojanje da se dozimetar napravi bez tzv. samopražnjenja ostvareno je samo delimično,pa su projektanti bili prinudjeni da usvajaju "razumne" vrednosti samopražnjenja. Tako se došlo do poznatih vrednosti od nekoliko %/dan samopražnjenja od maksimalne vrednosti opsega dozimetra [5].

Samopražnjenje zavisi od tipa dozimetra,odnosno od fizičkog ili hemijskog procesa koji se u njemu odvija posle ozračivanja. Ovde su od interesa samo oni dozimetri čije je samporažnjenje pozitivno, tj. dozimetri kod kojih se efekat,izazvan zračenjem smanjuje tokom vremena posle ozračivanja. Zato će se posmatrati samo dozimetri džepne jonizacione komore i hemijski dozimetar HDO.

3.1 Samopražnjenje džepnih dozimetara

Džepni dozimetar može da bude sa direktnim ili indirektnim očitavanjem doze. Zbog identičnosti procesa koji se dešavaju u oba dozimetra, nije od značaja da li je dozimetar jednog ili drugog tipa. Pod dejstvom zračenja u dozimetru se formira izvesna količina elektriciteta koja neutrališe naelektrisanje,akumulirano na

kondenzatoru dozimetra. Proces neutralizacije veoma je brz i smatraće se da se odvija trenutno. Preostala količina elektriciteta neutrališe se pražnjenjem kondenzatora sa vremenskom konstantom RC. Doza koju takav dozimetar reprezentuje ponaša se u svakom trenutku kao

$$D_j = D_o e^{-t/RC} \qquad 3$$

odakle se vidi da presudnu ulogu u ovakvom toku relacije 3 ima otpor R, jer se u praktičnim realizacijama dozimetara kondenzator C bira tako da zadovolji uslov $D \sim C\Delta U$, a nastoji se da otpor R bude što većih vrednosti. Ako se želi uticati na samopražnjenje, dovoljno je da se smanjuje otpor R i ono će se povećavati. Važno je da se istakne, da se kondenzator C posle dugog vremena mora potpuno isprazniti. Znači, nema nekog naelektrisanja koje trajno ostaje na kondenzatoru.

3.2 Samopražnjenje hemijskog dozimetra HDO

Pojam samopražnjenje fizički potpuno odgovara procesu u džepnom dozimetru. Kod hemijskih dozimetara ovaj pojam označava bledjenje boje dozimetra koji je registrovao neku dozu D_o. Bledjenje nije detaljno ispitivano i postoje samo preliminarni rezultati [6], koji ukazuju da je samopražnjenje pozitivno. Ta pojava uočena je kod HDO praćenjem ponašanja crvene boje dozimetra u raznim vremenskim intervalima posle ozračenja dozimetra. Dalje je zapaženo da proces bledjenja nije linearan, pa je dopušteno da se predpostavi da može da teče po relaciji

$$D_h = D_o[A + B e^{-\alpha t}], \qquad 4$$

gde su: D_h - trenutna doza HDO, D_o - doza u trenutku $t = o$, A, B i α - konstante HDO.

Konstante A, B i α potpuno odredjuju relaciju 4. Merenje ovih konstanti za dati tip HDO ili što je teže, njihovo usmeravanje tako da se dobiju vrednosti $A = f$, $B = 1 - f$ i $\alpha = \beta$ jeste istraživačka aktivnost koja predstoji.

4. Veza izmedju oporavljanja ljudskog organizma i samopražnjenja dozimetra

Samopražnjenje ličnog dozimetra odvija se prema relacijama 3 i 4. Ako se predpostavi da je organizam u vremenskom intervalu Δt_i primao doze D_i, onda posle isteka vremena t organizam "ima" dozu

$$D_t = \Sigma D_i [f + / 1 - f / e^{-\beta/t-t_i/}]. \qquad 5$$

Dozimetri će registrovati sve parcijalne doze i u trenutku t na njima će moći da se pročita

$$D_j = \Sigma D_{oj} e^{-t/RC + ti/RC}, \text{ odnosno} \qquad 6.1$$

$$D_h = \Sigma D_{oh} [A + B e^{-\alpha/t-t_i/}] . \qquad 6.2$$

U relaciji 6 figuriraju doze D_{oj} i D_{oh} koje označavaju parcijalne doze,registrovane jonizacionim i hemijskim dozimetrom. Ako oba dozimetra imaju iste energetske karakteristike i mere apsorbovanu dozu, može se uzeti da je $D_{oj} = D_{oh} = D_{oi}$.Da se uspostavi veza izmedju samopražnjenja i oporavljanja potrebno je da se normiraju relacije 5 i 6 za slučaj samo jednog ozračenja.Tako se dobijaju funkcije

$$L = D_j/D_o = e^{-\gamma t} ; \quad \gamma = 1/RC;$$

$$M = D_h/D_o = A + B e^{-\alpha t},$$

$$F = D_t/D_o = f + / 1 - f / e^{-\beta t}.$$

Ako se nadju vrednosti izraza / 1 - L/F / i / 1 - L/M /, može da se traži vrednost konstante γ,odnosno α tako da budu zadovoljeni uslovi

$$[1 - L/F] < a , \quad [1 - L/M] < a \qquad 7$$

koji označavaju promenu L u odnosu na M i F u bilo kom trenutku vremena t ali tako da bude samopražnjenje manje od unapred zadate

vrednosti a koja je manja od 1. Kada se izvrše potrebne operacije, dobija se da je

$$/ 1 - f /\cdot/ \gamma - \beta / e^{-\beta t + \gamma t} < a \qquad 8.1$$

$$A = f \; ; \; B = 1 - f \; ; \; \beta = \alpha \, . \qquad 8.2$$

Iz izraza 8.1 i 8.2 vidi se da hemijski dozimetar može da zadovolji uslov da mu je samopražnejnje isto kao i oporavak organizma, a da jonizacioni dozimetar ne može da zadovolji taj uslov, jer γ zavisi od vremena t. To znači, ako bi postojao hemijski dozimetar čije su konstante bledjenja iste kao konstante oporavka ljudskog organizma, onda bi takav dozimetar bio u stanju da u svakom trenutku daje onu dozu kakvu organizam "oseća". Ovaj uslov ističe se zato što merenja konstanti bledjenja hemijskog dozimetra nisu završena.Verovatno je da izraz 8.2. neće moći potpuno da se zadovolji,ali za dozimetrijsku kontrolu to i nije od presudnog značaja,jer se u granicama dozvoljene greške merenja uvek mogu tolerisati odstupanja konstanti bledjenja od njihovih teorijskih vrednosti,datih u 8.2.

Zaključak

U zaključku treba da se istakne da je dozimetrijska kontrola ozračenog ljudstva u vanrednim i ratnim uslovima aktivnost operativne dozimetrije i zdravstvenih organa koja nalaže potrebu da dozimetri za takve uslove treba da imaju osobinu vernog praćenja oporavljanja ljudskog organizma.Time se postiže da se smanji administrativni posao učesnika u ovoj aktivnosti, evidencija smanji na najnužniju meru, a zdravstveni organi primaju na lečenje samo ona ozračena lica kojima je lečenje neophodno. Da se dobije takav dozimetar postoje nade, koje treba da se ostvare strpljivim istraživanjem.

Autor se zahvaljuje doc.dr M.M.Radotiću i dr M.Živadinoviću na korisnim sugestijama, a dr I.Dvorniku za ukazanu pomoć.

Literatura:

1. LeRoy G.V. EXSPOSURE OF MAN TO RADIATION IN NUCLEAR WARFARE, Amsterdam, Elsevier, 1963.

2. Davidson H.O. Biological effects of whole-body gamma-radiation on human beings, u knjizi OPERATION RESEARCH OFFICE, J.Hopkins, Univ.Balt.1960.

3. Bobkov V.G. RADIACIONNAJA BEZOPASNOST' PRI KOSMIČESKIH POLETAH, Atomizdat, Moskva 1964.

4. RADIACIONNAJA MEDICINA, pod.red. Burnazjan A.I., Atomizdat, Moskva 1968.

5. Kronenberg S. Tactical radiation dosimetry in the US Army, HEALTH PHYSICS, 14 /1968/, l. 41-45.

6. Interni izveštaji Instituta "Rudjer Bošković", Zagreb

Nr / 29

M E R E I A K C I J A

Tasovac T.

MERE I AKCIJE PRI AKCIDENTIMA SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA - PLANIRANJE I ORGANIZACIJA DEJSTVOVANJA

T. Tasovac
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Akcidenti sa izvorima jonizujućih zračenja predstavljaju nenormalne dogadjaje pri kojima dolazi do gubitka kontrole nad izvorima zračenja pri čemu, direktno ili indirektno, mogu da budu stvorene opasnosti po život, zdravlje ili materijalna dobra. Pri ovome u izvesnim akcidentima moguće je da opasnosti budu ograničenog obima te ugrožena samo lica koja neposredno rade sa izvorima zračenja i njihova najbliža radna okolina, dok u odredjenim okolnostima, kao posledica nastalih akcidenata, mogu da budu ugroženi široko stanovništvo i znatna materijalna dobra.

U okolnostima da u Jugoslaviji postoje nuklearni reaktori koji su u radu, da se radi na istraživanjima potrebnim za razvoj nuklearne energetike, da se proizvode, transportuju i masovno koriste izvori zračenja visoke radioaktivnosti, da kao rezultat sve šire primene radioaktivnih izotopa u naučnim istraživanjima, medicini i industriji već postoje i stalno nastaju znatne količine otpadnih radioaktivnih materijala, kao i da sve susedne zemlje koriste i grade nuklearna postrojenja, realno je pretpostaviti da uprkos svim merama koje su preduzete može da dodje do akcidenata sa izvorima zračenja čijim nastajanjem bi bilo ugroženo ljudstvo i nanete štete materijalnim dobrima.

Da bi bile umanjene posledice ovakvih akcidenata, ograničene materijalne štete i ograničeno izlaganje zračenju do prihvatljivih granica, potrebno je da budu unapred planirane mere koje je neophodno preduzeti u slučajevima akcidenata i ostvaren sistem organizovanog dejstvovanja.

Akcidente je već po samoj njihovoj prirodi, pošto predstavljaju neočekivane dogadjaje, teško potpuno definisati. Srećna okolnost da sa izvorima jonizujućih zračenja postoji relativno mali broj akcidenata predstavlja istovremeno i poteškoću pošto nedovoljno brojna iskustva čine da problem planiranja mera koje je neophodno preduzeti da bi se umanjile posledice akcidenata postaje veoma složen, te razmatranja i planiranja ovakvih mera moraju najčešće da budu zasnovana na hipotetičkim akcidentima. I pored ovih poteškoća razmatranja hipotetičkih akcidenata daju mogućnost da na osnovu karakteristika akcidenata koje je moguće predvideti budu planirane mere koje je neophodno preduzeti i ostvaren sistem organizovanog dejstvovanja.

U pripremanju planova akcija koje treba preduzeti u slučajevima akcidenata različitog karaktera i stvaranju organizovanog sistema kojim treba da bude omogućeno efikasno dejstvovanje, potrebno je da budu uzeti u obzir sledeći činioci.

- način na koji akcident sa izvorima jonizujućih zračenja može da nastane
- intenziteti doza koji bi mogli da postoje u okolini izvora zračenja
- priroda i količine radioaktivnih materijala koji bi mogli da budu dispergovani u okolinu
- stepen mogućih ozračivanja zaposlenog ljudstva i stanovništva usled nastajanja akcidenta
- karakteristike okoline koja može da bude ugrožena akcidentom
- ostvarljivost pojedinih protivmera kojima bi trebalo da budu umanjene posledice akcidenta
- stepen rizika ozračivanja i rizika pri preduzimanju mera kojima bi trebalo da bude sprečeno ozračivanje.

Uzimajući u obzir navedene činioce moguće je i potrebno izvršiti izvesnu klasifikaciju akcidenata kako bi planovi akcija koje je neophodno preduzeti da bi bile umanjene posledice akcidenata bili saobraženi karakteristikama akcidenata. Ovakva klasifi-

kacija može da bude izvršena na brojne načine. Obzirom na praktične mere koje treba da slede od značaja su sledeće:

- klasifikacija prema prirodi izvora zračenja sa kojima mogu da nastanu akcidenti
- klasifikacija prema mestu nastajanja i širenja akcidenta
- klasifikacija prema karakteristikama mogućeg ozračivanja
- klasifikacija prema prirodi odnosno stepenu opasnosti

Obzirom na prirodu i veličinu izvora zračenja sa kojima mogu da nastanu akcidenti iste je moguće grupisati u četiri grupe i to: akcidenti sa nuklearnim postrojenjima kao što su reaktori, postrojenja za preradu isluženog nuklearnog goriva, postrojenja za preradu otpadnih radioaktivnih materijala nastalih u nuklearnim postrojenjima i sl., akcidente sa radioaktivnim izotopima pri njihovom korišćenju u različitim oblastima istraživanja ili industrijske primene, akcidente sa X uredjajima i najzad veoma specifične akcidente koji nastaju kao posledica korišćenja izvora zračenja za vojne svrhe.

Obzirom na mesto nastajanja i zonu širenja akcidenta, akcidente sa izvorima jonizujućih zračenja moguće je i pogodno klasifikovati u dve grupe i to: akcidente u postrojenju (on site accidents) t.j. akcidente koji nastaju na mestima koja su u uobičajenim uslovima pod stalnom kontrolom i čije posledice mogu da ugroze samo zonu pod kontrolom t.j. postrojenje, i akcidente van postrojenja (of site accidents) t.j. akcidente koji nastaju ili van postrojenja t.j. van zone koja je pod kontrolom i van jurisdikcije vlasnika odnosno korisnika izvora zračenja, ili nastaju u postrojenju ali njihove konsekvence obuhvataju zonu van postrojenja.

Obzirom na moguća ozračivanja akcidente sa izvorima jonizujućih zračenja moguće je i pogodno klasifikovati u sledeće grupe: kratkotrajna spoljna ozračivanja t.j. spoljna ozračivanja u kratkom vremenskom periodu od nekoliko sekundi do jedan ili dva

časa, vremenski produžena spoljna ozračivanja t.j. ozračivanja u toku dužeg vremenskog perioda od više časova do dana ili više, unutrašnja ozračivanja izazvana kratkotrajnim unošenjem radionuklida u organizam i unutrašnja ozračivanja pri vremenski produženom unošenju radionuklida u organizam. Kratkotrajna spoljna ozračivanja u relativno ograničenoj zoni postoje, na primer, pri akcidentima kritičnosti koji nastaju u objektu, pri kojima ne dolazi do rasipanja radioaktivnog materijala, a iznad šire zone postoje pri prolasku oblaka koji sadrži radioaktivne supstance izbačene iz reaktora ili postrojenja za preradu goriva. Vremenski produžena spoljna ozračivanja u relativno ograničenoj zoni postoje, na primer, pri pogrešno postavljenom i neadekvatno štićenom izvoru gama zračenja a u široj zoni pri postojanju dispergovanih radionuklida razasutih, na primer, eksplozijom ili vatrom. Unutrašnja ozračivanja usled kratkotrajnog unošenja radionuklida u organizam postoje u ograničenoj zoni, na primer, pri inhaliranju radioaktivnih aerosola i gasova, u ograničenom periodu vremena, pre nego što je prisustvo aerosola utvrdjeno, a u široj zoni, na primer, pri inhaliranjima pri prolasku oblaka koji sadrži radioaktivne aerosole i gasove. Unutrašnja ozračivanja pri vremenski dugom unošenju radio nuklida u organizam postoje u ograničenoj zoni, na primer, pri hroničnom izlaganju usled inhaliranja nedetektovanih radioaktivnih aerosola a u široj zoni, na primer, pri upotrebi hrane kontaminirane radionuklidima dugog vremena poluraspada.

Obzirom na prirodu i stepen mogućih opasnosti akcidente sa izvorima jonizujućih zračenja moguće je klasifikovati u dve grupe i to: akcidente pri kojima postoji direktna opasnost po zdravlje i akcidente pri kojima postoji indirektna opasnost po zdravlje. Direktna opasnost po zdravlje može da nastane kao rezultat ozračivanja celog tela ili delova tela spoljnim izvorima zračenja ili kao rezultat unošenja radioaktivnog materijala u organizam ingestijom, inhaliranjem ili preko otvorenih rana. Indirektna opasnost po zdravlje postoji pri upotrebi vode ili hrane koja potiče iz kontaminirane okoline. Stepen direktne opasnosti može da bude veoma različit te da postoji jedna od sledećih varijanti: beznačajna opasnost po zdravlje, opasnost pojave genetskih promena, opasnosti pojave kasnih efekata ozračivanja kao što su leukemija i

maligna obolenja, opasnosti nastajanja radijacione bolesti i drugih somatskih efekata i najzad opasnost umiranja usled ranih efekata ozračivanja.

Činjenice da akcidenti sa izvorima jonizujućih zračenja mogu da nastanu na veoma različitim mestima, da pri tome količine radioaktivnog materijala zahvaćenog akcidentom mogu da budu od nekoliko mikrokirija do više megakirija, da prostor zahvaćen akcidentom može da bude ograničen ili da obuhvata veoma široku zonu, pokazuju da planiranje mera koje je neophodno preduzeti u slučajevima akcidenata i njihovo ostvarivanje zahtevaju koordiniranu akciju brojnih institucija t.j. državnih organa, zatim različitih specijalizovanih službi i korisnika izvora zračenja.

Da bi ovo bilo postignuto neophodno je da bude odredjen državni organ nadležan za kontrolu izvora zračenja i akcije u slučajevima akcidenata i definisane funkcije istog, kao i precizno definisane funkcije i odgovornosti lica ili institucija u čijem posedu se nalaze izvori zračenja.

Državni organi nadležni za kontrolu izvora zračenja i akcije u slučajevima akcidenata treba da:

- ostvare putem sistema dozvola, ili drugim regulatornim mehanizmima, kontrolu korišćenja izvora zračenja na celokupnoj nacionalnoj teritoriji
- definišu standarde ili uputstva za nivoe ozračivanja, nivoe kontaminacije i prihvatljivi stepen rizika i stave ih na raspolaganje različitim grupama koje će direktno učestvovati u radovima posle akcidenata sa izvorima zračenja
- ostvare linije odgovornosti različitih javnih službi i institucija, definišući mere koje treba da budu preduzete od strane istih u cilju zaštite zaposlenog ljudstva i stanovništva
- definišu odgovorno lice, odnosno instituciju, koji moraju da budu obavešteni u slučaju da je nastao akcident

- ostvare, kada je potrebno, neophodne veze sa odgovornim nacionalnim institucijama u susednim zemljama, da bi bilo obezbedjeno obaveštavanje o akcidentima čijim nastajanjem bi mogla da bude ugrožena teritorija i van nacionalnih granica
- odrede i povremeno kontrolišu broj osoblja neophodnog u nacionalnim okvirima za dejstvovanje u slučajevima akcidenata
- odrede i povremeno kontrolišu spremnost i raspored kvalifikovanog osoblja, mernih instrumenata, zaštitne opreme, komunikacionih sistema, medicinskih i laboratorijskih servisa i dr.

Odgovornost za neposredne akcije koje treba da budu preduzete posle akcidenta koji je nastao unutar nekog postrojenja snosi neposredni rukovodilac postrojenja koji, saglasno zahtevima koje nameće proces rada i propisima javnih službi, treba da stvori organizaciju koja će da:

- osigura da, u granicama odredjenim sopstvenim izvorima, bude spreman za dejstvovanje u bilo kom akcidentu koji bi mogao da nastane u postrojenju
- omogući prihvatanje pomoći od javnih službi i drugih institucija van postrojenja neophodne za dejstvovanje u slučajevima akcidenata čije konsekvence ne prelaze granice postrojenja ali čije otklanjanje je van okvira sopstvenih mogućnosti
- obezbedi brzo i neposredno obaveštavanje odredjenih javnih službi o akcidentima čije konsekvence prelaze ili mogu da predju granice postrojenja
- obezbedi pomoć javnim službama ako je iste zahtevaju
- obezbedi obaveštavanje odredjenih javnih službi o svim nastalim akcidentima sa izvorima jonizujućih zračenja a u saglasnosti sa prethodno definisanim sistemom.

Ispunjavanje navedenih obaveza od strane državnih organa i javnih službi i neposrednih korisnika izvora zračenja predstavlja neophodan uslov za postojanje celishodnog i efikasnog sistema

dejstvovanja u slučaju akcidenata sa izvorima jonizujućih zračenja.

Efikasno dejstvovanje u slučajevima akcidenata sa izvorima jonizujućih zračenja može da postoji samo ako su obezbedjeni:

- blagovremeno otkrivanje nastalog akcidenta
- prenošenje informacija o nastanku akcidenta
- utvrdjivanje prirode i obima akcidenta
- sakupljanje, centralizovanje i difuzija informacija o akcidentu
- koordinirano dejstvovanje u cilju spasavanja, evakuacije, pružanja medicinske pomoći, dekontaminacije.

Brzo ostvarivanje svih navedenih faza dejstvovanja je više ili manje složeno u zavisnosti od mesta nastajanja akcidenta, prirode akcidenta, veličine zone zahvaćene akcidentom i sl. Tako, na primer, pri akcidentima u nuklearnom postrojenju, odnosno u kontrolisanim zonama, verovatno je da će obzirom na postojanje instrumentacije, kvalifikovanog ljudstva i stalnog sistema kontrole, akcident biti blagovremeno otkriven, dok u akcidentima gubljenja radioaktivnog tovara pri transportu, akcident može da bude utvrdjen sa znatnim zadocnjenjem. Utvrdjivanje obima akcidenta i njegovih posledica, sakupljanje i difuzija informacija o akcidentu i koordiniranje akcija spasavanja, dekontaminacije i slično, biće mnogo složeniji ukoliko je zona zahvaćena akcidentom veća.

Sprečavanje širenja akcidenta i uklanjanje njegovih posledica, pretstavlja, u slučajevima kada su u pitanju akcidenti sa znatnijim količinama radioaktivnog materijala, veoma složen proces u čijem sprovodjenju moraju da uzmu učešće specijalizovane ekipe različitih profila (specijalisti za merenja i analize, sigurnost reaktora, dekontaminaciju i spasavanje, dekontaminaciju ljudstva, dijagnozu i tretman radijacionih oštećenja i internu kontaminaciju, meteorološke analize i sl.), i iz različitih organizacija kao što su nuklearne institucije, civilna odbrana, milicija, zdravstvene institucije, meteorološka služba i sl.

Stavljanje u dejstvo ovako složene grupacije i sprovodjenje svih neophodnih faza t.j. otkrivanja akcidenta, prenošenja

informacija o nastalom akcidentu, utvrdjivanje prirode i obima akcidenta, evakuacija, dekontaminacije i pružanje medicinske pomoći, mogu da budu uspešni samo ako su:

- jasno definisane i uspostavljene linije komandovanja t.j. upravljanja celokupnim sistemom akcije
- jasno definisani i usvojeni postupci koji treba da budu primenjivani u pojedinim akcidentima a u zavisnosti od prirode akcidenta
- uspostavljeni sistemi komuniciranja t.j. davanja i prenošenja potrebnih informacija i uputstava
- definisani i razradjeni postupci procene i analiza akcidenata
- pripremljena i koncentrisana na strategijski pogodnim mestima neophodna oprema i materijal (instrumenti za monitorovanje i dozimetrijska merenja, prenosni izvori napajanja energijom, prenosni komunikacioni sistemi, transportna vozila, dekontaminaciona oprema i materijal, zaštitna odeća i oprema)

Važan činilac koji može da utiče na ograničavanje posledica akcidenta je brzina dejstvovanja t.j. vreme od nastanka akcidenta do preduzimanja organizovanih mera. Stavljanje u pokret organizovanog sistema dejstvovanja ima sledeće bitne faze:

- obaveštavanje kompetentnih lica ili institucija o nastanku akcidenta
- obaveštavanje o akcidentu lica koja mogu da budu ugrožena akcidentom
- dejstvovanje

Primarno obaveštenje o nastanku akcidenta mora da sadrži izvesne bitne podatke koji moraju da budu na raspolaganju što je moguće pre i da budu što je moguće potpuniji: obaveštenje treba da pruži sledeće informacije o akcidentu: šta se dogodilo, gde se dogodilo, kada se dogodilo, ko je bio prisutan odnosno ko je zahvaćen akcidentom, šta je preduzeto da bi se stanje stvoreno

akcidentom održalo pod kontrolom, kakvo je postojeće stanje u trenutku pružanja informacija. Informacije mogu da budu blagovremeno dostavljene samo u organizovanom sistemu dejstvovanja t.j. ako je unapred poznato kome treba da budu saopštene.

Odluka o daljim stupnjevima akcije t.j. o obaveštavanju ključnog osoblja neophodnog za merenja, analize, interpretaciju rezultata, spasavanje, evakuaciju, dekontaminacije i pružanje medicinske pomoći, mora da bude doneta brzo, na osnovu stručne analize primljenih informacija i procene opasnosti. Ovo je moguće samo ako analizu primljenih informacija vrši kvalifikovano osoblje, ako postoji visoko specijalizovan kadar neophodan za sve faze akcije i ako je ostvaren sistem njegovog brzog uključivanja u dejstvo.

PRAKTIČNA RADIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA MOTORNIH VOZILA U VANREDNIM USLOVIMA

D. Mijović i M. Živadinović
Institut za tehničko-medicinsku zaštitu - Beograd

Uvod

Optimalni postupci radiološke dekontaminacije motornih vozila su veoma važni za vanredne uslove. Istraživanja su uslovljena tehničkim osobinama sredstava za dekontaminaciju, zatim fizičkim i hemijskim karakteristikama radioaktivne kontaminacije. Dekontaminacioni radovi izvodjeni su upotrebom vode i vodenih rastvora sredstvima za mlaziranje. Kontaminisanje vozila je izvodjeno radioaktivnom supstancom s kojom se simuliraju realne radioaktivne padavine nuklearne eksplozije. S obzirom da se uslovi odnose na tle naše teritorije, kontaminant je sintetizovan na bazi prosečnog sastava i osobina našeg tla.

Ispitivanja su vršena na kamionu kao model-transportnom vozilu. Na kamionu postoje površine: drvene obojene, metalne obojene, brunirane, zamašćene, čiste, gumeni delovi, kožni delovi i precizni mehanički delovi. Takve površine imaju više-manje i druga vozila, čije veličine mogu da budu različite. U praktičnoj upotrebi nekoliko čoveka ih obslužuje ili koristi.

Eksperimentalni rad

Kontaminisanje vozila izvodjeno je u improvizovanoj komori, koju čini drveni skelet, pokriven PVC folijama. Komora je potpuno hermetizovana a proces kontaminisanja posmatra se spolja. Kontaminacija je izvodjena raspršivanjem kontaminanta odozgo. Kao kontaminant služila je sintetička radio-

aktivna prašina sa radioizotopom cerijumom 141 i nosačem zemljom (1). Cerijum 141 se ne ispira iz čestica nosača ni vodom ni rastvorom deterdženta. Ta sintetička radioaktivna prašina po osobinama je bliska padavinama nastalim pri prizemnoj nuklearnoj eksploziji. Prečnik čestica je 65-160 μ. Specifična aktivnost je bila 0,28 mCi/g na početku eksperimenata a specifična težina 2,7.

Radiološka merenja su izvodjena s standardnim laboratorijskim instrumentima. Zdravstveno obezbedjenje pri eksperimentima sastojalo se u korektnoj podeli rada učesnika, upotrebi zaštitne odeće i gasmaski, kontroli i dekontaminaciji zaštitne odeće, uredjaja, opreme i saradnika, i na dozimetrijskoj kontroli.

Procenili smo da bi za ova ispitivanja bila pogodna koncentracija od oko 10 g/m^2 padavina, koja je bliska koncentraciji padavina, nastaloj prizemnom nuklearnom eksplozijom (2). Vozilo je voženo u komoru, komora hermetički zatvarana i uredjajem za raspršivanje vršena kontaminacija pod pritiskom od 6-7 atm. U komori je vozilo stajalo 15-20 časova da bi se nataložili i najsićušniji delići prašine, koji neko vreme lebde u vazduhu u komori. Vozilo se izvlači iz komore i izvodi se dekontaminacija prema izboru opita (3). Izvršeni su opiti sa: vodom - mlaziranje, voda na običnoj temperaturi i zagrejana; vodenim rastvorom deterdženta - mlaziranje, na običnoj temperaturi i sa zagrejanim rastvorom; pranjem sa tuš-četkom sa vodenim rastvorom deterdženta.

Zagrejana voda i vodeni rastvor deterdženta imali su temperaturu oko 60°C. Koncentracija deterdženta u vodi - 0,5% "Plavog radiona". Radni pritisak mlaza oko 5 atm. Radni pritisak

na tuš-četki oko 2 atm.

Merenje je vršeno pre i posle dekontaminacije. Na vozilu su bila obeležena merna mesta, kojih je bilo 24. Pri merenju sonda je bila 5-10 cm od površine vozila, zavisno od nivoa aktivnosti. Posle dekontaminacije kontrolna merenja su vršena na 1 cm od površine. Uzimane su i "bris" probe sa površina da bi se odredila zaostala nevezana kontaminacija; probe su uzimane na površini oko 5x5 cm pomoću tampona od navlažene vate.

Rezultati

Rezultati merenja prikazani su u tabelama 1 i 2. Oni predstavljaju srednju vrednost 5-7 eksperimenata. U tabelama su izneti FD-faktor dekontaminacije, ZA - zaostala aktivnost, procenat uklonjenog kontaminanta i podatak za "bris". Na horizontalnim površinama maksimalna početna aktivnost iznosila je 250 do 1300 imp/s.

U tabeli 3 date su potrebne količine materijala i vreme za radiološku dekontaminaciju kamiona.

Tabela 3.

	mlaziranjem	litara	minuta
1.	Vodom, obična temperatura	500	10
2.	Vodom, 60°C	600	11
3.	Vod.rastv.deterdžen.,obična temp.	400	9,5
4.	Vod.rastv.deterdž., 60°C	400	9
	tuš-četkom		
5.	Vodom, obična temperatura	450	14

Kamion, mlaziranje

Tabela 1.

Merna mesta	Voda, obična temp.				Voda, 60°C				Voda.rastv.deterdž. obična temp.			
	FD	ZA	BRIS	%	FD	ZA	BRIS	%	FD	ZA	BRIS	%
1	18	50	145	95	15	45	345	93	6	45	5	65
2	8	20	2	87	50	5	2	98	60	2	0	98
3	32	30	128	97	7	115	595	85	3	85	445	83
4	25	40	35	96	19	45	85	95	17	30	0	94
5	13	20	15	92	53	3	25	98	40	5	0	98
6	6	76	35	82	6	45	5	82	5	75	55	80
7	6	40	30	86	2	60	95	57	14	25	55	93
8	23	2	2	96		0	0	100	∞	0	0	100
9	5	7	0	80	12	5	5	92	∞	0	0	100
10	9	10	10	89	10	6	2	90	40	5	0	98
11	12	5	2	92	5	5	0	80	4	15	0	77
12	40	9	15	96	88	4	2	99	8	55	0	87
13	13	15	10	92	20	15	5	95	9	35	0	89
14	1	4	2	17		0	0	100	∞	0	0	100
15	5	15	5	80	7	10	0	86	4	10	0	75
16	4	2	0	71		0	5	100	∞	0	0	100
17	33	15	25	97	37	12	12	97	32	9	0	97
18	10	60	45	90	10	75	445	90	28	15	0	96
19	10	25	2	90	14	5	65	93	40	5	0	98
20	23	30	55	96	12	25	0	92	20	25	0	95
21	11	75	115	91	10	55	545	90	4	85	245	77
22	7	5	9	86	10	5	0	90	18	5	0	95
23	5	5	0	80		0	0	100	5	2	0	80
24	8	25	40	88	10	10	25	90	40	5	5	98

Kamion, mlaziranje. Tabela 2.

Merna mesta	Vod.rastv.deterdž.60°C				Voda sa tuš-četkom obična temp.			
	FD	ZA	BRIS	%	FD	ZA	BRIS	%
1	17	12	85	94	60	15	25	99
2	32	6	5	97	13	15	20	93
3	17	15	145	94	22	55	295	96
4	3	65	195	64	4	215	445	77
5	∞	o	0	100	17	9	7	94
6	6	25	15	85	10	105	75	90
7	1	75	245	23	14	35	30	93
8	∞	0	0	100	48	4	0	98
9	∞	0	7	100	19	9	2	95
10	47	3	10	98	65	5	7	98
11	∞	0	3	100	25	2	2	96
12	20	11	145	95	200	3	2	100
13	29	7	95	97	16	12	12	94
14	5	4	0	80	20	2	0	96
15	63	3	7	98	30	2	0	97
16	5	0	0	80	6	7	4	33
17	31	7	25	97	7	45	9	85
18	20	10	55	95	9	35	2	88
19	∞	0	0	100	50	2	3	98
20	∞	0	0	100	50	10	12	98
21	19	13	0	95	80	10	14	99
22	∞	0	0	100	7	7	2	96
23	12	3	0	92	5	7	3	80
24	3	25	55	64	8	30	30	88

Vrednosti za"ZA" navedene u tabelama, pokazuju da se dekontaminacijom praktično ne uklanja sav kontaminant. Procenjujemo da se uklanja oko 98% kontaminanta primenom navedenih postupaka dekontaminacije.

Diskusija

Tovarni sanduk, krov kabine i poklopac motora su horizontalne i srazmerno velike površine kamiona. To su uglavnom ravne i nezamašćene površine. Mada se vodeni rastvor deterdženta troši za oko 100 litara manje od vode pri dekontaminaciji primena vode ima prednost s praktične tačke gledišta. Kontaminant se obično vidi golim okom na takvim površinama a pri mlaziranju može da se vidi šta se spira. Primena deterdženta stvara penu koja tome smeta, a penu treba uklanjati pranjem vodom naknadno.

Kao što se vidi u tabeli 3, nema razlike u tome da li je rastvor deterdženta zagrejan ili na običnoj temperaturi. Zagrejani rastvor deterdženta na 60°C nije oštetio boju na kamionu, ali se primećuje, da prilikom uzimanja "brisa" sa vlažnog kamiona, pri tome, boja se lako otire. Kod osušenog kamiona nema otiranja boje.

Primena tuš-četaka nije poboljšala dekontaminaciju kamiona, a ni utrošak vode nije bio manji nego pri mlaziranju; vreme rada je duže i rad naporniji.

Kontaminsanje kamiona u komori vršeno je sa njegovom zatvorenom kabinom za vozača. Uzimani su brisevi sa sedišta, poda kabine i sa table sa instrumentima. Ustanovljeno je da kontaminant prodire u kabinu, i da zatvaranje kabine ne garantuje hermetičnost. Merenjem radioaktivnosti "briseva" dobijeni su podaci, pokazani u tabeli 4.

Tabela 4.

Kontaminacija u kabini kamiona

Delovi kabine	imp/s
Sedište	50-120
Pod, metalni deo	50-250
Pod, gumeni deo	70-200
Tabla sa instrumentima	10-40

Dekontaminacija unutrašnjosti kabine vršena je ručno vlažnim tamponima od vate.

Zaključak

Ekonomično i dovoljno je da se za dekontaminaciju kamiona upotrebljavaju voda ili vodeni rastvor deterdženta na običnoj temperaturi. Nema potrebe da se zagrevaju, jer se poboljšanje dekontaminacije ne postiže.

Kvantitativne vrednosti za utrošak materijala i vremena, koje smo dobili iz eksperimenata, mislimo da se mogu povećati za oko 10% kao faktor sigurnosti za praktični rad.

Tehnička metoda radiološke dekontaminacije motornih vozila u vanrednim uslovima treba da bude mlaziranje sa vodom na običnoj temperaturi ili 0,5% vodenim rastvorom deterdženta "Plavi radion" na običnoj temperaturi. Radni pritisak mlaziranja oko 5 atm. odnosno pranje oko 2 atm.

Norme koje se predlažu za radiološku dekontaminaciju kamiona mogu da se koriste uz odredjene obzire u zavisnosti od veličine i za ostala vozila. Za kamion od 4,5 tona norme bi bile:

mlaziranjem:	litara	minuta
Vodom, obična temperatura	600	11
Vod.rastv.deterdž.obična temp.	500	10
pranjem sa tuš-četkama:		
Vodom, obič.tamp.	500	14

Literatura

1. Jelić Lj. i sar.: Sintetička radioaktivna prašina. Naučno tehnički pregled. Beograd, 1967.

2. Zupkin A.S.: Obezzaraživanije teritorii, sooruženii i transporta podvergšihsja vozdejstviju oružija massovovo poraženija. Atomizdat, Moskva, 1965.

3. Živadinović M. i sarad.: Interni izveštaj IHMZ, RIS-57, 1966

Nr / 33

DEKONTAMINACIONI TRETMAN U USLOVIMA POSTRADIJACIONE KONTAMINACIJE KOŽE RADIOCEZIJUMOM

Stojanović Dragoslav i Milivojević Katarina
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Medicinska zaštita

U akcidentalnim situacijama pored klasičnih tipova udruženih radijacionih povreda postoji mogućnost i nastanka oštećenja sa komponentama spoljašnjeg ozračivanja i radioaktivne kontaminacije. Poznato je, da na permeabilitet kožne barijere utiču mnogobrojni faktori internog porekla-fiziološki i patološki i eksternog porekla-fizički, fizičko-hemijski i hemijski.

Pod dejstvom spoljašnjeg ozračivanja dolazi do pojave promena u cirkulatornom sistemu i niza metaboličkih poremećaja koji mogu uticati na neke funkcionalne izmene u kožnoj barijeri. Obzirom, da koža pod dejstvom zračenja ispoljava i povećanu osetljivost prema različitim spoljnim nadražajnim agensima, cilj rada je bio ispitivanje uticaja dekontaminacionog tretmana postradijaciono kontaminirane kože na prodiranje radiocezijuma u organizam.

Materijal i metod rada

Ogledne životinje su beli pacovi, mužjaci, starosti oko 4 meseca, telesne težine oko 200 grama, iz farme IBK u Vinči. Pet dana pre ogleda životinje su pojedinačno smeštene u posebnim kavezima pod uobičajenim uslovima nege i ishrane.

Uslovi kontaminacije: pre ogleda životinje su bile pod narkozom (0,8 ml 25% rastvora uretana injicirano je i.m.).

Posle fiksiranja na radnoj ploči, šišanjem je uklonjena dlaka i koža je tretirana sapunom 30 minuta pre kontaminacije. Kontaminacija je izvodjena nanošenjem 0,1 ml rastvora radiokontaminanta na obeleženu površinu kože od 5 cm^2, na ventralnoj strani abdomena. Radioaktivnost nanete količine rastvora iznosila je oko 30 μCi, a pH rastvora je bio 1.0. Radiokontaminant je bio u kontaktu sa kožom jedan čas. U ogledima procene ukupnog telesnog sadržaja radiocezijuma prodrlog transkutano kontaminacija je izvodjena 1-og, 3-eg i 6-og dana posle zračenja, a ogledi dekontaminacije su izvedeni u uslovima kontaminacije 3-eg dana posle zračenja.

Uslovi dekontaminacije: dekontaminacija je vršena naizmeničnom upotrebom 5% rastvora deterdženta "BADD" (proizvod "Merima", Kruševac) i vode. Tretman se sastojao od četiri obrade, od kojih je svaka trajala po jedan minut i na kraju je koža posušena tupferom.

Jedan čas nakon kontaminacije uklonjen je kontaminirani deo kože, ili je predhodno izvedena dekontaminacija a potom ekscidiran kontaminirani deo kože. Životinje su na kraju ogleda žrtvovane, stavljene u plastične kutije i merene na brojaču radioaktivnosti celog tela.

Tehnika merenja: direktno merenje ukupne radioaktivnosti tela i ekscidiranog dela kože vršeno je na posebno prilagodjenom beta-gama scintilacionom brojačkom uredjaju sa kristalom NaJ dijametra 2 inča.

Uslovi zračenja: Izvor gama zračenja bio je ^{60}Co, jačine 3,5 kCi, pri brzini doze od 115 rad/min, na distanci od 70 cm. Integralna doza za celo telo bila je 600 r. Za vreme izlaganja zračenju životinje nisu bile narkotisane.

Od biostatističkih elemenata korišćeni su srednja vrednost merenja, standardna devijacija, a pomoću Student-ovog t-testa vršena je procena statističke značajnosti razlika izmedju srednjih vrednosti oglednih grupa.

Rezultati

Na tabeli 1 prikazan je telesni sadržaj ^{137}Cs kod nezračenih kontaminiranih kontrola i kontaminiranih 1-og, 3-eg, i 6-og dana posle zračenja. Kod svih postradijaciono kontaminiranih grupa sadržaj radiocezijuma u telu manji je nego u nezračenih kontaminiranih životinja. Najizrazitije umanjenje sadržaja registrovano je kod grupa kontaminirane 6-og dana posle zračenja, što se ogleda i u statističkoj značajnosti razlike prema kontrolnoj grupi ($p >$ od 0,001). Najviši sadržaj radiocezijuma u telu zapaža se kod grupe koja je kontaminirana 3-eg dana posle zračenja.

Na tabeli 2 dat je uporedni prikaz telesnog sadržaja ^{137}Cs posle dekontaminacije kože nezračenih-kontaminiranih i postradijaciono kontaminiranih životinja 3-eg dana (u fazi najizraženijih promena u organizmu pod dejstvom zračenja). Telesni sadržaj prodrlog cezijuma izražen je u procentu nanete radioaktivnosti. Uporedjivanjem sadržaja ^{137}Cs kod ispitivanih grupa pri upotrebi vode i deterdženta "BADD" moguće je izvesti nekoliko konstatacija: pri upotrebi vode manji je sadržaj radiocezijuma u telu postradijaciono kontaminiranih nego u kontaminiranih kontrola ($p > 0,05$), a rezidualna radioaktivnost u koži je veća kod postradijaciono kontaminiranih životinja ($p > 0,001$); pri upotrebi deterdženta "BADD" i telesni sadržaj radiocezijuma i rezidualna radioaktivnost u koži manji su kod postradijaciono kontaminiranih životinja ($p < 0,001$ za telo i $p > 0,05$ za kožu);

uporedjivanjem rezidualnih radioaktivnosti u koži kod grupe koja je kontaminirana posle zračenja vidi se da je radioaktivnost pri upotrebi "BADD"-a preko 10 puta manja nego pri upotrebi vode ($p < 0,001$).

Na tabeli 3 je na osnovu rezidzalnih radioaktivnosti u telu i u koži uporedno prikazana efikasnost dekontaminacije kože kod kontaminiranih kontrola i kontaminiranih 3-eg dana posle zračenja. Zapaža se, da je pri upotrebi vode efikasnost dekontaminacije veća kod nezračenih-kontaminiranih životinja, jer je ukupna rezidualna radioaktivnost u telu i u koži manja nego kod postradijaciono kontaminiranih životinja. Efikasnost dekontaminacije pri upotrebi "BADD"-a veća je kod životinja koje su kontaminirane posle zračenja, jer je rezidualna radioaktivnost u telu i koži izrazito manja, zbog čega u stvarnoj proceni "BADD" ispoljava visoku efikasnost.

Diskusija

Od ispitivanih sredstava za dekontaminaciju rastvor deterdženta "BADD" može se smatrati efikasnim sredstvom u odnosu na vodu, pošto ostavlja izrazito manju rezidualnu radioaktivnost u kontaminiranom delu kože. Prema rezultatima dekontaminacionog efekta, izgleda da "BADD" ispunjava većinu svojstava koja treba da poseduje efikasno sredstvo za dekontaminaciju, a prema mišljenju Gorodinskog (1) to su: da brzo i potpuno natapa površinu na kojoj je prisutan radiokontaminant, da razrušava vezu radionuklida sa površinom i time prevodi kontaminant u rastvor i da sprečava resorpciju radioaktivne materije.

Smanjenje transkutane resorpcije kod životinja koje su kontaminirane posle spoljašnjeg ozračivanja, može se možda objasniti stazom krvi u perifernoj cirkulaciji. Stepen tran-

skutane resorpcije koja je ispitivana u funkciji postradijacione kontaminacije ispoljava odredjenu zavisnost od vremena koje protekne izmedju zračenja i kontaminacije. Odredjena obeležja posmatranja (ukupna telesna radioaktivnost) kod ogledniih grupa ispoljila su izvesne razlike, uslovljene verovatno i promenama koje nastaju u kožnoj barijeri pod dejstvom opšteg gama zračenja, praćene cirkulatornim poremećajima.

Dobijeni rezultati idu u prilog mišljenju nekih autora /2,3/ da u različitim periodima radijacione bolesti u zavisnosti od doze zračenja dolazi i do pojave patoloških promena u cirkulatornom sistemu gde u zavisnosti od vremena posle zračenja dominira vazodilatacija ili vazokonstrikcija krvnih sudova.

U razmatranju rezultata dekontaminacije kože kontaminirane trećeg dana posle zračenja, rezidualna radioaktivnost u telu i u koži izrazito je manja pri upotrebi rastvora deterdženta "BADD" u odnosu na vodu, te se ovaj sintetički deterdžent može smatrati vrlo efikasnim sredstvom i pri izvodjenju tretmana u uslovima postradijacione kontaminacije kože.

Na osnovu posmatranog stepena interne kontaminacije, rezidualnih radioaktivnosti u koži, i stvarne procene efikasnosti dekontaminacije pomoću korišćenih sredstava, po svemu sudeći, dekontaminacioni tretman u klasičnom smislu postupka ne treba da se razlikuje kod kontaminiranih i postradijaciono kontaminiranih organizama.

Zaključak

1. Transkutana resorpcija ispoljava znatnu zavisnost od fiziološkog stanja kože i izvesnih fizičkih i hemijskih faktora.

2. Voda primenjena kao sredstvo za dekontaminaciju ne povećava resorpciju kada je anjonski ostatak radiokontaminanta u obliku jakih kiselina. Kod životinja kontaminiranih posle spoljašnjeg ozračivanja tretman vodom ostavlja veću rezidualnu radioaktivnost u kontaminiranom delu kože.

3. Resorpcija radiocezijuma preko kože kontaminirane posle zračenja po obimu je manja u odnosu na nezračene-kontaminirane kontrole.

4. Obim resorpcije pokazuje izvesnu zavisnost od vremena koje protekne izmedju zračenja i kontaminacije kože.

5. Rastvor deterdženta "BADD" upotrebljen u dekontaminaciji ispoljio je visoku efikasnost, naročito kod postradijaciono kontaminiranih životinja, jer je ukupna rezidualna radioaktivnost u telu i u koži mala.

6. Dekontaminacioni tretman koji je uslovljen radiohemijskim karakteristikama kontaminanta i tipom kontaminacije ne mora da se razlikuje kod kontaminiranih i postradijaciono kontaminiranih organizama.

Reference

1. Gorodinskij S.M., Panfilova Z.E., Goljdštejn D.S., Nosova L.M.: Dezaktivacija sredstv individualjnoj zaščiti i zaščitnih pokritij, Atomizdat, 1964.

2. Dmitrijeva V.S.: Eksperimentaljnaja hirurgija, 3:5, 1958.

3. Samcov V.I.: Izmenen. koži pod vozdeistviem jonizurujušćei radiacii, Izd. Medicina, Leningrad, 1968.

Tabela 1 Telesni sadržaj ^{137}Cs, u % nanete radioaktivnosti na kožu

Postradijaciona kontaminacija	T E L O		
	N	M ± S	p
Nezračeni svedoci	15	1.33 ± 0.21	-
1. dana	15	0.78 ± 0.37	>0.05
3. dana	15	1.00 ± 0.46	>0.8
6. dana	15	0.69 ± 0.34	>0.001

N - Broj životinja

M±S - Srednja vrednost sa standardnom devijacijom

p - Verovatnoća prema t-testu

Tabela 2. Uporedni prikaz telesnog sadržaja ^{137}Cs posle [illegible] hemikastriranih i postradijacionu kontaminiranih j. dana, u % unesene radioaktivnosti.

Sredstva za dekontaminaciju	Kontaminirani				Postradijacionu kontaminirani					
	Tela		Kosa		Tela			Kosa		
	N	M ± S	N	M ± S	N	M ± S	p	N	M ± S	p
Voda	20	1,42 ± 0,65	20	6,20 ± 1,38	10	1,10 ± 0,54	>0,05	10	8,93 ± 3,49	>0,001
Deterdžent "BADU" 5 % rastvor	20	2,02 ± 1,08	20	1,03 ± 0,31	10	0,92 ± 0,36	<0,001	10	0,80 ± 0,42	>0,05

N - broj životinja

M ± S - srednja vrednost ± standardna devijacija

p - verovatnoća prema Student-ovom t-testu.

Tabela 3. Efikasnost dekontaminacije kože kontaminirane sa ^{137}Cs, u % nanetu radioaktivnosti

Sredstva za dekontaminaciju	Kontaminirani			Postradijacione kontaminirani 3. dana		
	Ostatak u telu i koži		Efikasnost dekontaminacije	Ostatak u telu i koži		Efikasnost dekontaminacije
	N	M ± S	M ± S	N	M ± S	M ± S
Voda	20	7,62 ± 2,03	92,38 ± 2,03	30	10,03 ± 4,03	89,97 ± 4,03
Deterdžent "BADD" 5 % rastvor	20	3,05 ± 1,33	96,25 ± 1,33	30	1,72 ± 0,78	98,28 ± 0,78

N - broj životinja

M ± S - srednja vrednost ± standardna devijacija

Nr / 34 -

ISPITIVANJE FAKTORA DEKONTAMINACIJE PIJAĆIH VODA U SLUČAJU KONTAMINACIJE Sr-9o

Mijatović Lj., Radovanović R.

Nr / 34 -

ISPITIVANJE FAKTORA DEKONTAMINACIJE PIJAĆIH VODA U SLUČAJU KONTAMINACIJE Sr-9o

Mijatović Lj., Radovanović R.

ISPITIVANJE FAKTORA DEKONTAMINACIJE PIJAĆIH VODA U SLUČAJU KONTAMINACIJE Sr-90

Lj. MIJATOVIĆ, R. RADOVANOVIĆ

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

Uvod

U slučaju nuklearnog akcidenta nastala bi momentalno enormna kontaminacija okolnog vazduha, zemljišta, površinskih voda itd. U kratkom vremenskom roku praktično ne bi postojao ni najmanji deo nekontaminirane površine. Jedno od glavnih pitanja zaštite (i jedno od najurgentnijih) je kako doći za najkraće vreme do dovoljnih količina vode upotrebljive za piće.

Razni autori su proučavali verovatni maksimalni stepen kontaminacije vode u akcidentalnom slučaju i izračunavali doze zračenja koje bi pojedini organi ljudski primili. Ove doze su naravno sve manje ukoliko kasnije počinje upotreba kontaminirane vode.

Teško je odrediti u jednom akcidentalnom slučaju, koji će fisioni produkti, ili u kolikoj meri svaki pojedini, biti uneseni u ljudski organizam bilo u rastvornom bilo u nerastvornom obliku. Zato pri izračunavanjima i procenama maksimalno dozvoljenih koncentracija u mešavini predpostavljamo da su kontaminanti unešeni bilo u jednom bilo u drugom obliku.

Na tabeli I klasificirani su kritični organi i radionuklidi u zavisnosti od dužine perioda u kome se upotrebljava kontaminirana voda (početak perioda je dan u kome se desi akcident). Kao najvažniji kontaminant vode u prvom, kratkom

periodu posle akcidenta pojavljuje se jod-131 (vreme poluraspada osam dana), a za duži period stroncijum-9o. Pri unošenju fisionih produkata nerastvornih u vodi za sve periode od 1-1000 dana kritična organ je gastrointestinalni trakt, a najopasniji radionuklid cerijum-144.

Tabela 1

Kritični organi čovečjeg organizma i glavni radionuklidi iz mešavine fisionih produkata poredjani po redu važnosti u kalkulacijama MDK

Period korišćenja	Kritični organi	
	Rastvorna komponenta	Nerastvorna komponenta
1 dan	Tiroid: J-131, J-133 J-132, J-135 Kost: Sr-9o, Sr-89	G.I.* Ce-144, Ba-14o Sr-89, Te-132 Mo-99, Zr-97
1o dana	Kost: Sr-9o, Sr-89 G.I. Y-91, Sr-89 Zr-95	G.I. Ce-144, Y-91 Sr-89, Ba-14o
1oo dana	Kost: Sr-9o, Sr-89 Total body: Sr-9o, Sr-89	G.I. Ce-144 Sr-89, Y-91
1ooo dana	Kost: Sr-9o Total body: Sr-9o, Cs-137	G.I. Ce-144, Sr-9o Y-9o, Ce-137 Ru-1o6

* G.I. = Gastrointestinalni trakt

U prvom periodu posle akcidentalnog slučaja aktivnost mešavine fisionih produkata odredjena je velikim brojem kratkoživećih radionuklida kao: Mo-99, Zr-97, Te 132m, J-133, Ba-4o, Ce-141, Pm-149. Posle izvesnog vremena, medjutim, dugoživeći produkti postepeno dobijaju veći udeo u aktivnosti. Za vreme ovog procesa takodje je značajno vreme koje će radionuklid provesti u telu. Na primer najveću opasnost predstavlja fiksiranje dugoživećih produkata u kostima (Sr-9o), dok je prolazak Zr-97 (vreme poluraspada 17 časova) manje važan iz razloga što je vreme biološkog kontakta i sopstveno vreme poluraspada tako kratko da se radionuklid znatno raspadne za vreme metaboličkog procesa.

Medjunarodna komisija za radiološku zaštitu daje preporuke za MDK u vodi, kontaminiranoj mešavinom neidentifikovanih radionuklida (1) MDK iznosi 3.10^{-7} uCi/cm^3, odnosno 3.10^{-6} uCi/cm kada nisu prisutni Ra-226 i Ra-228. Ove vrednosti važe za lica profesionalno izložena zračenju, a za ukupno stanovništvo moraju se gornje vrednosti umanjiti 1o puta tj. MDK=3.10^{-8} uCi/cm u otsustvu Ra-226 i Ra-228. Smatrajući da se gornja norma čistoće kontaminirane vode teško može postići Atomska komisija SAD daje sledeće norme, granice idu do $9x10^{-2}$ uCi/cm za beta + gama aktivnosti i $5x10^{-3}$ uCi/cm za alfa aktivnost. Ove vrednosti se preporučuju ako se kontaminirana voda koristi za piće u roku od 1o dana posle akcidenta, ako se period korišćenja prolongira za mesec dana, gornji iznos se deli sa 3.

Metoda rada

Poznata je činjenica da katjoni prisutni u svakoj vrsti zemljišta imaju tendenciju da se izmenjuju sa radioaktivnim katjonima iz zagadjene vode. Ovu izmenu moguće je izvesti najobičnijim mešanjem vode i zemljišta. Jonoizmenjivački kapacitet zemljišta je vrlo veliki, tako da smatramo da je na ovaj način lako dobiti dovoljnu količinu pijaće vo-

de za slučaj nužde. Treba dodati da se na ovaj način ne može ukloniti J-131 (vreme poluraspada 8 dana), jedan od najopasnijih radionuklida po zdravlje čoveka, zbog svog anjonskog karaktera.)

Sama operacija dekontaminacije vode je vrlo jednostavna.

- u dobro očišćenu posudu sipati komade usitnjene zemlje. Zemljište uzeti sa dubine od 5-1o cm da bi se izbeglo zagadjenje zemlje sa površine.

- dodati kontaminiranu vodu, na 1oo-2oo grama zemlje oko jedan litar vode

- mešati ovu suspenziju 45-6o minuta na temperaturi 3o-4o^{o}C

- ostaviti 24 sata da se zemlja slegne

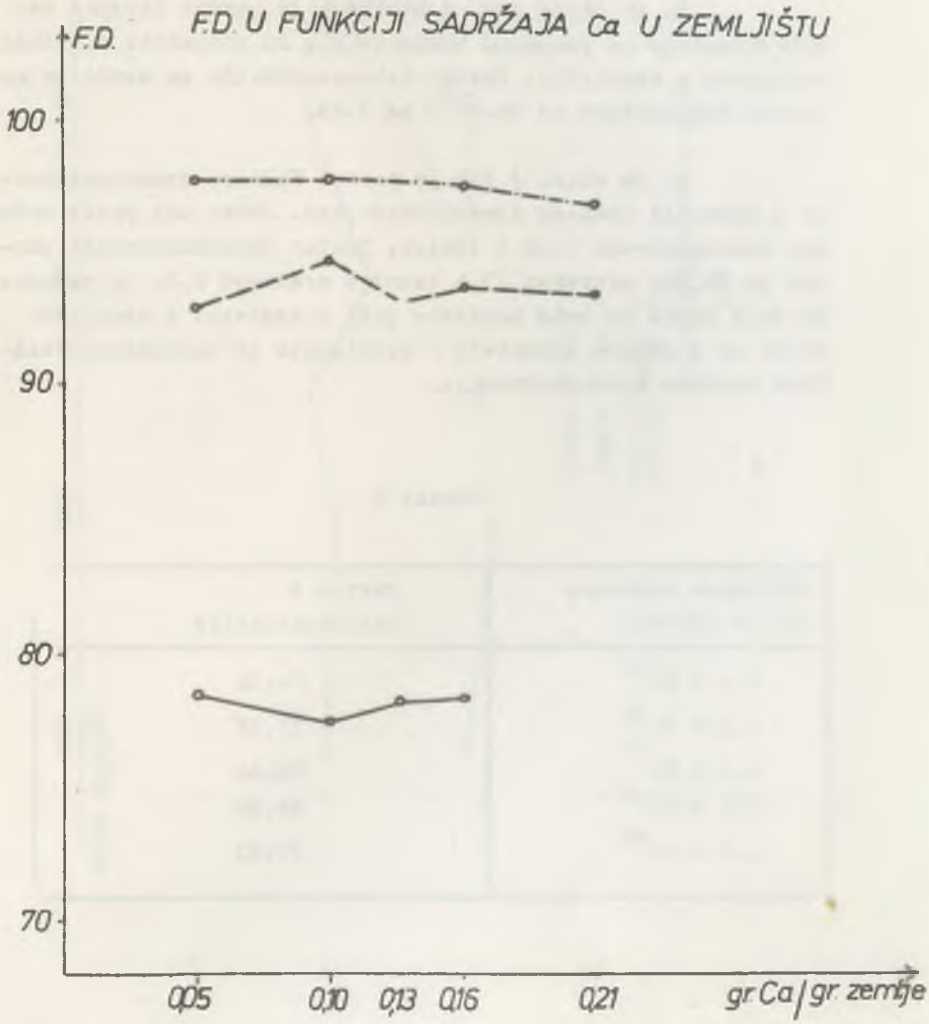
- cediti preko gaze ili čiste krpe u dobro očišćenu posudu.

Rezultati ispitivanja

1. Na tabeli II dat je pregled postignutih faktora dekontaminacije za rastvore različitih aktivnosti. (od $1o^{-9}$ do 10^{-5}Ci stroncijuma-9o po litru). Sa smanjivanjem aktivnosti rastvora smanjuje se i postignuti faktor dekontaminacije. Za rastvore aktivnosti 10^{-9} Ci i 10^{-5} Ci faktor dekontaminacije se razlikuje čak za 27%.

2. Na slici 1 dat je pregled faktora dekontaminacije u funkciji sadržaja kalcijuma u zemljištu kojim je vršena dekontaminacija. Rezultati su dati za tri različite aktivnosti i pet različitih sadržaja kalcijuma u zemljištu.

SL. 1


A = 11,5 μ Ci Sr-90 / l
A = 8,3 μ Ci Sr-90 / l
A = 0,01 μ Ci Sr-90 / l
F.D. U FUNKCIJI SADRŽAJA Ca U ZEMLJIŠTU
F.D.
100
90
80
70
0,05
0,10
0,13
0,16
0,21
gr Ca / gr. zemlje

Zemljište je birano nasumce iz okoline Beograda. (teški aluviju, teška smonica, lakša smonica), lakši aluvijum-peskuša). Sadržaj kalcijuma se kretao od 0,05-0,21 gr Ca po 10 grama zemljišta. Fluktuacije faktora dekontaminacije uovom opsegu sadržaja kalcijuma je zanemarljiva.

3. Na slici broj 2 prikazan je porast faktora dekontaminacije sa porastom temperature, za različite sadržaje kalcijuma u zemljištu. Faktor dekontaminacije se menja sa porastom temperature od 20-50°C za 3-4%.

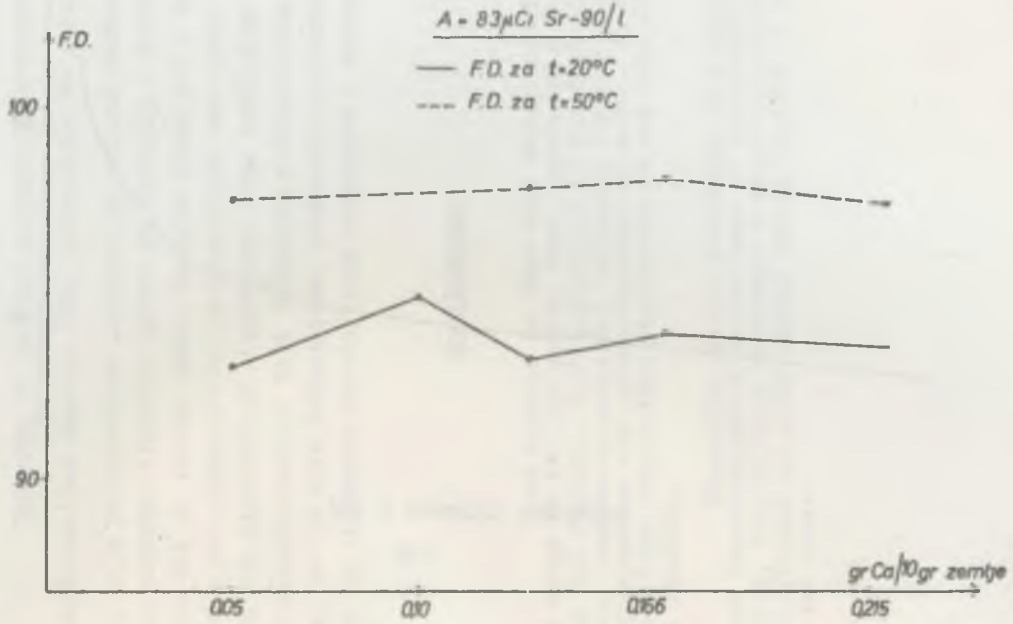
4. Na slici 3 dat je porast faktora dekontaminacije u funkciji vremena izmenivanja jona. Jedan sat posle mešanja kontaminirane vode i zemlje, faktor dekontaminacije unosio je 78,3%, sutradan 23 h kasnije vrednost F.D. je porasla na 92,6 posle 24 sata kontakta joni u rastvoru i zemljištu došli su u stanje ravnoteže i postignuta je maksimalna veličina faktora dekontaminacije.

Tabela 2

Aktivnost rastvora Ci/lit (Sr-9o)	Faktor % dekontaminacije
$6,4 \times 10^{-9}$	7o,3o
$1,3 \times 10^{-8}$	77,54
$1,o \times 10^{-7}$	78,4o
$8,3 \times 10^{-6}$	94,92
$1,1 \times 10^{-5}$	97,83

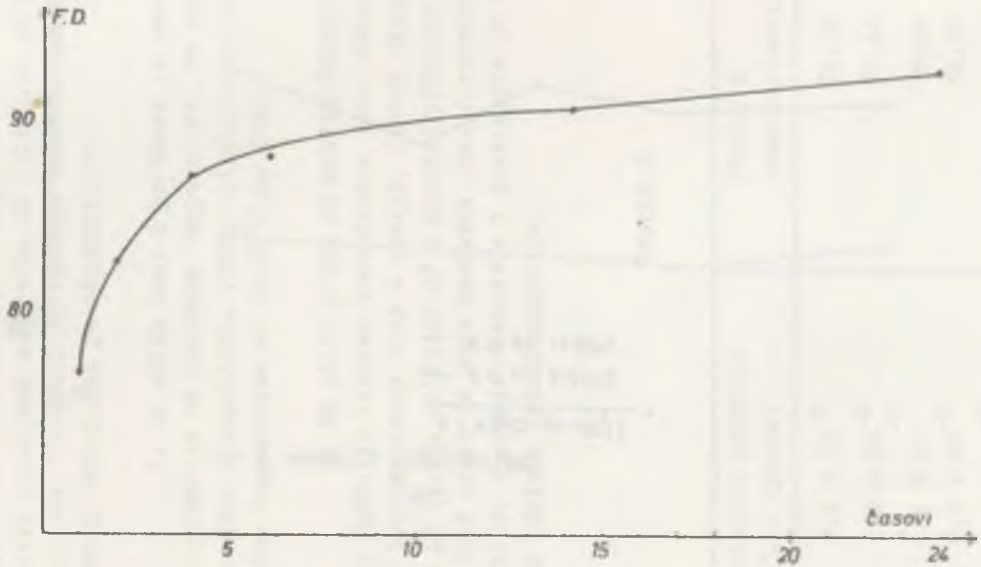
Sl. 2

F.D. U FUNKCIJI TEMPERATURE



SL. 3

F.D. U FUNKCIJI VREMENA



Zaključak

Smatramo da je ovaj postupak dekontaminacije vode u akcidentalnom slučaju vrlo prihvatljiv za seosko stanovništvo, koje je relativno udaljeno od velikih centara koji poseduju potrebnu tehničku opremu za kontrolu i dekontaminaciju vode. Dok ne stigne pomoć, za prvo vreme baš u kritičnom periodu, ovo stanovništvo je prepušteno samo sebi i svojim prilično ograničenim sredstvima. Zato predlažemo ovakav način dekontaminacije vode zagadjene radioaktivnim materijalom, jer je vrlo jednostavan, svakom licu pristupačan i izvodljiv sa minimumom materijalnih sredstava i vremena.

Conclusions

Our opinion is that this decontamination process for water in the accidental case, represent a suitable solution for farmers. Such population is far from big city centers, possessing necessary technical devices for control of contamination and decontamination of water. In the first critical time period this population is cut from other parts of the country.

Therefore, we are proposing this process for water decontamination in the case of radioactive contamination. This process represent a simple procedure which can be performed by every person asking minimum of skill, material and time.

Literatura

1. J. Bourrier, A. Grauby

Contribution à l'etude de la decontamination d'urgence des cheminements en milieu rural a la suite de fortes retombées radioactives. Académie d'agriculture de France.
Extrait du proces verbal de la Séance du 3 fevrier 1965.

2. A. Grauby, A. Saas.

Détermination de la capacité d'échange des sols au moyen du radiostrontium. CEA Rapport N °2543.

PERKUTANA RESORPCIJA RADIOSTRONCIJUMA I MOGUĆNOSTI DEKONTAMINACIJE

Nr / 35

Milivojević Katarina i Stojanović Dragoslav

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Medicinska zaštita

U rešavanju problema kontaminacije i dekontaminacije kože postoje različiti stavovi koji se odnose na sredstva za prevenciju interne kontaminacije i tretman akcidentalno kontaminiranih osoba. Izvesna neslaganja od strane raznih autora proizilaze iz različitih eksperimentalnih uslova. Izbor sredstava i postupaka za dekontaminaciju zahteva veoma kompleksna ispitivanja, obzirom, da na isnod tretmana spoljne kontaminacije utiču stanje i individualne razlike kože, fizička i nemijska svojstva radiokontaminanata, tip kontaminacije i mnogobrojni drugi faktori eksternog i internog porekla. Na osnovu našeg višegodišnjeg eksperimentalnog iskustva iz oblasti spoljne kontaminacije pristup rešavanju problema treba da se sastoji u izučavanju kinetike perkutane resorpcije radionuklida, mogućnosti prevencije interne kontaminacije i uticaja sredstava i metoda za dekontaminaciju na obim interne kontaminacije organizma i dekontaminabilnost kože. Rezultati dobijeni na eksperimentalnom materijalu daju mogućnost ekstrapolacije, čime se doprinosi pružanju odgovarajuće medicinske zaštite profesionalno izloženom osoblju u nuklearnim institucijama i ukazivanju pomoći u akcidentalnim i vanrednim situacijama.

U ovom radu posmatrana je perkutana resorpcija radiostroncijuma u zavisnosti od stanja kože, ispitivan je uticaj

nekih sredstava za dekontaminaciju na propustljivost kože i njenu kontaminabilnost, kao i efekat preventivne primene zaštitnog krema.

Materijal i metod rada

Ogledi su izvedeni na belim pacovima, mužjacima, starim oko četiri meseca, telesne težine oko 2oo gr. U toku ogleda životinje su bile pod narkozom, izvedenom i.m. injiciranjem o.8 ml 25 % rastvora uretana. Ispitivanja su vršena na normalnoj koži i koži tretiranoj sapunom pre kontaminacije. Jedna grupa ogleda je obuhvatala ispitivanje preventivne uloge zaštitnog krema "Octa" na perkutanu resorpciju.

Uslovi kontaminacije: kontaminacija je izvodjena nanošenjem o.1 ml rastvora $^{85}SrCl_2$ ili $^{9o}SrCl_2$ sa pH 1.o, aktivnosti oko 2o μCi. Kontaminirana je površina od 5 cm^2 na ventralnoj strani abdomena. Kontakt radiostroncijuma sa kožom iznosio je tri časa.

Nakon ovog vremena uklonjen je kontaminirani deo kože, ili je izvedena dekontaminacija i potom izvršena ekscizija.

Uslovi dekontaminacije: tretman se sastojao u obradi kontaminirane površine pomoću vode, 5 % rastvora deterdženta "BADD" ili 2 % rastvora Na_2EDTA. Ukupno je izvedeno pet obrada od kojih je svaka trajala po jedan minut i na kraju ogleda koža je posušena tupferom i ekscidirana.

Posle ekscizije životinje su žrtvovane, stavljene u plastične kutije i merene.

Tehnike merenja: dinamika resorpcije u uslovima kontaminacije sa $^{90}SrCl_2$ praćena je metodom ekstrakorporalne cirkulacije koja omogućava kontinuirano merenje radioaktivnosti krvi (1). Ukupni telesni sadržaj prodrlog stroncijuma i rezidualna radioaktivnost u kontaminiranom regionu, pri kontaminaciji sa rastvorom $^{85}SrCl_2$, direktno su mereni na adaptiranom gama-scinitilacionom brojačkom uredjaju za male eksperimentalne životinje.

Rezultati

Na dijagramu 1 prikazana je dinamika perkutane resorpcije radiostroncijuma. Resorpcija preko "obezmašćene" kože intenzivnija je u odnosu na resorpciju preko normalne kože. Maksimum resorpcije se zapaža oko 60-og minuta, a potom radioaktivnost u krvi opada do kraja vremena posmatranja. Pri kontaminaciji neobezmašćene kože maksimum resorpcije se javlja kasnije, oko 110-og minuta, a u daljem toku, do kraja ogleda, zapaža se sporije opadanje radioaktivnosti krvi.

Na tabeli 1 prikazana je resorpcija radiostroncijuma kroz normalnu kožu, kožu tretiranu sapunom 30 minuta pre kontaminacije i kožu štićenu kremom "Octa" pre kontaminacije. Iz rezultata se vidi da je tretman kože sapunom uslovio povećanje telesnog sadržaja radiostroncijuma, a da je resorpcija preko štićene kože izrazito smanjena.

Na tabeli 2 prikazana je efikasnost dekontaminacije na osnovu procene sadržaja radiostroncijuma u telu i rezidualne radioaktivnosti u kontaminiranom delu kože. Vidi se, da voda daje izvesno povećanje prodrle količine radiostroncijuma u organizam u uslovima kontaminacije sa jako kiselim ra-

stvorom. Deterdžent "BADD" i Na_2EDTA ne uslovljavaju povećanje perkutane resorpcije stroncijuma. Od primenjenih sredza dekontaminaciju 5 % rastvor deterdženta "BADD" ispoljio je najveću efikasnost dekontaminacije. Primena krema "Octa" 30 minuta pre kontaminacije smanjuje ukupni telesni sadržaj perkutano prodrlog radiostroncijuma i ostavlja manju rezidualnu radioaktivnost u kontaminiranom delu kože, što se i odražava u povećanju efikasnosti dekontaminacije.

Diskusija

U praksi čestim tretmanima kože različitim sredstvima, a u prvom redu sapunima, vrši se odstranjivanje zaštitne prevlake sačinjene od emulzije lipida i hidrosolubilnih supstancija, koje imaju važnu ulogu kao prva sredstva odbrane od delovanja hemijskih agenasa, čime se može objasniti povećana propustljivost kožne barijere za radiostroncijum kada je koža "obezmašćena" sapunom. Pored toga, sapuni svojom kapilarnom aktivnošću potpomažu vlaženje kože i njeno natapanje vodom, koja je u našim uslovima kontaminacije predstavljala rastvarač. Po Malkinsonu (2) kod povećane hidratacije rožastog sloja epiderma znatno se povećava propustljivost kože. Povećana propustljivost "obezmašćene" kože sapunom konstatovana je u našem radu pri kontaminaciji radiocezijumom (3).

Voda, kao sredstvo za dekontaminaciju kože kontaminirane jako kiselim rastvorom radiostroncijuma, povećava perkutanu resorpciju kontaminanta, što se može, verovatno, pripisati i izmenama u kožnoj barijeri nastalim usled kontakta kože sa jakom kiselinom.

Dekontaminacioni efekat Na_2EDTA manji je u odnosu na deterdžent "BADD", jer ostavlja veću rezidualnu radioaktivnost u kontaminiranom delu kože. U literaturi postoje podaci da aplikacija Na_2EDTA povećava resorpciju radiostroncijuma kroz nepovredjenu kožu (2,4), medjutim njegova primena u našim eksperimentalnim uslovima nije dovela do ovog nepovoljnog efekta. Foreman (5) takodje nije zapazio povećanje perkutane resorpcije pri primeni Na_2EDTA.

Deterdžent "BADD" je ispoljio kvalitete relativno dobrog sredstva za dekontaminaciju. U osnovi načina dejstva "BADD"-a, kao nejonogene površinski aktivne materije, leže procesi adsorpcije na graničnim fazama, sniženje površinskog napona vode, povišenje moći kvašenja, emulgiranja i uopšte uklanjanja radionuklida. Dekontaminabilnost kože pri upotrebi deterdženta zasniva se u suštini na jednoj nepovoljnoj akciji deterdženata na kožu. Prema Haroldu (6) usled interakcije deterdženta i proteina dolazi do denaturacije epidermalnog keratina, te se u toku akcije pranja kože rastvorom deterdženta vrši ekstrakcija denaturisanih proteina, a istovremeno i vezanog kontaminanta. Ipak se, na osnovu procene efikasnosti dekontaminacije kože pri kontaminaciji radiostroncijumom i prema rezultatima naših ranijih radova sa radiocezijumom (3,7), deterdžent "BADD" može smatrati efikasnim sredstvom za dekontaminaciju.

Primena zaštitnog krema "Octa" pre kontaminacije pokazala je zadovoljavajući efekat, jer izrazito smanjuje propustljivost kože za radiostroncijum. Ovaj krem povećava i efikasnost dekontaminacije izvedene deterdžentom "BADD", što predstavlja još jedan prilog za korišćenje zaštitnih

kremova u praksi.

Analiza dinamike perkutane resorpcije radiostroncijuma pokazala je da se maksimum resorpcije i preko normalne i preko "obezmašćene" kože zapaža nakon jednog časa, te nalaže izvođenje dekontaminacionog tretmana što ranije nakon kontaminacije. U uslovima kasnije izvedene dekontaminacije njena efikasnost će biti umanjena.

Zaključak

1. Fiziološko stanje kože i reaktivnost kožne barijere utiču na perkutanu resorpciju radiostroncijuma. Resorpcija preko "obezmašćene" kože dvostruko je veća nego preko normalne kože.
2. Voda, primenjena kao sredstvo za dekontaminaciju, povećava obim interne kontaminacije kada je radiostroncijum u obliku jake kiseline.
3. Na_2EDTA, primenjen u dekontaminacionom tretmanu pri određenim uslovima, ne povećava perkutanu resorpciju radiostroncijuma.
4. Deterdžent "BADD" ispoljava visoku efikasnost dekontaminacije, pošto ne povećava ukupno prodrle količine radiostroncijuma u organizam, a ostavlja malu residualnu radioaktivnost u kontaminiranom delu kože.
5. Primena zaštitnog krema "Octa" smanjuje perkutanu resorpciju radiostroncijuma i povećava efikasnost dekontaminacije, što opravdava njegovu upotrebu kao zaštitnog sredstva pri radu sa ovim radionuklidom.

L i t e r a t u r a

1. G.Michon et M.J.Maillard: Proc. of a Conf. held in Mexico City, 1961, Acad. Press, N.Y, 3-19, 1962.

2. F.D.Malkinson, Arch. Indust. Health, 21, 87 (1960).

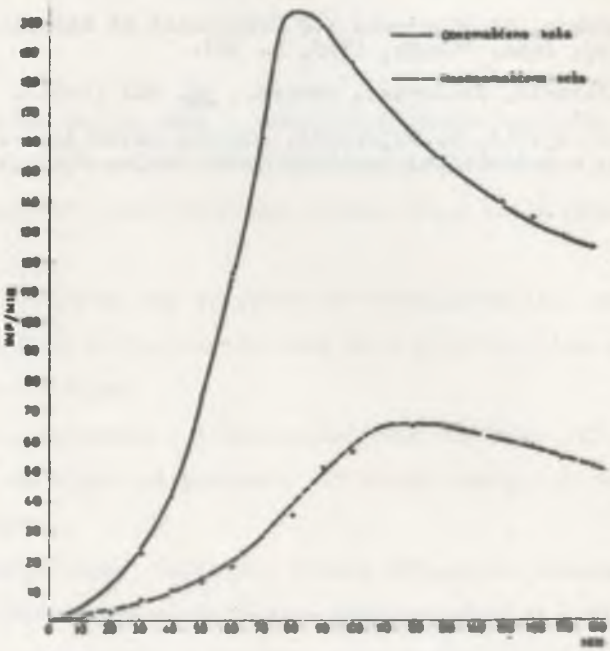
3. K.Milivojević, Elaborat IBK, Beograd, 1967.

4. L.M.Budko, Čast I v: Raspredeljenie, biologičeskoe dejstvije i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.E.Lebedinskovo i J.I.Moskaleva, Medgiz, Moskva, 1961, s. 50.

5. H.Foreman, in Diagnosis and Treatement of Radioactive Poisoning, IAEA, Vienna, 1963, p. 387.

6. S.P.Harrold, Jr.Invest. Dermat., 32, 581 (1959).

7. K.Milivojević, D.Stojanović, Zbornik materijala IV Jug. simp. o radiološkoj zastiti, Baško Polje, 1969, 133-138.



Slika 1. Kretanje radioaktivnosti u krvi pri kontaminaciji kože sa $^{90}SrCl_2$.

Tabela 1. Sadržaj radiostroncijuma u telu
(u % nanete radioaktivnosti na kožu)

Tretman	$^{85}SrCl_2$		
	N	M ± S	p
Normalna koža	10	0.24 ± 0.11	-
Koža tretirana sapunom	10	0.42 ± 0.21	>0.05
Koža štićena kremom "Octa"	10	0.09 ± 0.01	>0.001

N - broj životinja

M±S - srednja vrednost ± standardna devijacija

p - verovatnoća prema Student-ovom t-testu.

Tabela 2. Efikasnost dekontaminacije kože kontaminirane sa $^{85}SrCl_2$
(u % ostaloj radioaktivnosti na koži)

Sredstvo za dekontaminaciju	Broj životinja	Sadržaj u telu		Sadržaj u kontaminiranom delu kože		Efikasnost dekontaminacije
		M ± S	p	M ± S	p	M ± S
Nedekontaminirane kontrole	10	0,42 ± 0,21	-	-	-	
Voda	13	0,69 ± 0,49	< 0,3	8,10 ± 2,19	-	91,05 ± 2,19
2 % rastvor Na_2EDTA	12	0,47 ± 0,22	> 0,6	4,92 ± 0,99	< 0,001	94,61 ± 0,99
5 % rastvor deterdženta "RADD"	12	0,47 ± 0,37	> 0,7	2,12 ± 0,82	< 0,001	97,21 ± 0,82
5 % rastvor deterdženta "RADD" pri prevenciji kroma "Cr-51"	10	0,22 ± 0,08	> 0,05	0,79 ± 0,18	< 0,001	98,99 ± 0,18

M ± S - srednja vrednost ± standardna devijacija

p - verovatnoća prema Student-ovom t-testu.

PA 840/77

EFIKASNOST RAZLICITIH FILTERA I ADSORBENSA U ODNOSU NA ZADRZAVANJE JODA 131 IZ KONTAMINIRANE ATMOSFERE

R.BRNOVIC, R. RADOVANOVIC, M.RANKOVIĆ

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

Rezime

U ovom radu dati su eksperimentalni podaci o efikasnosti zadržavanja joda 131 za pojedine adsorptivne materijale i sisteme preko kojih se filtrira vazduh kontaminiran jodom 131.

Naša ispitivanja daju rezultate o efikasnosti sledećih materijala u odnosu na zadržavanje joda 131 iz kontaminirane atmosfere: domaćeg aktivnog uglja i cedila za gas maske tipa A, JUS ZB 1002 ("Miloje Zakić"-Kruševac) zatim roze i plavog filtra ("Schneider Poelman") impregniranih srebrom, kao i aktivnog uglja francuske proizvodnje (Charbon de Noiy de Coco, SA 1184, CECA).

Uvod

Kod atmosferskih zagadjenja jodom 131 posle nuklearnih eksplozija, kao i kod kontaminiranog vazduha dobijenog oksidacijom radiojodida, zapaženo je više fizičko-hemijskih formi joda 131. Njih nije uvek lako precizirati, ali s tačke gledišta zagadjenja atmosfere moguće podeliti u dve grupe:

- gasne forme joda koje se zadržavaju adsorpcijom,
- čvrste forme joda koje se zadržavaju na filtrima.

Izmedju navedenih formi postoji dinamička ravnoteža; dominacija jedne od njih je funkcija atmosferskih prilika (vlažnost, temperatura, zagadjenost vazduha), zatim porekla joda i njegove koncentracije (1).

Gasne forme joda 131 u kontaminiranoj atmosferi imaju uglavnom sledeću hemijsku konstituciju:

- jod u molekularnom stanju,
- jod kombinovan sa organskim radikalima (metil jodid i homolozi),
- neorganska jedinjenja joda (uglavnom jodovodonik).

Jod 131 u čvrstom ili tečnom stanju javlja se u kontaminiranoj atmosferi ili kombinovan sa prisutnim elementima, ili adsorbovan na aerosole i kondenzaciona jezgra.

Perkins (2) je ustanovio da se u fall-out-u nalazi 15-5o% molekularnog joda, 15-3o% jodida i 15-5o% jodata. Ove hemijske forme se nalaze i pri oslobodjenju radiojoda 131 oksidacijom iz jodida, jer on reaguje sa atmosferskom vodenom parom gradeći jodate ili se direktno jedini sa eventualnim metalnim jonima formirajući jodide.

Jod se lako adsorbuje na čestice aerosola u atmosferi i ova adsorpcija je utoliko intenzivnija ukoliko su aerosoli manjih dimenzija. Zbog toga se jod često nalazi adsorbovan na makrojonima dimenzija 3.10^{-6} cm (3).

Obzirom na ova različita fizičko hemijska stanja joda 131 oslobodjenog u akcidentalnim slučajevima postoje i različiti načini zadržavanja ovog izotopa iz kontaminirane atmosfere.

Mnogi autori daju različite varijante metoda zasnovanih na adsorpciji gasovitih formi joda 131 na aktivnom uglju i zadržavanju čvrstih formi na različitim vrstama filtera (papirni, membranski od staklenih vlakana itd.).

Jedna od najpoznatijih i dosta korišćenih varijanti sakupljača za jod 131 je sistem "May Pack" (4). Takodje je interesantan model C.E.A.(5) koji je nama služio kao osnova za

konstrukciju sakupljača za jod 131 (6). Iako navedeni sistemi imaju visoku efikasnost zadržavanja joda (preko 99%) ipak oni u znatnoj meri zavise od granulometrije aerosola na kojima je jod fiksiran kao i od procentualnog sastava postojećih formi joda 131.

Odredjivanje ukupne i parcijalne efikasnosti našeg sakupljača za jod vršeno je u cilju sprovodjenja rigorozne kontrole vazduha pri znatnijim atmosferskim zagadjenjima jodom 131, obzirom da uslovi eksperimenata u velikoj meri odgovaraju realnim uslovima atmosfere kontaminirane jodom 131.

Eksperimentalni uslovi i metoda merenja

Za izvodjenje eksperimenata proizvodnje i zadržavanja različitih fizičkohemijskih formi joda 131 koristili smo sistem prikazan na sl. 1. U balonu B proizvode se pare joda 131, u rezervoaru C se akumuliraju i zatim se izvode na sakupljač za jod DuE. Detaljan opis i funkcija ovog sistema dati su u referenci (6).

Odredjivanje efikasnosti pojedinih adsorptivnih i filtrirajućih materijala u odnosu na atmosferu kontaminiranu jodom 131 izvršeno je u domenu aktivnosti o,3-o,5 μCi J-131. U eksperimentima smo postavili uslov ispitivanja efikasnosti filtrirajućeg sistema pri protoku koji odgovara prosečnom respiratornom "minutnom volumenu" kod čoveka a iznosi 6 l/min, odnosno 36o l/h.

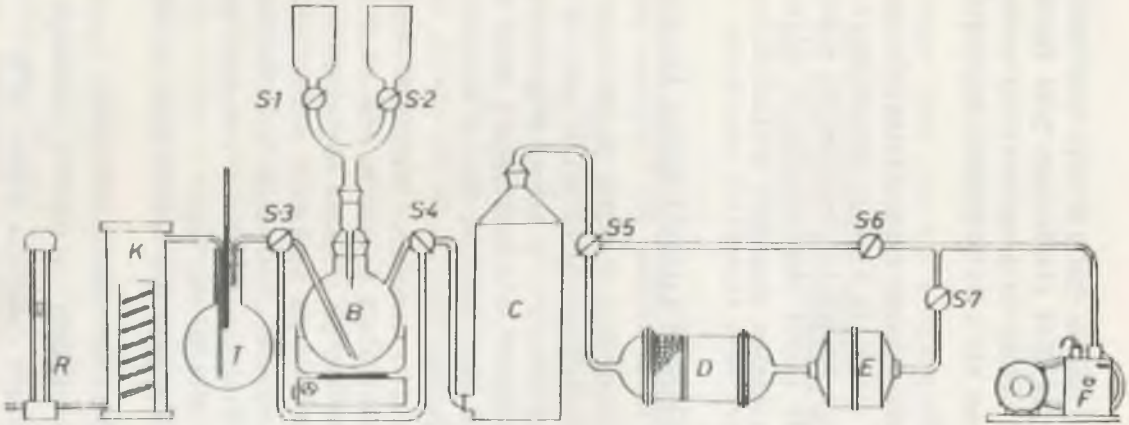
Opšti eksperimentalni uslovi bili su sledeći:

- reakcija oslobodjanja joda 131:

$$2\,NO_2^- + 2J\text{-}131 + 4H^+ \longrightarrow 2NO + J_2\text{-}131 + 2H_2O$$

- temperatura reakcione smeše: 40°C
- protok vazduha 36O l/h
- temperatura prosisavanog vazduha: 35°C

SISTEM ZA PROIZVODNJU I APSORPCIJU PARA RADIOAKTIVNOG J-131



- za filtraciju su upotrebljeni filtri roze i plavi "Sneider Poelman" impregnirani srebrom debljine o,2 μ.

- za adsorpciju je korišćen domaći aktivni ugalj i cedila za gas maske tipa A, JUS-ZB loo2, proizvodnje "Miloje Zakić" - Kruševac. Takodje je korišćen aktivni ugalj francuske proizvodnje (CECA SA 1184).

Merenje aktivnosti J-131 vršeno je gama spektrometrijskom metodom preko pika E = 364 KeV-a koji potiče od Xe 131. Kao spektrometar korišćen je 4oo-kanalni analizator SA "Intertechnique sa kristalom NaJ(Tl) prečnika 4,3 cm i debljine 5 cm, čija rezolucija iznosi 9% za liniju Cs-137 od o,662 MeV-a.

Rezultati merenja

Izvršeno je pet serija eksperimenata sa sledećim redosledom filtrirajućeg materijala i adsorbensa:

I serija:

roze filter Ag(o,2 u)+domaći akt.ugalj(5cm)+roze filter Ag(o,2 μ)+cedilo I+ roze fil.Ag(o,2 μ)+ cedilo II

FILTER 1 FILTER 2 FILTER 3

II serija:

plavi fil.Ag(o,2 μ)+domaći akt.ugalj(1,5cm)+plavi filter Ag(o,2 μ)+ cedilo I+plavi fil.Ag(o,2 μ)+ cedilo II

FILTER 1 FILTER 2 FILTER 3

III serija:

roze filter Ag(o,2 μ)+franc.akt.ugalj(5cm)+roze fil Ag(o,2 μ)+cedilo I+ roze fil.Ag(o,2 μ)+ cedilo II

FILTER 1 FILTER 2 FILTER 3

IV serija:

plavi fil. Ag(o,2 μ)+franc.akt.ugalj(1,5 cm)+plavi fil. Ag(o,2 μ)+cedilo I+plavi fil.Ag(o,2 μ)cedilo II

FILTER 1 FILTER 2 FILTER 3

serija:

cedilo I + roze fil. Ag (o,2 μ)+cedilo II +roze fil. Ag(o,2 μ)+ dom.aktivni ugalj(5 cm)+roze fil. Ag(o,2 μ)

FILTER 1 FILTER 2

Rezultati prikazanih serija eksperimenata dati su u tabelama 1,2 i 3.

Tabela 1

Hemijski prinos reakcije oslobadjanja joda 131

Serija eksperimenata	Inicijalna aktivnost (μCi J-131)	Ulazna aktivnost na prvi filtrirajući element (μCi J-131)	Reakcioni prinos J-131 %
1	o,331	o,341	95,o
2	o,429	o,411	95,7
3	o,393	o,311	79,2
4	o,539	o,5o6	93,8
5	o,496	o,472	95,1

Tabela 2

Efikasnosti zadržavanja J-131 (%) na pojedinim filtrirajućim elementima u seriji eksperimenata 1-4

Element za kaptaciju J-131	serija I %	serija II %	serija III %	serija IV %
Filter 1	13,4	12,3	13,2	17,3
Aktivni ugalj	98,6	99,o	97,6	98,5
Filter 2	o,5	2,2	o,7	o,7
Cedilo I	o,1	12,6	2,7	39,o
Filter 3	9,9	o,7	1,5	2,1
Cedilo II	5,1	9,2	3,6	4,5
Efikasnost sistema	98,9	99,2	98,1	99,3

Tabela 3

Efikasnost adsorpcije sume reakcionih proizvoda radiojoda 131 na cedilima A, JUS.ZB 1002

Element za kaptaciju joda 131	Efikasnost % pojedinog elementa
Cedilo I	99,3
Filter 1	0,8
Cedilo II	22,7
Filter 2	5,4
Aktivni ugalj	61,3
Filter 3	2,9
Efikasnost sistema	99,9

Efikasnost na pojedinim elementima izračunata je po formuli:

$$E\% = \frac{Ai}{Ao} \cdot 100$$

gde je: Ai = aktivnost zadržana na elementu
Ao = ulazna aktivnost na element

Diskusija rezultata merenja

Rezultati merenja pokazuju da je:

1. Efikasnost celokupnog sistema u odnosu na zadržvanje joda 131 iz kontaminirane atmosfere za navedene eksperimen. uslove je u proseku 99,06%

2. Najveći deo reakcionih proizvoda radiojoda 131 je u gasovitom stanju i adsorbovan je na aktivnom uglju u oko 98-99%.

3. Globalni deo čvrstih formi joda 131 adsorbovan je na prvom filtru

4. Znatno smanjena efikasnost filtirajućih elemenata koji slede posle filtera 1 i aktivnog uglja ukazuje na postojanje čvrstih i gasnih frakcija joda 131 disperznosti čestica $<0,1\mu$ kao i na mogućnost njihove desorpcije(2,7,8)

5. Domaći aktivni ugalj (Miloje Zakić") ima nešto veću efikasnost zadržavanja gasovitih formi joda 131 u odnosu na francuski.

6. Efikasnost prvog cedila na sumu reakcionih proizvoda radiojoda 131 je 99,3% (V serija eksperimenata). Čvrste frakcije su najvećim delom zaustavljene, medjutim postoji jedna komponenta gasne frakcije koja se teže fiksira u cedilu, dok je aktivni ugalj znatno bolje adsorbuje.

7. Reparticija gasnih formi joda u aktivnom uglju ima eksponencijalnu zavisnost i maksimum aktivnosti adsorbuje se u prvom santimetru debljine aktivnog uglja, što potvrdjuju eksperimenti o efikasnosti aktivnog uglja debljine 1,5 cm i 5 cm. Ovaj fenomen navode i autori F. Billard i G. Chevalier(9).

Medjutim, eksperimenti takodje pokazuju da se i kod domaćeg aktivnog uglja a i kod francuskog znatnije, pojavljuju fenomeni zasićenja aktivnog uglja i desorpcije gasnih formi, ukoliko je debljina sloja manja. Zbog toga cedilo I u seriji eksperimenata II i IV ima efikasnost 12,6% odnosno 39% u odnosu na 0,1% i 2,7% u seriji eksperimenata I i III.

Zaključak

Naši eksperimenti pokazuju da je kombinacija papirnog filtra roze Schneider-Poelman impregniranog srebrom, i aktivnog uglja domaće proizvodnje vrlo efikasna (99%) za zadržavanje čvrstih i gasovitih formi različitih hemijskih kombinacija radiojoda 131 koje postoje u kontaminiranoj atmosferi. Takodje je utvrdjeno da se cedila za gas maske tipa A, JUS ZB 1002 mogu koristiti u slučajevima znatnijeg zagadjenja atmosfere jodom 131 za zaštitu ljudi, obzirom da su testirana u domenu prosečne respiracije kod čoveka (6 l/min odnosno 360 l/h).

Medjutim, mada se najveći deo radiojoda 131 zadržava bez teškoća na navedenim kaptirajućim elementima, ili sličnim sistemima koje daju i drugi autori (1,9), ipak ostaje dosta problema koje treba rešiti u cilju kompletnije zaštite u odnosu na jod 131. To je u prvom redu adekvatnija fizičko-hemijska identifikacija pojedinih reakcionih proizvoda koji se takodje sreću i u radioaktivnim padavinama. Ona se može ostvariti metodama gasne hromatografije, aktivacione analize, merenja koeficijenta difuzije itd.

Takodje je još uvek problem zaustavljanja partikula $<0,1\mu$ na kojima se jod rado adsorbuje.

Više autora (7,8) proučavalo je zadržavanje na filtrima i aktivnom uglju aerosola u zavisnosti od disperziteta čestica na kojima je jod fiksiran. Čestice reda veličine $\simeq 1\mu$ se lako zaustavljaju filtrima. Medjutim to nije slučaj sa manjim česticama ili makrojonima koji imaju znatnu adsorptivnu mogućnost za fiksaciju joda 131. Ove čestice dimenzija $\leq 0,001-0,1\mu$ su odgovorne za ponekad lošu efikasnost uglja, obzirom na mogućnost njihove lake desorpcije.

Literatura

1. F. Thal, G. Chevalier;
   Degagement propriétés et piegeage des iodes radioactifs dans les effluents gazeux
   C.E.A. Serie "Bibliographie" n° 64, 1965

2. Perkins:
   Physical and Chemical form of J-131 in fallout.
   Health Physies, Vol. 9, 1113-1122, 1963

3. F.Billard, J.M. Lavie
   Techniques de limitation des rejets gazeux en cas d'accident d'un réacteur - Critères de choix.
   Note C.E.A. n° 494, 1964

4. J.B. Morris and all
   The removal of low concentrations of iodine from air on a plant scale
   A.E.RE.-M-3917, 1961

5. F. Billard and all: Note C.E.A. n°48o, 1964

6. R.Brnović, M.Radovanović: Mogućnost proizvodnje para radioaktivnog joda 131 u cilju simuliranja atmosfere zagadjene jodom 131
   IV Jug.simp. o rad. zaštiti Baško Polje, maj 1969

7. G. Madlaine: Note C.E.A. n° 498, 1964

8. Chamberlain: A.E.R.E. - R. 4286, 1963

9. F. Billard, and all: Rapport CEA-R 29o8

ODREDJIVANJE OPTIMALNIH KONCENTRACIJA ADITIVA MORSKOJ VODI KOJI POVEĆAVAJU EFEKAT DEKONTAMINACIJE

Lj. Jelić

Institut za tehničko medicinsku zaštitu - Beograd

U okviru ispitivanja R-dekontaminacije morskom vodom rasmatrano je i pitanje aditiva koji bi povećali efekat dekontaminacije. Pokazano je da je od svih primenjenih reagenasa najpogodnija smeša površinsko aktivne supstance i natrijum heksametafosfata /1/.

U toku eksperimentalnog rada zapažene su izvesne pojave, koje su uglavnom vezane za heksametafosfat, i koje ukazuju na različito ponašanje ove materije u odnosu na ostale kompleksone. Pošto su polifosfati, i pored veoma široke primene, još uvek nedovoljno ispitani, u ovom radu dati su rezultati koji mogu biti od interesa za dalji rad u traženju novih receptura za postupke dekontaminacije.

Materije i metode

Rastvori su pripremani na taj način što su u sintetskoj morskoj vodi (DIN 50907) rastvarane sledeće supstance:

- "Detergent V conc", nejonogena površinsko aktivna supstanca, derivat produkata kondezacije etilenoksida; proizvodjač "Teol"- Ljubljana;

- natrijum heksametafosfat tehničke čistoće, proizvodjač "Hrastnik " - Hrastnik;

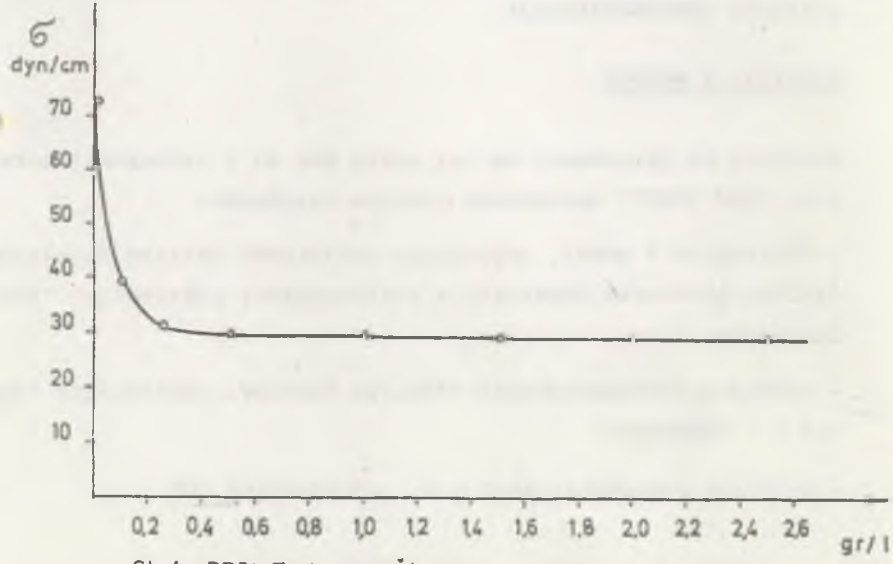
- natrijum heksametafosfat p.a., proizvodjač BDH.

Ogledi dekontaminacije izvodjeni su na dve vrste materijala: na poliestar pločama i beloj boji na čeličnom limu. Uzorci su kontaminirani rastvorom radioizotopa ^{144}Ce + ^{144}Pr u sintetskoj morskoj vodi pH 7. Specifična aktivnost rastvora iznosila je 1,55 μCi/ml. Uzorci Ø 25 mm, kontaminirani su nanošenjem 0,1 ml rastvora na sredinu svakog uzorka. Posle 3^{h} uzorci su dekontaminirani mlazom jednog od pripremljenih rastvora za dekontaminaciju.

Površinski napon meren je stalagmometrijskom metodom, a pH pomoću pH-metra sa staklenom elektrodom. Sva ispitivanja su vršena na sobnoj temperaturi.

Rezultati

Da bi se odredila potrebna koncentracija površinsko aktivne supstance "Detergent V conc" meren je površinski napon u funkciji koncentracije.



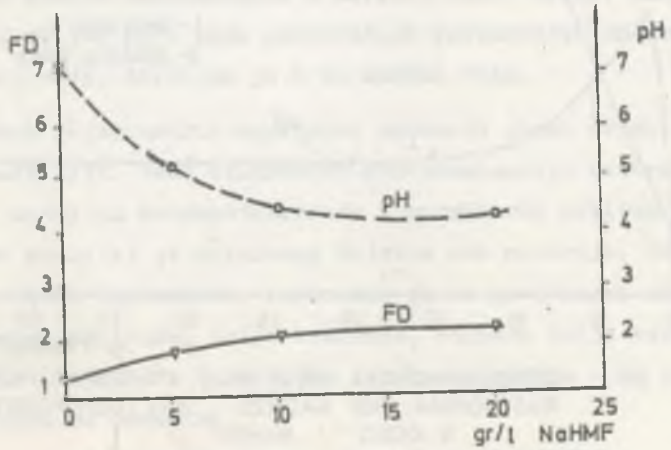
SL. 1 PROMENA POVRŠINSKOG NAPONA U FUNKCIJI KONCENTRACIJE „DETERGENTA V CONC."

Prema ovim rezultatima (sl 1) površinski napon opada do koncentracije od 1,5 gr/l, a zatim ostaje konstantan. Za dalji rad je odabrana koncentracija od 2 gr/l. Sa ovim rastvorom koji je bio neutralan, postignuti su na oba materijala faktori dekontaminacije oko 2. Sa morskom vodom bez dodataka postignuti su niži faktori: na poliestru 1,1, a na beloj boji 1,3 (tab. 1).

Tab. 1. Dekontaminacija uzoraka morskom vodom i rastvorom površinsko aktivne supstance

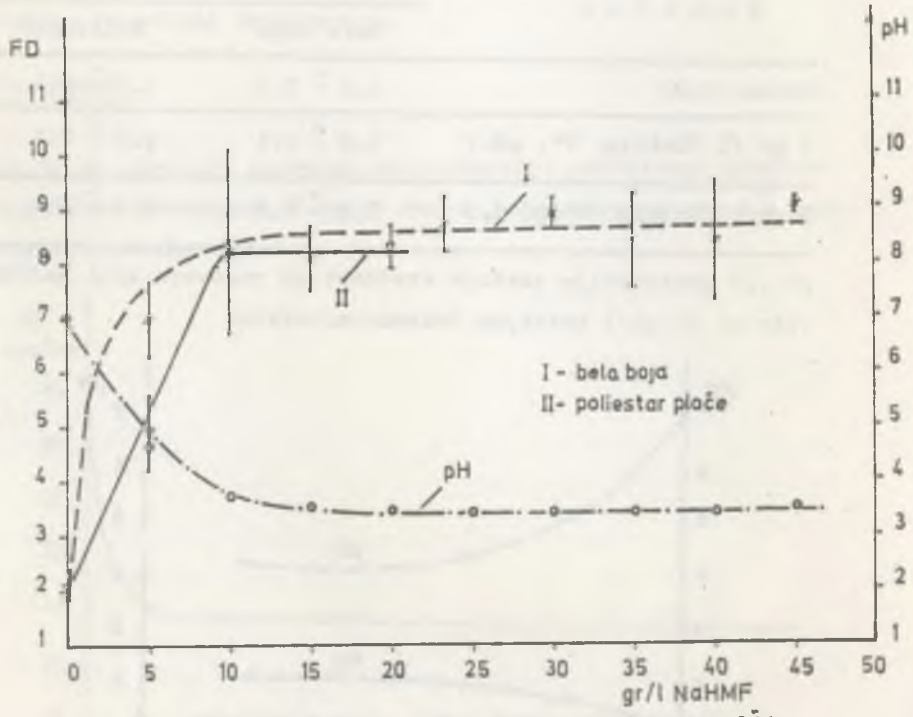
Rastvor	FD	
	Bela boja	Poliestar
Morska voda	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,1
2 gr /l "Deterg. V", pH-7	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,1
2 gr/l "Deterg. V",pH=3,7	5,3 ± 0,2	6,8 ± 0,4

pH 3,7 predstavlja srednju vrednost pH rastvora koji sadrže više od 15 gr/l natrijum heksametafosfata.



SL 2 DEKONTAMINACUA BELE BOJE RASTVORIMA Na-HEKSAMETAFOSFATA U MORSKOJ VODI

Optimalna koncentracija natrijum heksametafosfata odredjivana je merenjem efikasnosti dekontaminacije u funkciji koncentracije natrijum heksametafosfata. Rezultati su pokazali (sl 2) da efikasnost raste sa koncentracijom, ali da se dobijaju relativno niski faktori dekontaminacije. Medjutim, kada se rastvorima doda površinsko aktivna supstanca, efikasnost se povećava (sl 3.). Prema rezultatima, faktori dekontaminacije rastu sa koncentracijom natrijum heksametafosfata do 15 gr/l, a pri daljem povećanju ostaju konstantni.



Sl. 3 DEKONTAMINACIJA BELE BOJE I POLIESTAR PLOČA RASTVORIMA, KOJI SADRŽE 2gr/l „DETERGENTA V CONC " I NaHMF

Merenjem pH rastvora u funkciji koncentracije natrijum heksametafosfata konstatovano je da kiselost raste takodje do koncentracije od 15 gr/l, a sa daljim dodatkom heksametafosfata pH se ne menja. Rastvor je u početku mutan, a izbistrava se takodje u blizini koncentracije od 15 gr/l.

Pojava opadanja pH proverena je i sa rastvorima soli sledećih katjona: Ba^{2+}, Sr^{2+}, Ce^{3+} i Al^{3+}. Neutralnim rastvorima soli dodavan je takodje neutralan rastvor natrijum heksametafosfata u destilisanoj vodi. Nagli pad pH registrovan je u svim slučajevima. Ova pojava ispitivana je sa heksametafosfatom tehničke čistoće, a zatim je proverena sa istom supstancom čistoće p.a. Rezultati su se poklapali u oba slučaja.

Diskusija

Prema prikazanim rezultatima u prvom redu može da se izvede zaključak da primenjena nejonogena površinsko aktivna supstanca ostaje nepromenjena u morskoj vodi. Naime, koncentracija od 1-2 gr/l koju preporučuje proizvodjač za pranje u običnoj vodi, dovoljna je i za morsku vodu.

Rastvori pojedinačnih supstanci pokazuju nizak efekat dekontaminacije. Veća efikasnost dekontaminacije rastvorom smeše natrijum heksametafosfata i površinsko aktivne supstance rezultat je udruženog dejstva obe materije. Pošto su površine hidrofobne, verovatno je da površinsko aktivna supstanca omogućava bolje kvašenje, odnosno bolji kontakt aktivne komponente - natrijum heksametafosfata - sa kontaminantima na površini.

Pošto se po dodatku natrijum heksametafosfata morskoj vodi znatno smanjuje pH, pretpostavilo se da povećana efikasnost dekontaminacije je rezultat veće kiselosti rastvora. Stoga je izveden ogled dekontaminacije rastvorom površinsko aktivne supstance kome je pH pomoću sone kiseline snižen na 3,7 (tab. 1). Dobiveni su niži faktori dekontaminacije nego u prisustvu heksametafosfata, što ukazuje na aktivnu ulogu ove materije.

Smanjenje pH u rastvorima dvo- i trovalentnih katjona po dodatku natrijum heksametafosfata je predmet obimnih istraživanja poslednjih godina /2,3/. Pretpostavlja se da je ova pojava rezultat stvaranja baznih soli, ali ova pretpostavka za sada još nije potvrdjena.

Pri odredjivanju optimalnih koncentracija heksametafosfata za dekontaminaciju, očekivalo se da će se ove kretati oko 40 gr/l. Naime, ukupna koncentracija dvovalentnih katjona u sintetskoj morskoj vodi iznosi 0,063 mol/l. Prema literaturnim podacima, natrijum heksametafosfat gradi sa dvovalentnim katjonima komplekse u molskom odnosu 1:1, te bi ekvivalentna količina heksametafosfata iznosila 38,6 gr/l. Prema tome, rastvoru bi trebalo dodati prvo onoliku količinu heksametafosfata koja je potrebna da se nagrade kompleksi svih katjona iz morske vode, a zatim izvestan višak koji bi vezivao radioaktivne katjone. Medjutim, pokazalo se da se optimalna koncentracija heksametafosfata u rastvoru za dekontaminaciju nalazi daleko ispod očekivane. Ova koncentracija (15 gr/l) poklapa se sa tačkom prestanka opadanja pH, kao i sa tačkom izbistravanja rastvora. Daljih promena u rastvoru nema, a ne menja se ni efikasnost dekontaminacije. Nikakvih promena nema ni oko koncentracije od 38,6 gr/l.

Zaključak

Pri odredjivanju optimalnih koncentracija aditiva koji povećavaju efikasnost dekontaminacije morskom vodom došlo se do sledećih zaključaka:

1. Koncentracija od 2 gr/l površinsko aktivne supstance "Detergent V conc" dovoljna je za pripremanje rastvora za dekontaminaciju.

2. Optimalna koncentracija natrijum heksametafosfata iznosi 15 gr/l. Daljim povećanjem koncentracije ne povećava se efikasnost dekontaminacije.

3. Najviši postignuti faktori dekontaminacije ostvaruju se samo sa rastvorima koji sadrže obe komponente: natrijum heksametafosfat i površinsko aktivnu supstancu.

Literatura

1. Lj. Jelić, R. Božović: "Materije za radiološku dekontaminaciju rastvorne u morskoj vodi" Zbornik radova IV jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, I, 342-347,1969.

2. W.M. Mc Nabb, J.F. Hazel, R.A. Baxter, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, Vol. 30, 1585-931, 1968.

3. E. Giesbrecht, L. F. Audrieth, J. Inorg. Nuclear Chem. Vol. 6, 308-313, 1958.

4. H. Stüpel: "Synthetische Wash und Reinungsmittel", Kongradin-Verlag, Robert Kohlhammer, Stuttgart, 1957.

DEKONTAMINACIJA PAMUČNIH TKANINA MORSKOM VODOM

Nt / 38

+M. Ristić, Lj. Jelić

Institut za tehničko medicinsku zaštitu - Beograd

Morska voda se, zbog visokog sadržaja dvovalentnih katjona, pokazala veoma efikasnom za dekontaminaciju obojenih površina kontaminiranih stroncijumom-89 /1/. Pošto pamučne tkanine vezuju radioaktivne katjone u prvom redu procesom jonske izmene /2/, predpostavilo se da bi morska voda i u ovom slučaju mogla efikasno da se primeni za dekontaminaciju.

U okviru ovoga rada dati su rezultati ispitivanja dekontaminacije pamučnog platna kontaminiranog radioizotopima ^{89}Sr i ^{144}Ce + ^{144}Pr. Za dekontaminaciju su korišćeni kako čista morska voda, tako i rastvor nejonogene površinsko aktivne supstance i natrijum heksametafosfata u morskoj vodi, koji je primenjivan i za dekontaminaciju obojenih površina /3/. Paralelno su, radi poredjenja, izvodjeni i ogledi sa običnom vodom.

Materije i metode

Uzorci belog keper platna dimenzija 30x30 mm kontaminirani su nanošenjem 0,1 ml rastvora ^{89}Sr, odnosno ^{144}Ce + ^{144}Pr bez nosača. Rastvori su bili neutralni, a specifične aktivnosti su iznosile 0,6 μCi/ml za ^{89}Sr i 1,5 μCi/ml za ^{144}Ce + ^{144}Pr. Posle jednog sata uzorci su po 20 min. prani u balonima uz mućkanje sa vodenim modulom 15,4 (pet uzoraka u 20 ml vode ili rastvora). Temperatura vode i rastvora iznosila je 22-24°C. Posle svake operacije pranja uzorci su sušeni u sušnici

na 100°C a zatim mereni na zvonastom GM brojaču.

Pranje je vršeno u običnoj (česmenskoj) i sintetskoj morskoj vodi (DIN 50907) i u rastvorima koji su sadržali:

a) 2 gr/l nejonogene površinsko aktivne supstance "Detergent V conc";

b) 15 gr/l natrijum heksametafosfata tehničke čistoće;

c) 2 gr/l površinsko aktivne supstance i 15 gr/l natrijum heksametafosfata.

Rastvori su pripremani sa česmenskom i sintetskom morskom vodom.

Rezultati dati u tabelama predstavljaju srednje vrednosti dobivene merenjem najmanje deset uzoraka i izraženi su u obliku faktora dekontaminacije sa standardnom greškom srednje vrednosti od 10%.

Rezultati i diskusija

U tabelama 1. i 2. prikazani su faktori dekontaminacije koji se postižu nakon jednog pranja, kao i ukupni faktori postignuti nakon tri izmene rastvora za dekontaminaciju. Ukupni faktori dati su iz razloga što efikasnost dekontaminacije opada sa brojem izmena rastvora, te nema svrhe da se primeni jedan rastvor više od tri puta.

Poredjenjem rezultata u tabelama može da se konstatuje da se stroncijum i cer različito ponašaju pri dekontaminaciji. U slučaju stroncijuma morska voda je oko dva puta efikasnija od obične. Dalje, prisustvo površinsko aktivne supstance ne samo da ne povećava, nego čak i smanjuje efekat dekontaminacije. U rastvorima natrijum heksametafosfata postižu se i u običnoj i u morskoj vodi faktori dekontaminacije oko 30. Prisustvo po-

površinsko aktivne supstance u rastvorima koji sadrže natrijum heksametafosfat ne povećava, ali i ne smanjuje faktore dekontaminacije.

Tab. 1. Faktori dekontaminacije postignuti na pamučnim tkaninama kontaminiranim sa ^{89}Sr rastvorima materija za dekontaminaciju u običnoj i morskoj vodi

Rastvor za dekontaminaciju	Obična voda		Morska voda	
	FD jednog pranja	FD ukupni tri pranja	FD jednog pranja	FD ukupni tri pranja
Voda bez dodataka	4,3	9,5	10	18
2 gr/l"Detergenta V"	3,4	7,1	5,6	7,2
15 gr/l natrijum heksametafosfata	34	1400	29	13000
2 gr/l "Detergenta V" i 15 gr/l Na HMF	30	1000	31	1200

Tab. 2. Faktori dekontaminacije postignuti na pamučnim tkaninama kontaminiranim sa ^{144}Ce + ^{144}Pr rastvorima materija za dekontaminaciju u običnoj i morskoj vodi

Rastvor za dekontaminaciju	Obična voda		Morska voda	
	FD jednog pranja	FD ukupni tri pranja	FD jednog pranja	FD ukupni tri pranja
Voda bez dodataka	1,1	-	1,1	-
2 gr/l"Detergenta V"	1,2	1,7	1,3	1,6
15 gr/l natrijum heksametafosfata	26	1500	25	1200
2 gr/l "Detergenta V" i 15 gr/l Na HMF	26	1500	27	1500

Za razliku od stroncijuma, cer se veoma malo uklanja kako običnom tako i morskom vodom. U oba slučaja dobiveni su faktori dekontaminacije 1,1. Sa rastvorom natrijum heksametafosfata početna aktivnost na uzorcima je smanjena oko 26 puta. Ni u ovim ogledima prisustvo površinsko aktivne supstance nije povećalo efekat dekontaminacije.

Prema prikazanim rezultatima može da se zaključi da morska voda može uspešno da se primeni za dekontaminaciju pamučnih tkanina kontaminiranih smešom radioizotopa stroncijuma i retkih zemalja. Za dekontaminaciju bi bio najefikasniji dvostepeni postupak: prvo pranje morskom vodom bez dodataka da bi se uklonio najveći deo dvovalentnih katjona, a zatim pranje rastvorom površinsko aktivne supstance i natrijum heksametafosfata. Ispiranje bi u svakom slučaju trebalo vršiti slatkom vodom, da bi se isprali ostaci soli sa tkanine.

Iako bi na osnovu ovih rezultata moglo da se zaključi da je prisustvo površinsko aktivne supstance u rastvoru nepotrebno, ipak ne treba zaboraviti da tkanine najčešće mogu biti i prirodno zaprljane, i da kontaminant može biti vezan za te nečistoće. Tada je za njihovo uklanjanje neophodno prisustvo površinsko aktivne supstance u rastvoru, da bi se povećao efekat pranja.

Ispitivanja su takodje pokazala da je smeša natrijum heksametafosfata i površinsko aktivne supstance pogodna i za dekontaminaciju kada se primenjuje obična voda. U tom slučaju bi, medjutim, trebalo ispitati koja bi bila optimalna koncentracija natrijum heksametafosfata, jer ona bi svakako zbog manje koncentracije dvovalentnih katjona u običnoj vodi, bila manja. Izbor površinsko aktivnih materija pri dekontaminaciji tekstila običnom vodom je daleko veći, jer mogu da se primene i ši-

roko rasprostranjene anjonaktivne supstance, koje se u morskoj vodi ne rastvaraju.

Sva ispitivanja izvedena su na sobnoj temperaturi. Preliminarni ogledi na povišenoj temperaturi (60°) pokazali su da efikasnost dekontaminacije morskom vodom nešto opada, dok se kod obične vode ne menja. Opadanje efikasnosti rezultat je verovatno hidrolize natrijum heksametafosfata. Prema tome, u slučajevima kada se koristi morska voda ne treba dekontaminaciju vršiti na temperaturama višim od $60^{o}C$, jer se na ovim temperaturama hidroliza znatno ubrzava /4/.

Zaključak

Na osnovu rezultata dekontaminacije pamučnih tkanina može da se zaključi sledeće:

1. Morska voda efikasnije uklanja dvovalentne katjone sa pamučnih tkanina od obične vode.

2. Trovalentni katjoni sa vodom, kako običnom tako i morskom, neznatno uklanjaju. Za dekontaminaciju uspešno može da se primeni rastvor koji sadrži natrijum heksametafosfat i površinsko aktivnu supstancu.

3. Za dekontaminaciju pamučnih tkanina kontaminiranih smešom radioizotopa stroncijuma i retkih zemalja najcelishodnije i najekonomičnije je primeniti dvostepeni postupak: prvo pranje morskom vodom bez dodataka, a zatim rastvorom natrijum heksametafosfata i površinsko aktivne supstance. Za ispiranje treba primeniti običnu vodu, da bi se tkanina isprala od zaostalih soli.

Literatura

1. Lj. Jelić, D. Mijović, R. Božović, M. Ristić, I.Cavrić, Naučno-tehnički pregled, N°2, 37-45, 1969.

2. D. G. Stevenson, Research, 13, 10, 383, 1960.

3. Lj. Jelić, R. Božović, Zbornik radova IV jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, I, 342-347, Baško Polje, maj 1969.

4. H. Stüpel "Syntetische Wash - und Reinungsmittel" Konrad-Verlag Robert Kohlhammer, Stuttgart, 1957.

PR 64070

PRIMJENA MORSKE VODE KAO OTAPALA DEKONTAMINANATA

Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

Radoslav Despotović

UVOD

Dekontaminacija površina, kao postupak, interesantna je prvenstveno na onim mjestima, gdje se radi sa radioaktivnim materijalima, ili, gdje zbog različitih drugih uzroka (transport, stokiranje, nuklearne eksplozije itd.) može doći do kontaminacije različitim radioaktivnim materijama. Široka primjena radioaktivnih izotopa u istraživanjima, medicini, i tehnologiji, postavlja problem dekontaminacije kao vrlo aktuelan oblik radiološke zaštite u svakodnevnom radu. Iz tih činjenica i proizlazi čitav niz različitih problema kako tehnoloških tako i fundamentalno istraživačkih. Depozicija radioaktivnih otpadaka vrlo visoke radioaktivnosti u staklaste krutine[1] i taljene silikate[2], utjecaj termičkog tretmana na kapacitete silikatnih nosača[3], kapaciteti mineralnih nosača kaolina i rutila za različite radionuklide[4], istraživanje utjecaja medija u kojem se fiksiraju radionuklidi na staklu[5], efekti negativne fiksacije na glinama montmorilonita[6], kao i istraživanja utjecaja sastava tekuće faze i svojstava nosačkog materijala na tok procesa fiksacije[7] pored čitavog niza sličnih istraživanja djelomično ukazuju na vrlo složenu problematiku istraživanja fundamentalnih i praktičnih problema dekontaminacije.

Od praktičnih problema dekontaminacije, vrlo je aktuelno pitanje univerzalnog i jeftinog dekontaminanta, koji vrlo brzo i efikasno dekontaminira široki spektar radionuklida. Izbor dekontaminanta se danas uglavnom svodi na primjenu različitih tensida, pri čemu se kao otapalo

upotrebljava obična ili destilirana voda. Budući da je otapalo druga glavna komponenta, za posebne slučajeve kontaminacije velikih površina uz more, od praktičnog je značaja utvrditi mogućnost primjene morske vode kao otapala za dekontaminante. Rezultati istraživanja vršenih u tom pravcu opisani su u ovom radu.

EKSPERIMENTALNI DIO

Kao otapalo upotrebljavana je (a) destilirana i (b) morska voda. Morska voda je uzimana 1 km jugosapadno od Rovinja iz dubine od 10 m. Ispitivanja su vršena na 14 komercijalnih tensida: ALBUS (1), AUTO-PRAL (2), ROBOT (3), SAPS (4), BAD (5), TAJM (6), PERESAM (7), BIJELI ZAGREB (8) PIP (9), REX (10), BIS (11), NILA (12), PLAVI RADION (13) i YETI (14). Proizvođači navedenih tensida su Albus, Novi Sad (1), Dedrog, Ljubljana (2), Riviera, Kotor (3), Nikola Đurković, Kotor (4), Merima, Kruševac (5,6), Labud, Zagreb (7 ,8,9,10) i Saponia, Osijek (11,12,13,14). Otopine tensida su pripremane ovako: 100 grama tensida + 500 ml otapala = osnovna otopina A, koncentracije 1. Otopina koncentracije 0,1 pripremljena je tako, da je 50 ml otopine A razređeno na 500 ml. Otopina koncentracije 0,01 priređena je razređivanjem 50 ml otopine 0,1 do 500 ml otapalom itd.

Napetost površine određivana je kao srednja vrijednost od 5 uzastopnih mjerenja na Ostwaldovom stalagmometru. Gustoće otopina određivane su pomoću piknometra, a kiselost sistema RADIOMETER pH-metrom. Svi su sistemi u toku mjerenja i pripreme termostatirani HAAKE-ovim ultratermostatom na 20,0 ± 0,2°C.

Kao nosač velikog kapaciteta upotrebljen je koloidno mlijeven karlovarski kaolinit bruto formule $(OH)_8Si_4Al_4O_{10}$ približnog kvantitativnog sastava: 46,54% SiO_2, 39,50% Al_2O_3, 13,96% H_2O. Kaolinit je kontaminiran ovako: 5 g kaolinita homogenizira se u 50 ml otapala i kontaminira sa 100 mikrolitara $^{131}I^-$, odnosno 100 mikrolitara $^{152,154}Eu^{3+}$, a zatim se ostavi 1 dan da se uspostavi kontaminaciono-dekontaminaciona ravnoteža. Nakon toga se suspenzija centrifugira. Kaolinit sedimentira a bistra matičnica se odvoji pipetom. Isti volumen čiste vode se doda na kaolinit, homogenizira se potresivanjem, centrifugira, odvoji tekuća faza i to se ponovi 3 puta. Tako opran talog kaolinita iz kojeg je odvojen nevezani radionuklid osuši se i služi kao kontaminirani uzorak za ispitivanje dekontaminacije. Za određivanje faktora dekontaminacije sistemi se pripremaju ovako: cca 100 mg kontaminiranog kaolinita homogenizira se sa 10 ml otopine dekontaminanta i podijeli na tri jednaka dijela u tri erlenmeyerove tikvice sa staklenim čepom. Nakon 15 minuta u plastičnoj kiveti centrifugi-ranjem se odvoji tekuća od krute faze. Uzima se 3 puta po 0,500 ml bistre otopine iznad taloga i određuje se radioaktivnost tekuće faze A_t. Iz druge tikvice se uzima tri uzorka od po 0,500 ml homogene suspenzije i određuje joj se radioaktivnost A_o. Iz srednjih vrijednosti radioaktivnosti A_t i A_o izračuna se faktor dekontaminacije $f = (A_t/A_o).100$. Isto se radi nakon 1 dan (t_A = 1500 minuta). Radioaktivnosti su određivane u bunarskom tipu NaI(TlI) scintilacionog kristala sa fotomultiplikatorom i brojilom EKCO ELECTRONICS. Za dekontaminaciju upotrebljavane su ove otopine:

I) 0,001 M NaI u destiliranoj vodi
II) 0,001 M NaI u morskoj vodi
III) 0,001 N $EuCl_3$ u destiliranoj vodi
IV) 0,001 N $EuCl_3$ u morskoj vodi

V) 0,0001 c tensid u 0,001 M NaI u destiliranoj vodi
VI) 0,0001 c tensid u 0,001 M NaI u morskoj vodi
VII) 0,1 c tensid u 0,001 M NaI u destiliranoj vodi
VIII) 0,1 c tensid u 0,001 M NaI u morskoj vodi
IX) 0,000 1 c tensid u 0,001 N $EuCl_3$ u destiliranoj vodi
X) 0,0001 c tensid u 0,001 N $EuCl_3$ u morskoj vodi
XI) 0,1 c tensid u 0,001 N $EuCl_3$ u destiliranoj vodi
XII) 0,1 c tensid u 0,001 N $EuCl_3$ u morskoj vodi

Rezultati su prikazani na tabelama I i II

TABELA I

Tensid	pH				σ [din/cm]			
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	8,0	9,1	6,5	10	69	44	71	41
2	8,8	9,9	4,6	6,6	68	34	65	40
3	7,6	8,6	6,1	9,8	73	60	73	34
4	7,1	8,8	7,2	10	41	34	67	29
5	7,6	6,3	6,4	8,9	73	68	74	71
6	8,6	9,3	6,6	10	74	66	73	37
7	8,1	9,6	6,4	10,4	68	39	70	40
8	7,6	9,5	7,3	10	56	44	53	44
9	7,9	6,9	5,5	6,3	71	39	73	41
10	7,2	8	5,5	7	66	36	69	51
11	7,6	9,5	6	6,9	71	36	60	37
12	6,5	7,5	6,5	8,3	54	26	54	29
13	8	10	6,5	10	63	54	69	65
14	7,5	8			73	54		

Legenda:

a - pH 0,0001 c otopine tensida u morskoj vodi

b - pH 0,1 c otopine tensida u morskoj vodi

c - pH 0,0001 c otopine tensida u destiliranoj vodi

d - pH 0,1 c otopine tensida u destiliranoj vodi

e - napetost površine 0,0001 c otopine tensida u morskoj vodi

f - napetost površine 0,1 c otopine tensida u morskoj vodi

g - napetost površine 0,0001 c otopine tensida u destiliranoj vodi

h - napetost površine 0,1 c otopine tensida u destiliranoj vodi.

Napetosti površine su izražavane za granicu otopina/zrak u din.cm^{-1}. Kiselost pH i napetost površine σ mjereni su na otopinama starim 1 dan.

TABELA II

Sistem:	Otopina:	Tensid:	f_{15}	f_{1500}
A	I	-	57	72
B	II	-	63	68
C	III	-	33	41
D	IV	-	22	32
E	V	3	57	66
F	VI	3	60	73
G	VII	3	66	84
H	VIII	3	66	74
I	V	6	63	68
J	VI	6	72	82
K	VII	6	82	92
L	VIII	6	65	77
M	V	14	62	76
N	VI	14	64	82
P	VII	14	74	93
R	VIII	I4	67	86
S	IX	3	12	13
T	X	3	10	31
U	XI	3	50	75
V	XII	3	3	4
W	IX	6	10	22
Q	X	6	40	42
X	XI	6	94	99
Y	XII	6	8	22
w	IX	14	39	49
q	X	14	23	24
x	XI	14	58	68
y	XII	14	6	7

Legenda:

f_{15} : faktor dekontaminacije izmjeren nakon 15 minutnog kontakta otopine za dekontaminaciju sa kontaminiranim kaolinitom.

f_{1500}: faktor dekontaminacije izmjeren nakon 1500 minutnog kontakta otopine za dekontaminaciju sa kontaminiranim kaolinitom.

REZULTATI

Određivanje kiselosti otopina tensida u morskoj vodi pokazjje (Tabela I) u pravilu vrlo malu promjenu kiselosti sistema sa promjenom koncentracije tensida od 0,0001 do 0,1 c. Povećanjem koncentracije tensida, otopine prosječno neutralne, postaju vrlo blago bazične. Kod otopina tensida u destiliranoj vodi promjene kiselosti sa promjenom koncentracije tensida su u prosjeku znatnije i kreću se od neznatno kiselog do nešto višeg pH, u ekstremnim slučajevima, u komparaciji sa otopinama tensida u morskoj vodi. Napetost površine na granici otopina/zrak uvijek je veća uz manju koncentraciju tensida za sisteme priređivane u destiliranoj i morskoj vodi (Tabela I).

Faktor dekontaminacije, f, određivan nakon 15-minutnog kontakta otopine za dekontaminaciju sa kontaminiranim kaolinitom f_{15} u svim određivanim sistemima je niži od f_{1500}, faktora dekontaminacije određivanog nakon jednodnevnog kontakta otopine za dekontaminaciju sa kontaminiranim kaolinitom, kako za sisteme sa destiliranom, tako i za sisteme sa morskom vodom (Tabela II). U sistemima bez tensida (ABCD u Tabeli II) f_{1500} ima više vrijednosti u otopinama destilirane vode, nego u morskoj vodi. Dekontaminacija ^{131}I (sistemi E do R) pokazuje za f_{1500}, da je efekt dekontaminacije to veći, što je veća koncentracija tensida u destiliranoj vodi. Za otopine u morskoj vodi efikasnost dekontaminacije malo varira sa promjenom koncentracije tensida. Međutim, kod niskih koncentracija tensida, faktor dekontaminacije je veći u sistemima sa morskom vodom, nego destiliranom vodom. Kod viših koncentracija tensida taj efekt je suprotan. Za f_{15} odnosi su ekvivalentni, samo sa nižim vrijednostima. Dekontaminacija $^{152,154}Eu$ (sistemi S do y Tabela II) u biti pokazuje kvalitativno iste efekte kao i dekontaminacija ^{131}I, s tom razlikom. što su u kvantitativnom smislu sve razlike znatno izrazitije, i što su razlike f-vrijednosti za destiliranu i morsku vodu znatno izrazitije.

DISKUSIJA

Brzina fiksacije nekog radionuklida i kapacitet nosačkog materijala ovise o čitavom nizu različitih fizičko kemijskih ravnoteža i stanja komponenata promatranog sistema[5]. Sa stanovišta praktične dekontaminacije važni su slijedeći fakti: efikasnost fiksacije radionuklida ovisi o načinu pripreme nosačkog materijala, tretmanu prije procesa fiksacije te kvalitativnom i kvantitativnom sastavu tekuće faze u kojoj je otopljen dekontaminant. Kao nosački materijal upotrebljen je koloidno mljeven kaolinit, jer ima vrlo veliki kapacitet vezivanja (gama kapacitet = gram mol vezanog iona po gramu kaolinita). Ako je dekontaminant tensid ionskog tipa, tada će u koncentracijama oko kritične micelarne koncentracije pokazivati izrazito porast brzine fiksacije u odnosu na niže kritične koncentracione granice, što ujedno znači, da uz kritične micelarne koncentracije, kod kojih se mijenja predznak zeta potencijala, fiksacija radionuklida se odvija brže, nego u sistemima bez tensida. Ovo podrazumijeva, da se anionska vrsta radionuklida dekontaminira brže u prisustvu kationskog tipa tensida i obratno. Neionski tip tensida u pravilu ne djeluje na brzinu fiksacije radionuklida[7]. Za cca 30 ispitanih različitih tensida, od decil-R do tetradecil-R derivata kritične micelarne koncentracije leže između 0,01 do 0,1 c (smisao c vidi u Eksperimentalnom dijelu), a gama koncentracije (koje odgovaraju kapacitetu nosačkog materijala) između 0,000001 do 0,0001 c. Kako su naši komercijalni tensidi uglavnom različiti dodecil-R derivati, za naša određivanja smo upotrebili kao dvije kritične koncentracije 0,0001 i 0,1 c otopine. Rezultati prikazani na Tabeli I generalno pokazuju jednaki trend promjene kiselosti sistema sa promjenom koncentracije ispitivanih tensida. Budući da su promjene pH relativno male i apsolutne varijacije u promjeni napetosti površine sa starenjem otopina u pravilu ne mogu biti velike[8]. S druge strane, u istoj tabeli vidimo, da su za sve ispitane tenside napetosti površine uz kritične micelarne

koncentracije u vodenim otopinama znatno niže, nego uz niže koncentracije tensida, dok se u otopinama u morskoj vodi, u pravilu dobiva znatno manje smanjenje napetosti površine. Ovo je normalna posljedica poznatng površinski deaktivnog djelovanja elektrolita na otopine tensida. Budući da je snisao promjena kiselosti sistema i napetosti površine sa promjenom koncentracije tensida i vrste otapala kao važnih karakteristika za promatrane efekte uglavnom jednak za sve ispitane tenside, za daljnju analizu promatrat ćemo samo tri između 14 ispitanih tensida.

Rezultati dobiveni na sistemima A i B (Tabela II) u skladu su sa progresom fiksacije tokom vremena[5] i posebno je samo interesantna činjenica da je f_{15} veći kod sistema B nego A. Isto tako rezultati na sistemima C i D pokazuju progres fikaacije sa vremenom, pri čemu je u otopini sa morskom vodom faktor dekontaminacije znatno niži. Ovo je u skladu s promjenom radiusa iona promatranog radionuklida $^{152,154}Eu$, koji se kod ispitivanog pH pojavljuje kao druga specija, većeg ionskog radiusa i manje pogodna za zamjenu sa ionskim Eu^{3+} inkorporiranim u kaolinit. Sistemi A, B, C i D služe kao osnova za komparaciju efekta povećanja faktora dekontaminacije u prisustvu tensida, a priređeni su u destiliranoj (A i C) i morskoj (B i D) vodi za utvrđivanje djelovanja sastava morske vode na proces dekontaminacije. U skladu sa općim konstatacijama izvedenim na ispitivanju modelnih sistema[5,7,8], ispitivanja na sistemima od E do y pokazjju, da sa vremenom dekontaminacije, faktor dekontaminacije raste, i da je za vodene otopine tensida brzina fiksacije znatno veća uz kritične micelarne koncentracije, nego uz gama koncentracije. Sistemi E do R pokazuju, da su efekti izrazitiji uz f_{1500} nego uz f_{15} i da je za niže koncentracije tensida u moru faktor dekontaminacije veći, nego za sisteme priređene sa destiliranom vodom. Ovo je praktično vrijedan rezultat, jer pokazuje, da se primjenom morske vode kao otapala dekontaminanta, efikasnost dekontaminacije još povećava. Međutim, rezultati uz višu koncentraciju tensida za

sisteme u morskoj vodi ne pokazuju znatniji porast faktora dekontaminacije, što je evidentna posljedica djelovanja elektrolita iz mora na efekte ubrzanja fiksacije tensidom. Ovo ujedno upućuje na to, da je za praktičnu dekontaminaciju uz tensid potrebno odrediti optimalnu koncentraciju tensida, jer se iznad određene koncentracije tensida fiksacija više ne ubrzava i to tim više jer je poznato, da neke vrste tensida iznad optimalne koncentracije, dakle kod viših koncentracija čak i smanjuju efikasnost fiksacije radionuklida[3]. Sistemi od S do y u cjelini pokazuju znatno niže vrijednosti za faktore dekontaminacije kationske forme radionuklida, uz niže koncentracije tensida u vodenim otopinama, pri čemu su i ovdje rezultati potpuno u skladu sa rezultatima na modelnim sistemima[5]: uz više koncentracije tensida faktor dekontaminacije je znatno viši, nego uz niske koncentracije tensida. Međutim, djelovanje morske vode na $EuCl_3$ u otopini dekontaminanta je tako jako, posebno u prisustvu viših koncentracija tensida, da se dobivaju vrlo mali efekti dekontaminacije. I kod nižih koncentracija tensida efekti dekontaminacije radionuklida kationskog tipa su u prosjeku u pola manji, nego kod dekontaminacije radionuklida anionske forme, što je evidentna posljedica, ne samo djelovanja morske vode, već i ispitivanog tensida na elktrolit-nosač.

Iz navedenog možemo zaključiti, da morska voda kao otapalo za dekontaminante (nosač-elektrolit + tensid) pokazuje na osnovu preliminarnih ispitivanja vrlo dobra svojstva kada je potrebno dekontaminirati radionuklid anionske forme, te da prisustvo tensida u istim koncentracijama za cca 100% povećava i efikasnost dekontaminacije kationskog radionuklida, ako je otopina priređena u destiliranoj vodi, dok se za otopine dekontaminanta u morskoj vodi faktor dekontaminacije znatno smanjuje.

LITERATURA

1. W.E. Clark, H.W. Godbee, "Treatment and Storage of High-Level Radioactive Wastes", IAEA Vienna (1963) 411.

2. J. Ralkova, J. Saidl, Ibid, (1963) 341,
J. Saidl, J. Ralkova, Collection Czechoslov. Chem. Commun., 31 (1966) 871.

3. H.W. Levi, Nukleonik, 4 (1962) 319. i "Treatment and Storage of High-Level Radioactive Wastes", IAEA Vienna (1963) 587.

H.W. Levi, E. Schiewer, Z. anorgan. allgem. Chem., 337 (1965) 105.
H.W. Levi, W. Lutze, E. Schiewer, Ibid, 334 (1965) 250.
H.W. Levi, E. Schiewer, Radiochim. Acta, 5 (1966) 126.

4. P. Beneš, Radiochim. Acta, 3 (1964) 159.
Chem. listy No. 59 (1965)328.
Ibid. No. 60 (1966) 153.
P. Beneš, A. Garba, Radiochim. Acta, 5 (1966) 99.

5. R. Despotović, M.J. Herak, Lj.A. Despotović, Croat.Chem.Acta. 37 (1965) 209.
R. Despotović, M. Herak, M. Mirnik, R. Wolf, Naučno Tehnički Pregled (Beograd), 16 (1966) 28.
R. Despotović, Disc. Faraday Soc., No. 42 (1966) 208.

6. D.G. Edwards, A.M. Posner, J.P. Quirk, Trans. Faraday Soc., 61 (1965) 2808, 2816 i 2820.

7. R. Despotović, M. Herak, M. Mirnik, Z. Selir, Tenside, (1970).

8. R. Despotović, Proc. V-th International Congress on the Surface Active Substances, Barcelona 1968, Ed. UNIDAS, Barcelona (1969) 897-903, Vol. 2/II.

KORIŠĆENJE PRIRUČNIH SREDSTAVA U AKCIDENTALNIM SLUČAJEVIMA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE

D. PETROVIĆ; D. PANOV

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

Rezime

U našoj laboratoriji je ispitivano vatrogasno sredstvo "laka pena" za dekontaminaciju površina od radioaktivnog fosfora P-32

Posebno je posvećena pažnja upotrebi ovog sredstva u hitnim slučajevima sa tehničkim opisom potrebnih uredjaja.

Pri rešavanju problema dekontaminacij sredstava u našem Institutu mi smo u toku uvod u 3 pravca:

1.- Laboratorijska ispitivanja meto naciju i dekontaminaciju površine.

2.- Tehničko rešavanje problema primene metoda na većim objektima,

3.- Organizacioni rad na prikupljanju podat tehničkim sredstvima na teritoriji SR Srbije.

Laboratorijska ispitivanja

Ova ispitivanja smo izvršili u 2 pravca:

a/ Razrada metoda i uslova simuliranja kontaminacije u akcidentalnim uslovima

b/ Uvodjenje i provera standardnih metoda dekontaminacije površina i tehničkih uredjaja.

a. Simuliranje uslova kontaminacije

U ovu svrhu konstruisali smo komoru za rad sa radioaktivnim gasovima i aerosolima za simuliranje kontaminacije površina i uredjaja u akcidentalnim slučajevima /slika komore).

Komora je zapremine oko 600 l dimenzija 80 x 110 cm. Napravljena je u obliku 8-ugaonika od PVC-a.

Sa komorom smo radili samo sa radioaktivnim gasom Rn-222 do koncentracije od 10^{-6} Ci/l i produktima raspada (radioaktivnim aerosolima) istih koncentracija.

U komori možemo menjati uslove vlažnost, temperature, i pritiska u okviru promene u normalnim atmosferskim i godišnjim uslovima.

Na drugom planu smo ispitivali kontaminaciju površina aluminijuma (tehn. lim) i PVC-površina mokrim putem.

U stručnoj literaturi nemamo standardnih metoda za kontaminaciju predmeta. Uobičajena tehnika je nanošenje radioaktivnog rastvora na samu ispitivanu površinu i posle odredjenog sušenja površina je dekontaminirana. Prethodno je vršeno ispiranje površine vodom.

Smatramo da se rezultat postupaka za dekontaminaciju posle ovakog kontaminiranja moraju prihvatati sa rezervom. Ovi rezultati imaju naučnu vrednost, ali sa aspekta korišćenja ovih metoda za masovnu primenu moramo biti rezervisani.

Zbog ovog je naša laboratorija bacila težište na razradu uslova kontaminacije (komora za radioaktivne gasove i aerosole) i uporednu kontaminaciju različitim putem iz rastvora.

Metoda rada i rezultati

Radioaktivni rastvor, P-32 u rastvoru H_3PO_4 (pH=5) aktivnost 1 μCi nanošen je pipetom na ispitivanu površinu i uparavan do suva pri normalnim uslovima (sobna temperatura i vlažnost). Zatim su pločice sa nanesenim radioaktivnim fosforom potapane u razblaženu H_3PO_4 (pH=5).

Paralelno sa aktivnim pločicama potapali smo čiste pločice u aktivni rastvor H_3PO_4 (pH=5).

Na ovaj način postigli smo iste uslove za sve pločice jedino je put radioaktivne kontaminacije bio različit.

U prvom slučaju neaktivan rastvor i aktivna pločica su uspostavljali ravnotežu za odredjeno vreme.

U drugom slučaju neaktivna pločica i ista količina radioaktivnog fosfora su uspostavljali ravnotežu tokom ispitivanog vremena.

Ispitivane pločice su bile od tehn. aluminijumskog lima i PVC-a.

Rezultati su dati na grafiku 1 (za aluminijum) i grafiku 2 (za PVC).

Zaključak:

Prikazani rezultati su dati kao adsorbovana aktivnost na pločicama (A.A. u %) u funkciji vremena (u h) provedenog u rastvoru H PO (pH = 5),gde je:

Adsorbovana aktivnost =

$$A.A. = \frac{\text{zaostala aktivnost}}{\text{naneta aktivnost}} \cdot 100 \text{ (u \%)}$$

Iz grafika 1. vidimo da se maksimalna kontaminacija dobija posle 3 h u slučaju nanošenja pipetom radioaktivnog rastvora na aluminijumske pločice što je veoma neočekivano i nemamo neki mehanizam koji bi to tumačio.

Isti slučaj imamo i na grafiku 2. za PVC-pločice samo je ovaj maksimum pomeren na oko 15h.

Kontaminacija iz rastvora nema nekih vidnih promena u funkciji vremena.

U oba slučaja su pločice bile ispirane 5-6 puta pre sušenja i merenja.

b. Metode za dekontaminaciju površina deterdžentima

Cilj ovoga ispitivanja je bio da jedan masovni agens kao što su danas deterdženti ispita kao eventualno sredstvo dekontaminacije u akcidentalnim slučajevima.

Tokom organizovanja ovog posla naišli smo još na jedno sredstvo koje ima izvanredne osobine-laka pena.

Laka pena je hemisko sredstvo na bazi proteina, koja pomešana sa vodom 1:1oo može pod odredjenim uslovima da daje laku penu sa 15o-1ooo puta većom zapreminom.

Ovo sredstvo se koristi pri gašenju požara u prostorijama, ne kvasi uredjaje, vezuje nastale gasove i ne reaguje, sa površinama - hemiski je neutralna.

Imajući u vidu ove osobine, naročito vezivanje nastalih štetnih gasova, mi smo u naš program ispitivanja uvrstili i ovo sredstvo. Napominjemo da je ova supstanca veoma raširena kao sredstvo za gašenje požara i nalazi se u standardnoj opremi specijalnih vatrogasnih vozila.

Naši rezultati:

Rezultate dekontaminacije smo prikazali kao faktor dekontaminacije (F.D.):

$$F.D. = \frac{\text{početna aktivnost}}{\text{krajnja aktivnost}}$$

Na tabeli 1 smo prikazali dobijene rezultate za BIS-deterdžent, laku penu, i laku penu aktiviranu sa H_3PO_4 (pH=5). U rubriku F.D. prva cifra je za površine kontaminirane nanošenjem radioaktivnog rastvora, a druga cifra je za površine kontaminirane iz rastvora.

S obzirom na metodu kontaminacije i da smo imali potpuno čiste površine (od nečistoće i masnoće) mi nismo dobili veće F.D. za deterdžente. Kao ni drugi autori, mi nismo dobili značajne razlike za razne koncentracije sredstava.

Od posebnog interesa je mogućnost korišćenja ogromne aktivne površine lake pene aktiviranjem raznim hemijskim sredstvima (u našem slučaju H_3PO_4pH = 5). Već naši rezultati

ukazuju na sposobnost dekontaminacije ovakve mešavine.

Ovde naglašavamo da je veoma složen rizik od štetnog dejstva raznih hemijskih agensa pri njihovom korišćenju izmešanih sa lakom penom. Posebna mogućnost ovakvog d dekontaminenta je njegovo lako sakupljanje posle dekontaminacije.

Naime dosadašnja iskustva sa lakom penom su ta da ona ostaje na površinama na koje se nanose, što omogućava sprećavanje pristupa vazduha, odnosno gašenje.

Tabela 1

Faktori dekontaminacije za različita sredstva

Sredstvo	Konc. %	pločice PVC	pločice od aluminij.
		faktor dekont. F.D.	faktor dekont. F.D.
BIS-deterdžent	1	1,5 ; 2,6	1,4 ; 1,8
BIS-deterdžent	5	- -	1,5 ; 1,1
Laka pena sa vodom	1	1,8 ; 1,1	1,1 ; 1,4
Laka pena sa H_3PO_4 (pH=5)	5	3,3 -	- -
Laka pena sa H_3PO_4 (pH=5)	1o	2,o -	9,o -

Tehnički problemi primene dekontaminacije na većim objektima

Problemi pri primeni sredstva za dekontaminaciju u masovnoj primeni, pored ostalog svode se i na efikasan način mešanja sredstva i njegovog nanošenja na željenu površinu, kao i njegovog prikupljanja.

U našoj laboratoriji smo pokušali da posvetimo i ovom problemu pažnju. Cilj ovog dela našeg rada je da prikupimo dokumentaciju i razmotrimo primenu pojedinih faza u jednom eventualnom akcidentu.

U daljem tekstu razmotrićemo 2 tehnička detalja za masovnu primenu ovih sredstava.

a. Dozator - mešač (crtež na kraju) pretstavlja uredjaj koji obrazuje smešu vode, penušavog sredstva i aktivatore.

Pri tome postoji stalan odnos vode, sredstva za penu i aktivatore. Usled inektorskog efekta usisava se penušavo sredstvo i aktivator. Mešanjem sa vodom u dozatoru dobija se smeša potrebna za obrazovanje pene u mlazici.

Dozatori su podešeni da u odredjenim granicama menjaju uslove rada, odnosno odnos voda-penušavo sredstvo i aktivator.

b. Mlaznica (crtež na kraju) se napaja smešom vode, penušavog sredstva i aktivatora u odredjenom odnosu i sa pritiskom oko 5 atmosferi (ovaj pritisak se postiže vodom iz cisterne ili ako je u pitanju vodovodna mreža ubacuje se standardna vodena pumpa (vidi sliku 1.).

Napominjemo da izradu dozatora i mlazice može prihvatiti preduzeće "VATROSPREM" dok pretežu opremu imaju u svojoj uobičajenoj proizvodnji.

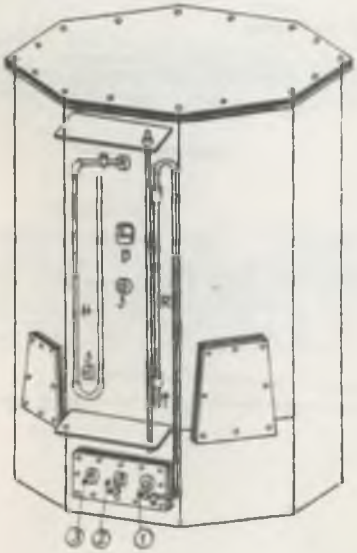
Posebno naglašavamo da smo sve podatke i razradu ovih detalja uradili u zajednici sa stručnom službom preduzeća "VATROSPREM".

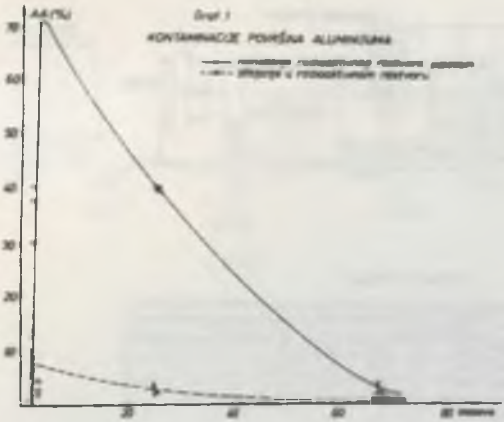
Zaključak:

Pri organizovanju dekontaminacije većeg objekta potpuno je moguće koristiti ovaj postupak sa navedenom opremom, s tim što bi do potpunog izvodjenja bilo neophodno razraditi još niz tehničkih detalja, kao:

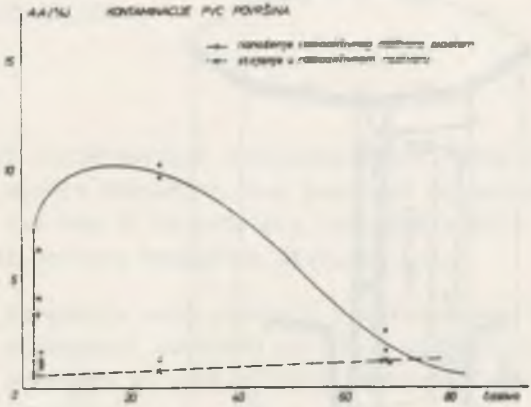
- ponašanje ovih uredjaja u ovakvom postupku
- efikasnost izabrane metode u masovnoj primeni,
- postupak za prikupljanje otpadnih materijala i tečnosti.
-

Na kraju moramo spomenuti i organizacione probleme, a to su način angažovanja ove opreme koja postoji u raznim preduzećima u slučaju akcidenta, zatim njenog korišćenja i ostalih problema vezanih za ovakav način angažovanja tih sredstava.

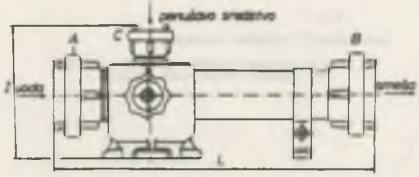



Graf 1
KONTAMINACE POVRŠNA ALUMINIUMA

Graf 2

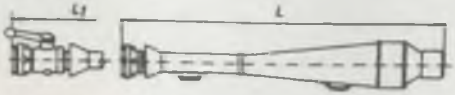


DOZATOR – MEŠAČ



TEHNIČKI PODACI

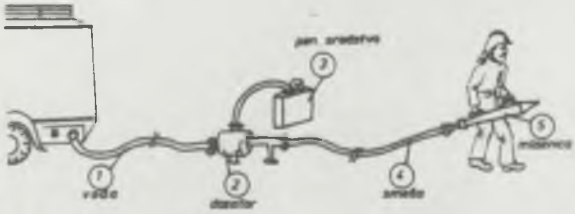
tip	protok vode l/min	protok [illegible]	dužina	visina mm	širina mm	spojka A - B	spojka C	težina kg
DM20	200	10	375	182	127	C	D	7
[illegible]	400	20	375	182	127	C	D	7
DM80	800	40	500	190	195	B	D	16,5



MOBILNA MLAZNICA

TEHNIČKI PODACI

TIP	PROTOK l / min		DUŽINA (mm)		DOMET (m)		VIS. MLAZA (m)		TIP	TEŽINA kg	
	smeša	pena	L	L1	5 atm	3 atm	5 atm	3 atm		L	L1
MM 20	200	1300	739	850	13–14	17–18	9	12	C	19.5	37.5
MM 40	400	2600	994	1075	17	23	10	13	C	34.0	42.0
MM 80	800	5200	1206	—	21	27	12	15	B	53.0	—



SLIKA 1

Nr / 41

POSTUPAK SA TEČNIM RADIOAKTIVNIM MATERIJALIMA U INSTITUTU "BORIS KIDRIČ" U VINČI

A. Švabić, P. Bojović, O. Janković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Pored rutinskih operacija sakupljanja, stokiranja, delimičnog tretiranja i ispuštanja radioaktivnih efluenata, program razvoja postupaka sa radioaktivnim efluentima obuhvata i usmerena fundamentalna istraživanja, zatim razvojna istraživanja na metodama za tretiranje i obradu efluenata, kao i primenu istih na eksperimentalnom postrojenju.

Zadnjih godina vrše se i obimna istraživanja koja treba da pruže podatke o ponašanju radionuklida u vodama Dunava kao i o sorpcionim karakteristikama zemlje u okolini IBK.

1. Radioaktivni efluenti koji nastaju u IBK

1.1. Izvori radioaktivnih efluenata. Radioaktivni efluenti Instituta potiču:

- iz ćelija Laboratorije za visoku aktivnost gde se pripremaju veštački izvori zračenja;
- iz odeljenja za dekontaminaciju, gde se vrši dekontaminacija kontaminiranih predmeta i radne odeće;
- iz odeljenja gde se proučavaju postupci i metode za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata;
- od dekontaminacije reaktorskih sistema;
- iz laboratorija za metalurgiju, radiohemiju, biologiju itd.

1.2. Hemijski i radiohemijski sastav efluenata

Radioaktivni efluenti imaju vrlo varijabilan hemijski i radiohemijski sastav (osim efluenata koji potiču iz Laboratorije za visoku aktivnost), što je normalno, s obzirom da potiču iz istraživačkih laboratorija Instituta.

Efluenti su u većini slučajeva rastvori različitih soli, neorganskih kiselina i baza, kod kojih pH varira u širokim granicama. U vrlo malom obimu mogu da sadrže organske rastvarače, kiseline ili ulja. Posebnu grupu efluenata čine efluenti koji sadrže kompleksone i deterdžente. Suvi ostatak takodje varira u širokim granicama, od 500 do 10.000 ppm.

RAdionuklidi koji se u najvećem obimu nalaze u efluentima jesu ^{137}Cs, $^{89+90}Sr$, ^{60}Co, ^{131}I, smeša telura, ^{32}P, ^{35}S, ^{51}Cr, ^{198}Au, zatim u manjim količinama radioizotopi niza U-Ra.

1.3. Aktivnosti i zapremine efluenata

Aktivnosti i zapremine efluenata koji su nastali u Institutu od 1963. do kraja 1969. godine prikazane su u tablici 1, i na slici 1, (odnose se na beta aktivnosti).

Srednje godišnje specifične aktivnosti su relativno male, reda veličine 10 μCi/ml, ali u izvesnim slučajevima specifična aktivnost stokiranih efluenata iznosi i do 10^5 μCi/ml.

2. Sakupljanje i razvrstavanje radioaktivnih efluenata

Za sakupljanje efluenata koriste se boce i podzemni rezervoari.

U Institutu postoje četiri podzemna rezervoara zapremine po 300 m^3 koji su povezani sa reaktorom i sa Laboratorijom za visoku aktivnost preko specijalne kanalizacije. Izradjeni su od nerdjajućeg čelika[1,2]. Pri punjenju ovih rezervoara, efluenti se razvrstavaju prema vrsti i vremenu poluraspada prisutnih radionuklida, kao i prema specifičnoj aktivnosti. Rezervoari su

Tablica 1.

Aktivnosti i zapremine radioaktivnih efluenata u Institutu "Boris Kidrič"

Godina	Kratkoživeći radionuklidi		Dugoživeći radionuklidi		Ukupno godišnje	
	aktiv. Ci	zaprem. m^3	aktiv. Ci	zaprem. m^3	aktiv. Ci	zaprem. m^3
1963	6,2	0,5	143,2	440	149,4	440,5
1964	23,0	1,0	18,1	20,5	41,1	21,5
1965	63,3	0,9	0,9	19,7	64,2	20,6
1966	52,7	0,5	276,1	18,4	328,8	18,9
1967	1,8	0,5	71,3	9,2	73,1	9,7
1968	11,3	0,8	7,2	16,6	18,5	17,5
1969	6,2	0,7	0,2	11,8	6,5	12,5
	164.5	4,9	517,0	536,2	691,6	541,1

snabdeveni nivometrima sa alarmnim uredjajima, otvorima za uzimanje uzoraka, za održavanje (čišćenje kao i otvorima za pražnjenje, koje se obavlja preko vakuum pumpi.

Sakupljanje radioaktivnih efluenata iz laboratorija koje ne poseduju specijalnu kanalizaciju, kao i iz laboratorije za proizvodnju izotopa, vrši se pomoću boca od plastične mase i nerdjajućeg čelika. Zapremina plastičnih boca kreće se od 10 do 100 litara, a zapremina boca od NČ kreće se od 10 do 50 lit.

Razvrstavanje efluenata vrši se na bazi preporuka ICRP[3,4]

Da bi se što racionalnije iskoristio raspoloživi prostor za stokiranje, efluenti se razvrstavaju prema specifičnoj aktivnosti, prirodi zračenja i vremenu poluraspada[3]. Za merenje aktivnosti koriste se rutinske metode.

3. Tretiranje efluenata

Tretiranje efluenata nastalih u Institutu u dosadašnjoj praksi vrši se na dva načina: razblaženjem i stokiranjem[2]. Privremeno stokiranje primenjuje se na efluente kontaminirane kratkoživećim izotopima kao što su ^{198}Au, ^{131}J, ^{32}P, ^{51}Cr. Kada nivo aktivnosti ovih efluenata spadne ispod vrednosti predvidjenih normama o dozvoljenim koncentracijama, ispuštaju se putem kanalizacije u Dunav.

Razblaženje se primenjuje na vrlo malo aktivne efluente kontaminirane ^{60}Co i kratkoživećim izotopima. Efluenti srednje aktivnosti, kontaminirani dugoživećim izotopima, stokiraju se u podzemnim rezervoarima.

4. Ispuštanje radioaktivnih efluenata u Dunav

Dunav protiče na oko 3 - 5 km od Instituta. Kontrola aktivnosti koja se vrši već nekoliko godina ukazuje da vode Dunava ne sadrže merljive koncentracije radionuklida. Svakodnevna kontrola uzoraka vode uzvodno i nizvodno od mesta ulivanja institutske kanalizacije u Dunav omogućuje da se odmah konstatuje pojava ma i najmanje promene aktivnosti, bez obzira na njeno poreklo. Tako su u periodu 1966. - 1967. godine identifikovani radionuklidi karakteristični za fisione produkte (Co, Fe, Mn). Kasnije je ustanovljeno da ovi radionuklidi potiču od 237-MW reaktora iz Bavarske[6].

Da bi se sagledala mogućnost bezbednog ispuštanja radioaktivnih efluenata u Dunav, preduzete su obimne istraživačke studije[6,7].

Srednji protok Dunava u blizini Vinče iznosi oko 5.500 m^3/sec. Pošto je Dunav internacionalna reka, nijedna pribrežna zemlja ne može da koristi ceo protok za razblaženje efluenata, već samo onaj deo protoka koji predstavlja nacionalni doprinos ukupnom protoku. Pošto Dunav ulazi u našu zemlju sa protokom od 4.000 m^3/sec, znači da Jugoslavija može da koristi 1.500 m^3/sec za razblaženje efluenata /8/. Medjutim, Institut "boris Kidrič" može da koristi svega 500 m^3/sec za razblaženje, pošto preostalih 1.000 m^3/sec dobrim delom potiče od reke Save, na čijim se obalama nalaze nuklearni Instituti "Rudjer Bošković" i "Jožef Stefan", a manjim delom od reka Drave i Tise koje izviru van granica Jugoslavije.

Medjutim, ne sme se izgubiti iz vida još jedna vrlo važna činjenica, koja može još više da ograniči izlivanje efluenata u Dunav. To je formiranje veštačkog jezera hidro-elektrane Djerdap.

Imajući u vidu napred izloženo, smatramo da nije poželjno ispuštati veće količine radioaktivnih efluenata u Dunav, uprkos njegovom znatnom protoku.

5. Razvoj metoda za tretiranje efluenata u eksperimentalnom postrojenju

Eksperimentalno postrojenje za tretiranje efluenata, koje je nedavno izgradjeno u IBK, bazira se na procesima koprecipitacije i jonske izmene /9/.

Vrsta taloga koji se formira u rastvoru efluenata da bi sa sobom povukao radioaktivne jone, zavisi od hemijske i radiohemijske priroda efluenata. Prva šarža koja se u toku probnog

pogona tretira u eksperimentalnom postrojenju jeste smeša fisionih produkata, stara 4 godine. Odabrani postupak za tretiranje ovih efluenata, koji u sebi sadrže ^{90}Sr i ^{137}Cs jeste koprecipitacija kalcijum fosfatom, uz dodatak Fe^{3+}. Formirani talog povlači sobom najveći deo stroncijuma iz rastvora. Preostali deo Sr, kao i veći deo Cs uklanja se katjonskom izmenom na smoli Amberlit IR-120. Preostali deo Cs uklanja se pomoću selektivnog jonskog izmenjivača $K_2/CoFe(CN)_6$ /10/. Profiltrirani talog i istrošeni jonski izmenjivači pripremaju se i odvode na trajno stokiranje.

U našoj laboratoriji razvijena je i metoda za uklanjanje ^{60}Co iz efluenata nastalih dekontaminacijom primarnog kola reaktora RA /11/. Specifična aktivnost ovih efluenata iznosi 1 μCi/ml. Da bi se dostigla maksimalno dozvoljena koncentracija Co u vodi, potrebno je ovu aktivnost reducirati za 4 potence, što se postiglo navedenom metodom /12/.

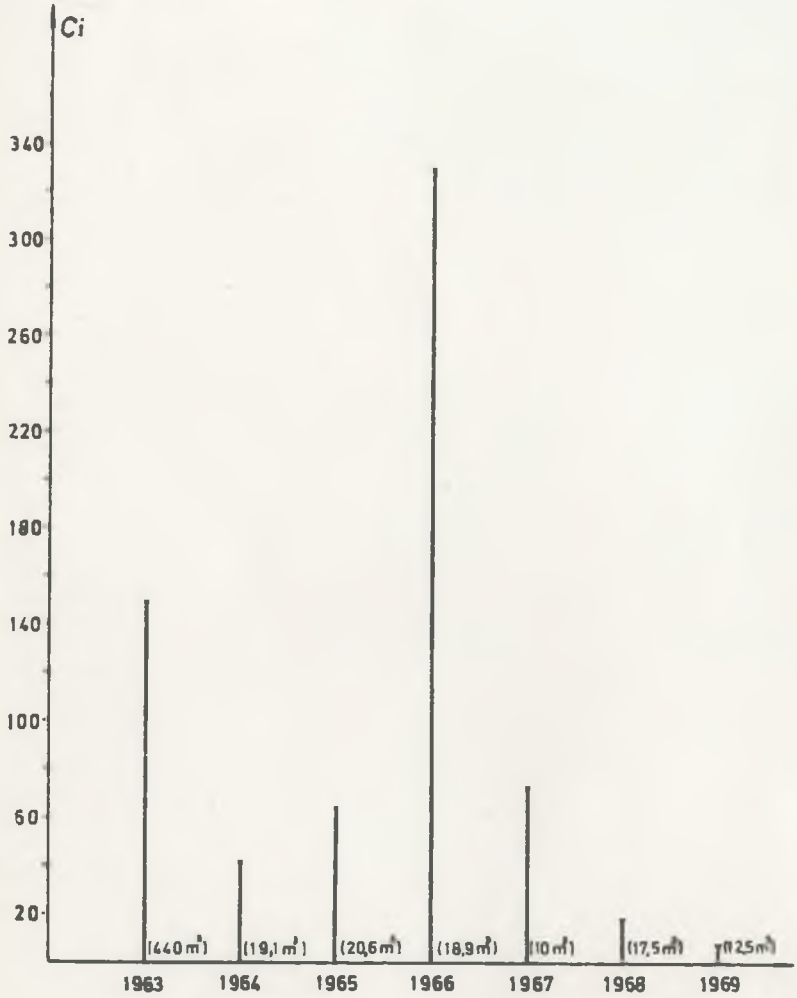
6. Eksperimentalno postrojenje

Eksperimentalno postrojenje za tretiranje radioaktivnih efluenata koncipirano je tako da se na njemu, uz manje adaptacije, mogu ispitivati različite hemijske metode po istoj tehnološkoj šemi. Medjutim, s druge strane ostavljena je mogućnost ispitivanja i više varijanti od postavljene tehnološke šeme na taj način, što se nezavisno jedno od drugog, mogu menjati tipovi pojedinačnih aparata. Zbog toga ovo postrojenje ima široke mogućnosti istraživanja u oblasti dekontaminacije radioaktivnih efluenata, a može se koristiti za ispitivanje metoda prečišćavanja i drugih tipova neaktivnih otpadnih voda.

Postrojenje ima kapacitet 100 l/h i nalazi se u fazi probnog pogona. Do sada je u njemu istretirano 3,5 m^3 nisko aktivnih efluenata kontaminiranih izotopom stroncijuma pri čemu su dobijeni sasvim zadovoljavajući rezultati. U toku su ekaperimenti tretiranja efluenata sa smešom ^{90}Sr i ^{137}Cs.

Literatura

1. Bojović P., Gaćinović O., Milošević M., publikacija IBK-82,1964.
2. Bojović P., Drobnik S., Popara D., publ.IBK-84, 1964.
3. IAEA, Safety Series, N° 9, 1967.
4. Tasovac T., Bojović P., Švabić A., II jug.simp. o radiol. zaštiti, Rovinj, 1964.
5. Gaćinović O., Vuković Ž., Tonić M., Tehnika 7, 3 (1965)
6. Tasovac T., Radosavljević R., IAEA, SM-117/88, 1969.
7. Tasovac T., Drašković R., Radosavljević R., Filip A., Proceed. Symp. on Use of Isotopes in Hydrology, Vienna, 1970, SM-129/30
8. Bojović P., Proceed.I Int.Cong.Rad.Protect.,Roma, 1966,I/669
9. Švabić A., Bojović P., publ.IBK-346, 1965.
10. Švabić A., Knežević Lj., publ.IBK-785, 1969.
11. Bojović P., Janković-Gaćinović O., Naučni pregled XVI,47, 1966
12. Švabić A., Janković Lj. publ.IBK-644, 1968.



Slika 1. Aktivnosti i zapremine sakupljenih radioaktivnih efluenata po godinama

PE 840/70

Nr / 42

UTJECAJ SASTAVA HRANE NA ELIMINACIJU RADIOAKTIVNOG STRONCIJA IZ SKELETA U LAKTACIJI

A. Duraković, K. Kostial.

PK 848,70

UTJECAJ SASTAVA HRANE NA ELIMINACIJU RADIOAKTIVNOG STRONCIJA IZ SKELETA U LAKTACIJI

A.Duraković, K.Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Neki su autori zamijetili da se povišenjem kalcija u hrani može izazvati pospješenje eliminacije radioaktivnog stroncija iz skeleta ženki štakora u laktaciji kao i sniženje retencije stroncija u njihovim mladima (Kollmer, Kriegel, 1963; Kriegel i sur. 1963). Naša istraživanja vršena u nešto drugačijim eksperimentalnim uvjetima nisu potvrdila te nalaze (Duraković, Kostial, 1970).

U nastavku tih radova istraživali smo utjecaj hrana s različitim sadržajem kalcija dodanog u obliku kalcijeva klorida ili karbonata i različitim sadržajem fosfora na retenciju radioaktivnog stroncija (^{85}Sr) i kalcija (^{45}Ca) kod ženki štakora u laktaciji i njihovih mladih. Životinje su primale eksperimentalnu hranu od 3 do 22 dana laktacije, a radioaktivni izotopi primijenjeni su intraperitonealno na dan okoćenja. Na kraju pokusa odredili smo radioaktivni stroncij i kalcij u skeletu majki i njihove mladunčadi.

Primjena hrane s dodatkom kalcijeva klorida izazvala je neznatno sniženje retencije radiostroncija i radioaktivnog kalcija kod ženki kao i kod njihovih mladih neovisno o sadržaju fosfata u hrani. U isto vrijeme takve su hrane izazvale sniženje tjelesne težine ženki i njihovih mladih koji su bili 2,5 puta lakši od onih čije su majke hranjene normalnim sadržajem kalcija. Tjelesne težine ženki i mladih kao i retencija primijenjenih radioizotopa nisu se razlikovale između životinja hranjenih normalnom hranom i hranom u kojoj je kalcij povišen dodatkom kalcijeva karbonata.

Na temelju ovih rezultata smatramo da se metoda povišenja sadržaja kalcija u hrani ne bi mogla primijeniti u svrhu pospješenja eliminacije inkorporiranog radiostroncija iz organizma majke u laktaciji.

Literatura

1. Kollmer W.E., Kriegel H.: Intern.J.Radiat.Biol., 7 (1963) 333.
2. Kriegel H., Kollmer E.W., Weber E.: Intern.J.Radiat. Biol., 7 (1963) 289.
3. Duraković A., Kostial K.: Zbornik simpozija iz animalne fiziologije, (1970) 65, Sveučilište u Zagrebu.

Nr / 43

METABOLIZAM STRONCIJA U LAKTACIJI

M. Blanuša, K. Kostial

Nr / 43

METABOLIZAM STRONCIJA U LAKTACIJI

M.Blanuša, K.Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Prirodna sposobnost organizma da razlikuje kalcij od stroncija pri prolazu tih kationa kroz biološke membrane nazivamo diskriminacijom prema stronciju u odnosu na kalcij. U određenim fiziološkim uvjetima mijenja se ta sposobnost diskriminacije organizma. Takva su stanja naročito važna s radiotoksikološkog aspekta.

Poznato je da u laktaciji postoji u organizmu dodatna diskriminacija prema stronciju u mliječnoj žlijezdi (Comar i Wasserman, 1964). Taj proces izaziva sniženje omjera stroncija prema kalciju u tijelu mladih ali istovremeno povisuje omjer stroncija prema kalciju dojilje.

Svrha je ovih pokusa bila da dobijemo više kvantitativnih podataka o diskriminaciji organizma prema stronciju u periodu laktacije.

Pokusi su izvedeni primjenom radioaktivnih izotopa stroncija (^{85}Sr) i kalcija (^{47}Ca) kod štakorskih ženki u ranoj i kasnoj fazi laktacije. Mjerenjem radioaktivnosti majke izmjerena je retencija radioaktivnih izotopa u tijelu te je izračunat omjer $^{85}Sr/^{47}Ca$ u raznim vremenskim razmacima nakon intraperitonealne primjene (do 120 sati). Ova mjerenja vršena su na životinjama nakon injiciranja izotopa u dvije različite faze laktacije (u nultom i dvanaestom danu nakon okoćenja), te uspoređena sa ženkama kojima su nakon okoćenja oduzeti mladi i virginelnim kontrolnim ženkama. U kasnoj fazi laktacije tj. od 12. do 17. dana mjerene su pored toga i aktivnosti cijelog legla mladih, te kumulativna ekskreoija u fekalijama i urinu.

Rezultati pokazuju da se grupe nedojilja ne razlikuju bitno od virginelnih kontrolnih ženki. Ženke štakora u ranoj fazi laktacije pokazuju neznatno povišenje omjera $^{85}Sr/^{47}Ca$ u cijelom tijelu (0,7) u odnosu na kontrolu (0,5). U kasnoj fazi laktacije dolazi do većih razlika u komparativnom metabolizmu stroncija i kalcija što uzrokuje povišenje omjera u cijelom tijelu na 1 u odnosu na 0,5 kod kontrolne grupe. U ekskretima iste grupe životinja dolazi do povećanog izlučivanja ^{85}Sr, što se očituje i u omjeru stroncija prema kalciju. Dok se u fekalijama taj omjer neznatno povisuje, u urinu je 3-4 puta veći nego kod kontrolne grupe. Ovo je u skladu s radovima Kostial i sur. (1969), te Cohn i Gusmano (1967).

Ovi nalazi potvrđuju da se značajne promjene u metabolizmu stroncija i kalcija događaju u kasnoj fazi laktacije.

Literatura

1. Cohn S.H., Gusmano E.A.: Soc.Exp.Biol.Med., 126 (1967) 79
2. Comar C.L., Wasserman R.H.: "Mineral metabolism" (Comar, C.L., Bronner, F) IIA, Acad.Press, New York, London (1964) 523.
3. Kostial K., Gruden N., Duraković A.: Calc.Tiss.Res., 4 (1969) 13.

PK 640/70

Nr / 44

DJELOVANJE ALGINATA IZ ALGI JADRANSKOG MORA NA TRANSPORT STRONCIJA KROZ DUODENUM ŠTAKORA

N. Gruden, K. Kostial, V. Turjak-Zebić, V. Škarić

DJELOVANJE ALGINATA IZ ALGI JADRANSKOG MORA NA TRANSPORT STRONCIJA KROZ DUODENUM ŠTAKORA

N.Graden, K.Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb i

V.Turjak-Zebić, V.Škarić

Institut "Ruđer Bošković" Zagreb

Posljednjih nekoliko godina alginati su radi selektivnog djelovanja na metabolizam stroncija izazvali velik interes u sprečavanju interne kontaminacije radiostroncijem (Skoryna i sur. 1964; Humphreys, 1967; Tanaka i sur. 1968; Carr i sur. 1968). Smatrali smo korisnim ispitati u tom smislu i alge Jadranskog mora.

Promatrali smo djelovanje alginata izoliranih iz pet vrsta jadranskih alga na transport stroncija i kalcija kroz duodenum mužjaka bijelog štakora starih šest tjedana. Te smo rezultate usporedili sa učinkom alginata poznatog pod nazivom O.G.1 kojeg je 1967. godine izolirao Humphreys, a odlikuje se naročito visokim sadržajem guluronske kiseline i izrazito selektivnim smanjenjem apsorpcije stroncija iz probavnog trakta.

Sve smo pokuse radili in vitro tehnikom koristeći Wilson-Wisemanovu metodu "izolirane izvrnute crijevne vreće" (1954).

Rezultati pokazuju da svi ispitivani alginati značajno snizuju transport stroncija (za 20-55% u odnosu na kontrolu). Četiri, od ispitivanih pet alginata, snizuju i transport kalcija kroz duodenum. Iako je učinak na transport kalcija znatno slabiji nego na transport stroncija oba su efekta paralelna, tj. alginat koji jače snizuje transport

stroncija jače utječe i na prolaz kalcija kroz crijevnu stijenku. U usporedbi sa "O.G.1" izgleda da su neki alginati izolirani iz algi Jadranskog mora efikasniji u sniženju transporta stroncija, ali istovremeno jače snižuju i transport kalcija.

Smatramo da bi bilo korisno i zanimljivo vršiti daljnja ispitivanja i izoliranja alginata iz jadranskih algi (npr. djelovanje na apsorpciju stroncija iz probavnog trakta cijelih životinja, ovisnost učinka o uvjetima sakupljanja algi, sadržaj guluronske kiseline itd.).

Literatura

1. Skoryna S.C., Paul T.M., Waldron-Edward D.: Can.Med.Ass.J., 91 (1964) 285
2. Humphreys E.R., Carbohydrate Res., 4 (1967) 607
3. Tanaka Y., Waldron-Edward D., Skoryna S.C.: Can.Med.Ass.J., 99 (1968) 169
4. Carr T.E.F., Harrison G.E., Humphreys E.R., Sutton A.: Int.J.Radiat.Biol., 14 (1968) 225
5. Wilson T.H., Wiseman G.: J.Physiol., London, 132 (1954) 116.

ПК 848/70

№ / 44

DJELOVANJE ALGINATA IZ ALGI JADRANSKOG MORA NA TRANSPORT STRONCIJA KROZ DUODENUM ŠTAKORA

N. Gruden, K. Kostial, V. Turjak-Zebić, V. Škarić

DJELOVANJE ALGINATA IZ ALGI JADRANSKOG MORA NA TRANSPORT STRONCIJA KROZ DUODENUM ŠTAKORA

N.Gruden, K.Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb i

V.Turjak-Zebić, V.Škarić

Institut "Ruđer Bošković" Zagreb

Posljednjih nekoliko godina alginati su radi selektivnog djelovanja na metabolizam stroncija izazvali velik interes u sprečavanju interne kontaminacije radiostroncijem (Skoryna i sur. 1964; Humphreys, 1967; Tanaka i sur. 1968; Carr i sur. 1968). Smatrali smo korisnim ispitati u tom smislu i alge Jadranskog mora.

Promatrali smo djelovanje alginata izoliranih iz pet vrsta jadranskih alga na transport stroncija i kalcija kroz duodenum mužjaka bijelog štakora starih šest tjedana. Te smo rezultate usporedili sa učinkom alginata poznatog pod nazivom O.G.1 kojeg je 1967. godine izolirao Humphreys, a odlikuje se naročito visokim sadržajem guluronske kiseline i izrazito selektivnim smanjenjem apsorpcije stroncija iz probavnog trakta.

Sve smo pokuse radili in vitro tehnikom koristeći Wilson-Wisemanovu metodu "izolirane izvrnute crijevne vreće" (1954).

Rezultati pokazuju da svi ispitivani alginati značajno snizuju transport stroncija (za 20-55% u odnosu na kontrolu). Četiri, od ispitivanih pet alginata, snizuju i transport kalcija kroz duodenum. Iako je učinak na transport kalcija znatno slabiji nego na transport stroncija oba su efekta paralelna, tj. alginat koji jače snizuje transport

stroncija jače utječe i na prolaz kalcija kroz crijevnu stijenku. U usporedbi sa "O.G.1" izgleda da su neki alginati izolirani iz algi Jadranskog mora efikasniji u sniženju transporta stroncija, ali istovremeno jače snižuju i transport kalcija.

Smatramo da bi bilo korisno i zanimljivo vršiti daljnja ispitivanja i izoliranja alginata iz jadranskih algi (npr. djelovanje na apsorpciju stroncija iz probavnog trakta cijelih životinja, ovisnost učinka o uvjetima sakupljanja algi, sadržaj guluronske kiseline itd.).

Literatura

1. Skoryna S.C., Paul T.M., Waldron-Edward D.: Can.Med.Ass.J., 91 (1964) 285
2. Humphreys E.R., Carbohydrate Res., 4 (1967) 607
3. Tanaka Y., Waldron-Edward D., Skoryna S.C.: Can.Med.Ass.J., 99 (1968) 169
4. Carr T.E.F., Harrison G.E., Humphreys E.R., Sutton A.: Int.J.Radiat.Biol., 14 (1968) 225
5. Wilson T.H., Wiseman G.: J.Physiol., London, 132 (1954) 116.

ok 848/70

Nr / 46

PROCENA APSORBOVANE DOZE NEUTRONA U SLUČAJU AKCIDENATA NA OSNOVU AKTIVACIJE KOSE

Ubović Ž., Mirić I., Trajković M.

PROCENA APSORBOVANE DOZE NEUTRONA U SLUČAJU AKCIDENATA NA OSNOVU AKTIVACIJE KOSE

Živanka UBOVIĆ, Ivanka MIRIĆ, Miodrag TRAJKOVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča
Medicinska zaštita

Akcidentalna biološka dozimetrija neutrona spada u grupu veoma delikatnih i složenih problema akcidentalne dozimetrije i zahteva da bude urgentno rešavana u cilju preuzimanja odgovarajućeg medicinskog tretmana ozračene osobe. Bez obzira na sve obimnije i savremenije tehničke mere zaštite i sigurnosti koje se preduzimaju pri radu nuklearnih mašina, praktično je nemoguće predvideti sve mogućnosti uzroka akcidentalnog neutronskog ozračivanja

U većini akcidenata u kojima je došlo do ozračivanja ljudi visokim dozama n + γ zračenja ozračeni ljudi nisu imali odgovarajuća lična dozimetrijska sredstva, tako da se primljena doza morala odredjivati naknadnom rekonstrukcijom dogadjaja ili na osnovu aktivacije ličnih predmeta, odnosno delova tela ozračene osobe (biološki detektori).

Poslednjih godina se kao detektor biološkog porekla sve više preporučuje čovečija kosa koja se zbog velikog sadržaja cistina, pa prema tome i sumpora uzima kao detektor neutrona čije su energije veće od 2.0 MeV. Pri tome se na osnovu aktivnosti ^{32}P nastalog reakcijom ^{32}S (n, p) odredjuje fluks, odnosno doza neutrona.

Metodu procene doze i odredjivanja raspodele doza neutrona na osnovu aktivacije kose primenio je i razradio D.F.Petersen (1). On je pošao od činjenice da čovečija kosa bez obzira na

anatomsku lokaciju sadrži oko 5% sumpora i relativno malu količinu fosfora koja može da se indukuje termalnim neutronima preko reakcije ^{31}P (n,γ) ^{32}P (Tabela 1).

TABELA 1

SADRŽAJ SUMPORA I FOSFORA U KOSI

RASPODELA	SADRŽAJ U KOSI ± SD*		P/S %
	S (mg/gr)	P (mg/gr)	
GLAVA	47,1 ± 8,1	0,155 ± 0,042	0,33
PUBIS	47,3 ± 5,6	0,251 ± 0,065	0,53
SVI UZORCI (glava, grudi...)	47,7 ± 5,5	—	—

* SD – standardna devijacija

Zbog toga kosa može da posluži kao detektor brzih neutrona slično sumpornom detektoru koji predstavlja često korišćeni element aktivacionog neutronskog dozimetra.

U ovom radu dat je prikaz metode koja se koristi u Institutu "Boris Kidrič" za procenu doze neutrona na osnovu aktivacije kose i analiza rezultata dobijenih ozračivanjem kose na reaktoru RA.

Odredjivanje ^{32}P u ozračenoj kosi

Za odredjivanje indukovane aktivnosti ^{32}P nastalog reakcijom ^{32}S (n, p) korišćeni su uzorci kose težine 100 mg u kojima je pre ozračivanja kvantitativno odredjen sadržaj sumpora.

Odredjivanje sumpora u kosi vrši se po metodi I. Lysyj-a i J.Zarembo-a (2) jer je ona pogodna za organski materijal sa malim sadržajem sumpora. Po ovoj metodi sumpor iz kose se spaljivanjem u atmosferi kiseonika na 1200°C u Schönigerovoj boci (3)

prevodi u SO_2 i SO_3 koji se apsorbuju u rastvoru H_2O_2. Sulfatni jon se zatim odredjuje spektrofotometrijski u prisustvu barijum hloranilata na talasnoj dužini od 530 mμ.

Odredjivanje sadržaja ^{32}P u kosi vrši se po metodi D.F. Petersen-a (1). Postupak se zasniva na sličnim principima kao i metoda za odredjivanje sumpora u kosi. ^{32}P se prevodi u P_2O_5 spaljivanjem kose po Schöniger-ovom postupku. Nagradjeni fosfor pentoksid prevodi se u ortofosfat koji se dalje taloži u obliku magnezijum amonijum fosfata. Količina istaloženog ^{32}P odredjuje se na osnovu aktivnosti taloga. Merenje aktivnosti ^{32}P vrši se na antikoincidentnom brojaču "Philips" čija je efikasnost detekcije za korišćeni uzorak 31.76 ± 0.11%, fon brojača je 0.5 imp/min.

U cilju odredjivanja prinosa metode, izvedena je serija analiza prema gore opisanom postupku sa uzorcima kose od 100 mg kontaminiranih sa 5.91 x10^{-3} μCi ^{32}P što odgovara 13120 dez/min. Posle izvršenog tretiranja kose izmerene su njihove aktivnosti i dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 2. Uzeto je da se dobijeni prinos ^{32}P od 86 ± 2% može smatrati zadovoljavajućim, s tim što se prilikom interpretacije dobijenih rezultata gubici usled tretiranja kose uzmu u obzir.

Tabela 2

PRINOS METODE ZA ODREĐIVANJE ^{32}P

Broj uzoraka	^{32}P (A_0) dez/min	Prinos metode %
1	10949	83.46
2	11186	88.11
3	11029	84.06
4	11187	85.27
5	11514	87.78
6	11840	88.72
7	11078	84.44
8	11784	88.88
9	10957	88.58
10	11580	88.88
	Srednja vrednost: 86.04 ± 0.81	

Analiza rezultata dobijenih ozračivanjem kose

Da bi se dobio podatak o pouzdanosti vrednosti doze brzih neutrona na osnovu aktivacije kose, uzorci su simultano ozračeni sa sumpornim detektorom u dva neutronska spektra koji se dobijaju na reaktoru RA. Oblik spektra i vrednost doze termalnih, epitermalnih i brzih neutrona odredjeni su u oba slučaja pomoću akcidentalnog neutronskog dozimetra koji u Institutu "Boris Kidrič" treba da se koristi za odredjivanje individualnih akcidentalnih neutronskih doza (4) primenom metode spektralnih indeksa (5).

U prvom slučaju simultano ozračivanje je vršeno na izlazu iz horizontalnog kanala E (HK-E) u tački gde su rezultati spektralne analize pokazali:

- da se spektar epitermalnih neutrona može aproksimirati funkcijom oblika $\phi_{epi} = \frac{k}{E}$,

- da se spektar brzih neutrona može aproksimirati funkcijom oblika $\phi_f = m\,E^{1/2}e^{-0.75E}$, gde su m i k konstante a E energija neutrona (MeV).

Prihvatajući ove aproksimacije vrednosti fluksa termalnih (ϕ_{th}), epitermalnih (ϕ_{epi}) odnosno brzih (ϕ_f) neutrona iznosile su:

$$\phi_{th} = 2.83 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{/sec}$$
$$\phi_{epi} = 0.11 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{/sec}$$
$$\phi_f = 2.95 \times 10^8 \text{ n/cm}^2\text{/sec}$$

respektivno. Odnos fluksa termalnih prema brzim neutronima bio je $\phi_{th}/\phi_f = 9.6$.

U ovom fluksu vršeno je simultano ozračivanje uzoraka kose i sumpornih detektora. Ozračivanja su trajala 3.5 h i 6.0 h. Izmerene aktivnosti u ova dva detektora prikazane su u tabeli 3 (kolone 1 i 2).

Analiza rezultata dobijena pomoću uzoraka kose je pokazala da jedan deo aktivnosti ^{32}P može da se pripiše ^{32}P nas-

talom reakcijom ^{31}P (n,γ) sa termalnim neutronima. Ako se uzme u obzir da je fluks termalnih neutrona na mestu ozračivanja bio 2.83×10^{9} n/cm^{2}/sec, da je efikasni presek za reakciju ^{31}P (n,γ) ^{32}P sa termalnim neutronima 230 mb, da je odnos koncentracija sumpora i fosfora u kosi $1:3.3 \times 10^{-3}$, dobija se da indukovana aktivnost ^{32}P od ^{31}P (n,γ) reakcije iznosi oko 9% totalne aktivnosti kose (za 6.0 h ozračivanje A_{31_P} = 0.5 dez/sec/mg S; za 3.5 h ozračivanje A_{31_P} = 0.29 dez/sec/mg S).

Tabela 3

AKTIVNOST ^{32}P U S-DETEKTORU I KOSI (HK-E)

A_0-Aktivnost ^{32}P (dez/sec/mg S)			Δ %
Aktivacioni detektor	Kosa (totalna)	Kosa (korigovano za ϕ_{th})	
3,09	3,44	3,15	+1,94
3,13	3,45	3,16	+0,96
5,00	5,31	4,81	-3,80
4,83	5,14	4,64	-3,93
4,64	4,91	4,41	-4,96

Ako se odbije doprinos ^{32}P nastalog ^{31}P (n,γ) reakcijom od totalne ^{32}P aktivnosti kose, dobija se aktivnost ^{32}P nastalog ^{32}S (n,p) ^{32}P reakcijom sa brzim neutronima (kolona 3, tabela 3). To je vrednost koja može da se komparira sa podacima dobijenim pomoću sumpornog detektora. Kao što se iz tabele 3 vidi, ova vrednost se slaže sa podacima koje daje sumporni detektor u granicama 5%.

Drugo simultano ozračivanje kose i sumpornog detektora vršeno je na tri različita mesta u aluminijumskoj zaštiti vertikalnog kanala (VK-5) reaktora RA. Kao i u prethodnom eksperimentu spektar i fluks neutrona na mestu ozračivanja odredjeni su pomoću aktivacionih detektora.

Rezultati spektralne analize su pokazali da se na sva tri mesta fluks epitermalnih neutrona može aproksimirati funkcijom k/E, a spektar brzih neutrona funkcijom $m\,E^{1/2}\,e^{-0.80\,E}$.

Vrednosti flukseva termalnih (ϕ_{th}), epitermalnih (ϕ_{epi}) i brzih neutrona (ϕ_f) i odnos fluksa termalnih i brzih neutrona (ϕ_{th}/ϕ_f) na mestima ozračivanja dati su tabeli 4.

Tabela 4

VREDNOSTI FLUKSA NEUTRONA U VK-5

Položaj	Vrednost fluksa (n/cm²/sec)			ϕ_{th}/ϕ_f
	$\phi_{th} \times 10^{12}$	$\phi_{epi} \times 10^{3}$	$\phi_f \times 10^{4}$	
A	28,80	41,12	20,90	143
B	6,10	7,90	5,10	120
C	3,92	4,66	2,34	183

U sva tri slučaja ozračivanje uzoraka je trajalo 1 h. Izmerene aktivnosti sumpornog detektora i uzoraka kose, koje odgovaraju položajima A,B i C prikazane su u tabeli 5 (kolona 2 i 3).

Kao što se iz tabele 5 vidi, izmerene aktivnosti ^{32}P u sumpornom detektoru i kosi se potpuno razlikuju. Ova razlika je posledica velikog odnosa fluksa termalnih i brzih neutrona ($\phi_{th}/\phi_f > 100$), što doprinosi da indukovana aktivnost ^{32}P u kosi pod dejstvom termalnih neutrona iznosi i preko 50% od totalne aktivnosti. Korigovanje ove aktivnosti, po ranije opisanom postupku, dovodi do usaglašavanja rezultata (kolona 2 i 4 u tabeli 5).

Tabela 5

AKTIVNOST ^{32}P U S-DETEKTORU I KOSI (VK-S)

Položaj	A_0-AKTIVNOST ^{32}P (doz/sec/mg S)			A %
	Aktivacioni detektor	Kosa (iscisana)	Kosa (bez ispavana mesa)	
A	3,2	12,8	3,3	+ 3
B	1,1	3,1	1,3	+18
C	0,4	1,5	0,8	+[illegible]

Medjutim, zbog veličine korekcije razlike u aktivaciji izmedju sumpornog detektora i kose (kolona 5, tabela 5) znatno su veće nego u spektru koji se dobija na HK-E i iznosi do 50%.

Zaključak

Komparativna merenja vršena na reaktoru RA u Institutu "Boris Kidrič" su pokazala da sumporni detektor i kosa treba da daju u granicama greške iste vrednosti fluksa i doze brzih neutrona, pod uslovom da odnos fluksa termalnih i brzih neutrona nije veći od ϕ_{th} prema ϕ_f = 10:1. U protivnom, dobri podaci se mogu dobiti na osnovu aktivnosti kose samo pod uslovom da se izvrši korekcija koja se odnosi na aktivaciju ^{31}P u kosi sa termalnim neutronima.

U do danas objavljenoj literaturi o aktivaciji kose zanemaruje se (ili se ne uzima u obzir) mogućnost formiranja ^{32}P preko ^{31}P (n,γ) reakcije. Pretpostavljamo da je to posledica činjenice što su merenja vršena oko brzih reaktora, ili na većem rastojanju od tela reaktora gde je odnos fluksa termalnih i brzih neutrona istog reda veličine. Medjutim, oko termalnih

reaktora može se pretpostaviti mogućnost ozračivanja ljudi u neposrednoj blizini reaktora i u slučaju korišćenja kose kao biološkog detektora mogućnost aktivacije ^{31}P termalnih neutrona ne treba zanemarivati.

L i t e r a t u r a

1. D.F. Petersen, Personnel Dosimetry for Radiation Accidents, IAEA, Vienna, 1965, 217-42.

2. I.Lysyj, J.E.Zarembo, J.Microchem. 3, 173 (1959)

3. W.Schöniger, Mikrochim. Acta, 869 (1956).

4. I.Mirić, P.Mirić "Accident Dosimetry in Jugoslavia" Proc. Panel "Nuclear Accident Dosimetry Systems", IAEA. Vienna 1969, 75.

5. I.Mirić, P.Mirić, D.Veličković "The Determination of Neutron Doses with Activation Detectors" 2nd International Congres of the IRPA, 3-8 May 1970, Brighton.

Nr / 47

PROCENA TELESNOG SADRŽAJA RADIOAKTIVNIH ELEMENATA U USLOVIMA AKCIDENTALNE KONTAMINACIJE

Trajković M., Ubović Ž.

PROCENA TELESNOG SADRŽAJA RADIOAKTIVNIH ELEMENATA U USLOVIMA AKCIDENTALNE KONTAMINACIJE

M. Trajković, Ž. Ubović

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Medicinska zaštita

U ovom izlaganju problem unutrašnje kontaminacije organizma radioaktivnim elementima u uslovima profesionalne ekspozicije razmatraće se samo na osnovu podataka dobijenih odredjivanjem sadržaja radioaktivnih elemenata u urinu i drugim humanim ekskretima. Takozvane metode indirektne procene unutrašnje kontaminacije organizma. One su našle svoju primenu u proceni telesnog sadržaja radioaktivnih elemenata kako u uslovima akcidentalne kontaminacije, tako i u sistematskoj radiotoksikološkoj kontroli osoba eksponiranih otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

U celini posmatrano ove metode imaju svojih nedostataka ali su za znatan broj radioaktivnih elemenata, još uvek, jedini način procene telesnog sadržaja. Pod odredjenim uslovima primene pružaju manje ili više pouzdane informacije o tome:

- da li postoji unutrašnja kontaminacija organizma,
- da li je organizam kontaminiran sa jednim ili više radioaktivnih elemenata,
- koliki je ukupni sadržaj odredjenog radioaktivnog elementa u telu, odnosno kritičnom organu i
- koliku dozu zračenja oslobadja svojim prisustvom u telu ili kritičnom organu.

Dobiti odgovore na postavljena pitanja od velikog je znacaja kako pri rešavanju slučajeva akcidentalne unutrašnje kontaminacije organizma, tako i u rutinskoj radiotoksikološkoj kontroli osoba eksponiranih otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Način interpretacije rezultata dobijenih analizom urina i odgovarajuća procena telesnog sadržaja radioaktivnih elemenata u okviru sistematske radiotoksikološke kontrole razlikuje se od istog postupka koji se primenjuje pri akcidentalnim kontaminacijama. To uslovljava da se ova dva načina procene unutrašnje kontaminacije razdvojeno razmatraju.

Interpretacija rezultata u okviru sistematske radiotoksikološke kontrole urina osoba eksponiranih otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Nepredvidjena odstupanja od normalnih uslova rada sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja mogu uzrokovati unutrašnju kontaminaciju organizma. Pri takvim uslovima jedan broj spomenutih odstupanja neće biti registrovan. Zbog toga se, u cilju otkrivanja i procene stepena unutrašnje kontaminacije radioaktivnim elementima, vrši sistematska radiotoksikološka kontrola osoba koje su profesionalno u kontaktu sa spomenutim izvorima.

Sistematska radiotoksikološka kontrola urina ili drugih humanih materijala predstavlja svojevrsni trijažni postupak prilagodjen za masovniju primenu sa ciljem da se otkrije unutrašnja kontaminacija osoba profesionalno eksponiranih otvorenim izvorima jonizujućih zračenja.

Spomenuta radiotoksikološka kontrola, koja potrebnom frekventnošću pokriva ceo vremenski period rada, primarno mora da obezbedi odgovor:

- da li postoji ili ne unutrašnja kontaminacija organizma,
- koliki je obim unutrašnje kontaminacije u odnosu na MDK-za celo telo datog radioaktivnog elementa, shodno postojećim preporukama LKRZ (1).

Poznato je da za svaki radioaktivni element, od momenta njegovog prodiranja u organizam pa do potpune eliminacije, postoji odredjena zavisnost izmedju ukupnog telesnog sadržaja (ili sadržaja u kritičnom organu) i količine koja se eliminiše. Praktična realizacija izgleda tako što je za sve indirektne metode uvedena "granica sigurnosti" (Tab.1.) Ista predstavlja onu količinu radioaktivnog elementa koja se eliminiše urinom kada je njegov telesni sadržaj, za najveći broj elemenata, 1/10 MDK-za celo telo. Ovako definisana vrednost svodi rizik na prihvatljiv nivo i obezbedjuje dovoljno velik rezervni prostor koji omogućava izvodjenje odgovarajućih intervencija (iznalaženje i uklanjanje izvora unutrašnje kontaminacije, kontrolna analiza urina i sl.). Ukoliko dobijena vrednost za urin ne prelazi granicu sigurnosti nije potrebna nikakva dalja obrada ali pod uslovom da se radiotoksikološkom kontrolom pokriva ceo vremenski interval rada i da se radi o radioaktivnim elementima čiji biološki poluživot nije dug.

Ukoliko se radi o radioaktivnim elementima sa dugim biološkim poluživotom (^{90}Sr, ^{239}Pu i sl.) granica sigur-

nosti mora da predstavlja nižu vrednost u odnosu na 1/10 MDK. Njihova eliminacija iz organizma ne može se korektno izraziti eksponencijalnom jednačinom kao kod radioaktivnih elemenata sa kraćim biološkim poluživotom. To je uslovljeno odredjenim metaboličkim specifičnostima ovih radioaktivnih elemenata u organizmu.

Izloženi način interpretacije, sa praktičnog aspekta, obezbedjuje dovoljno pouzdanu radiotoksikološku kontrolu eksponiranog ljudstva (2). Isto tako, na osnovu sličnih principa vrši se orijentaciona procena apsorbovane doze zračenja izražavajući je kao 1/10 MDD ili sl.

Treba napomenuti da ukoliko se sistematskom kontrolom urina dobiju vrednosti koje prelaze granicu sigurnosti neophodno je izvršiti dopunske analize u cilju preciznijeg definisanja stepena unutrašnje kontaminacije organizma.

<u>Interpretacija rezultata urina pri akcidentalnoj unutrašnjoj kontaminaciji organizma</u> .

Stvarna procena ukupnog sadržaja radioaktivnog elementa u telu ili kritičnom organu povezana je sa brojnim teškoćama. Da bi se pristupilo spomenutoj proceni kao prvo neophodno je poznavanje distribucije odgovarajućeg radioaktivnog elementa u telu. Za veliki broj elemenata odnos izmedju brzine eliminacije urinom i telesnog sadržaja dobijen je na osnovu,još uvek, nedovoljnog broja humanih podataka. Sta više, i ovi podaci pokazuju znatna medjusobna odstupanja što je verovatno posledica nedovoljnog poznavanja uticaja mnogobrojnih egzogenih i endogenih faktora. Iz tih razloga postojeći podaci

predstavljaju samo osnovu za izučavanje ovog problema, pri čemu obrada svakog novog slučaja predstavlja delom novi problem sa više nepoznatih.

Ako se za procenu telesnog sadržaja upotrebe vrednosti i konstante citirane u literaturi, pouzdanost rezultata može da varira za faktor dva i više (3). Medjutim, pri sumnji da je moglo doći do intenzivnije unutrašnje kontaminacije organizma, poželjno je izvršiti preliminarnu procenu ukupno prodrle količine u organizam, koristeći se potrebnim podacima iz literature. Ovakva procena, bez obzira na veličinu moguće greške, korisno će poslužiti u cilju blagovremenog preduzimanja odgovarajućeg medicinsko-terapijskog tretmana. Ovakva procena nema nikakvog uticaja na prikupljanje informacija za izvodjenje definitivne procene telesnog sadržaja.

Pri rešavanju slučaja akcidentalne kontaminacije, kao drugo, neophodno je obezbediti veći broj analiza urina u vremenskom intervalu koji je direktno zavisan od dobijenih rezultata (4). Ukoliko je potrebno treba vršiti i analize fecesa i drugih bioloških materijala. Ne treba zaboraviti da veća frekventnost analiza povoljno utiče na lakše uočavanje trenda eliminacije, odnosno stepena odstupanja od sličnih slučajeva opisanih u literaturi (5). Osim toga, veći broj analiza obezbedjuje preciznije podatke o ukupnom obimu eliminacije radioaktivnog elementa iz organizma kao i pouzdaniju grafičku i matematičku ekstrapolaciju. G.E.Harrison, predlaže kompletnu kolekciju urina u toku prvih 2o dana od trenutka unutrašnje kontaminacije (6).

Već je spomenuto da interpretacija rezultata analiza urina u cilju procene unutrašnje kontaminacije kao i sam postupak procene ne predstavlja jednostavan problem. U odnosu na težinu problema postoje znatne razlike između radioaktivnih elemenata. To je u direktnoj zavisnosti od njihovih osnovnih karakteristika (fiz.-hemijska, toksikološka, metabolička i dr. svojstva). Radioaktivni elementi sa dugim biološkim poluživotom, tzv. osteotropni elementi, predstavljaju za procenu ukupnog telesnog sadržaja veoma složene probleme. Medjutim, i radioaktivni elementi čiji se tkivni metabolizam smatra jednostavnim, mogu da predstavljaju u odredjenom smislu problem.

Neka nam kao ilustracija posluži primer tricijuma: poznato je da tritirana voda prodire veoma brzo u organizam gde u potpunosti prati metabolizam telesne vode. Prema podacima koji se mogu naći u literaturi biološki poluživot varira od 7 - 18 dana (7,8). MKRZ preporučuje vrednost od 12 dana(1), s tim što se urinom eliminiše 6o % a eliminacija je prosta eksponencijalna funkcija telesnog sadržaja. Medjutim, prema podacima koje daju W.C.Reinig i S.M.Sanders, na osnovu ispitivanja 31o osoba, što predstavlja impozantnu cifru, srednja vrednost za biološki poluživot iznosi 9.5 dana. Osim toga. autori nalaze da retencija, odnosno eliminacija iz organizma nije prosta eksponencijalna već složena trokomponentna funkcija u kojoj egzistiraju $T_{1/2}$ biol. = 6 dana, $T_{1/2}$ biol. ~ 25 dana i $T_{1/2}$ biol. - dugoživeća komponenta za čije je pouzdanije odredjivanje neophodno dopunsko ispitivanje (9).

Korektnost procene telesnog sadržaja radioaktivnog elementa ima direktnog uticaja na tačnost procene apsorbovane doze u tkivima koja se oslobadja prisustvom odredjene količine radioaktivnog elementa. Ako je inicijalna vrednost unutrašnje kontaminacije ^{137}Cs iznosila 1 MDK -za celo telo' u organizmu se oslobadja doza od 1.35 rem-a, s tim što se 9o % doze oslobadja u toku prvih 21o dana. Pod identičnim uslovima ^{3}H oslobadja dozu od o.2 rem-a, s tim što se 9o % apsorbuje u toku prvih 36 dana. Ovi podaci dobijeni su primenom metoda za izračunavanje i potrebnih vrednosti iz preporuka MKRZ (1). Medjutim, ako se pri izračunavanju prihvati da je za ^{137}Cs $T_{1/2}$ biol. 5o, odnosno 15o dana (1o), apsorbovana doza biće u prvom slučaju nešto manja od 1 rem-a a u drugom oko 2 rem-a. Slično je i sa tricijumom samo su varijacije apsorbovane doze manje.

Na kraju bi hteli da podvučemo da pouzdanost procene telesnog sadržaja, bez obzira na uslove pod kojima se sprovodi (sistematska ili akcidentalna) izvanredno mnogo zavisi, pored faktora koji su do sada izloženi, od korektne saradnje kontaminirane osobe. Ukoliko ona ne postoji ili postoji sumnja u njenu korektnost dobijeni rezultati i odgovarajuća procena unutrašnje kontaminacije gube pouzdanost. Zbog toga je za rešavanje ovog problema neophodno upotrebiti maksimalnu pažnju i taktičnost.

L i t e r a t u r a

1. Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, ICPR, Pergamon Pres, 1959.

2. S.Jackson and G.W.Dolphin, in Proceedings of the 1oth Annual Bio - Assay and Analytical Chemistry Miting, Cincinnati, Ohio, October 8-9 1964, p. 85

3. K.Williams, Report AERE-R-3288 (196o)

4. B.A.J.Lister, in Diagnosis and Treatment of Radioactive Poisoning, IAEA, Vienna, 1963, p. 23

5. G.W.Dolphin and S.Jackson, in Assessment of Radiactivity in Man, Vol I, IAEA, Vienna, 1964, p. 329.

6. G.A.Harrison, in Diagnosis and Treatment of Radioactive Poisoning, IAEA, Vienna, 1963, p. 119

7. K.F.Wylif, W.A.Bigler and G.R.Grove, Health Phys. 9, 911 (1963)

8. F.E.Butler, in Assessment of Radioactivity in Man, Vol II, IAEA, Vienna, 1964, p.431

9. W.C.Reinig and S.M.Sanders, in Symposium on Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides, Richland, Washington, May 15-17, 1967.(Abstract 42)

1o. J.Rundo and B.T.Taylor, in Assessment of Radioactivity in Man, IAEA, Vienna, 1964, p. 3.

TABELA 1.

RADIOIZOTOP	MDS - cela tela - krit. organ	$T_{1/2}$ efektiv. dani	MDA urin/24 h	Granica sigurnosti
$^{[illegible]}$	1000 μCi cela tela	0.8	28 μCi	2.8 μCi
^{32}P	4 μCi kost	18.5	$8 \cdot 10^3$ pCi	800 pCi
$^{[illegible]}Sr$	4 μCi cela tela	50	$2 \cdot 10^3$ pCi	200 pCi
^{90}Sr	2 μCi cela tela	9700	$2 \cdot 10^3$ pCi	20 pCi
$^{[illegible]}J$	0.7 μCi štitnjača	7.6	700 pCi	100 pCi
^{137}Cs	20 μCi mišići	128	$1.5 \cdot 10^5$ pCi	$1.5 \cdot 10^4$ pCi
$^{[illegible]}Pu$	0.4 μCi cela tela	36	8 pCi	1 pCi
^{226}Ra	0.1 μCi kost	$1.6 \cdot 10^4$	10 pCi	1 pCi
^{239}Pu	0.04 μCi kost	$2.8 \cdot 10^4$	4 pCi	0.08 pCi
U^{nat}	0.2 μCi cela tela	100	50 μgr/l	20 gr/l
Th^{nat}	0.01 μCi cela tela	$5.7 \cdot 10^4$	10 μgr	1 μgr
TS	———	——	$2 \cdot 10^3$ pCi	200 pCi

MEDICINSKO ZBRINJAVANJE U SLUČAJU NESREĆE NA NUKLEARNOM REAKTORU

B. Aleksić, Z. Djukić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

- Medicinska zaštita -

Tokom protekle decenije broj nuklearnih reaktora u svetu značajno je porastao. Na taj način porasla je i verovatnoća nastajanja većeg broja akcidenata, koji za posledice mogu imati, pored materijalnih šteta i vrlo ozbiljne reperkusije vezane za izlaganje ljudi jonizujućem zračenju. No uprkos ovakvoj situaciji interesantan je podatak koji govori da sa porastom reaktora nije došlo i do istovremene pojave većeg broja akcidenata, bez obzira na činjenicu da je svaki nuklearni reaktor permanentni izvor potencijalnih opasnosti. Može se čak konstatovati da su danas te potencijalne opasnosti daleko više prisutne na mnogim mestima na kojima se koriste u odnosu na reaktore kao moćne nuklearne sisteme, neka nam bude dozvoljeno da tako kažemo: "vrlo bezazleni" izvori zračenja. Zaista, broj udesa na reaktorima praćenih ljudskim žrtvama je vrlo ograničen - broj smrtnih slučajeva se prema do sada publikovanim podacima može još uvek na prste izbrojati.

Ipak, bez obzira na ove ohrabrujuće pokazatelje koji su rezultat u prvom redu adekvatnog sprovodjenja normi i mera sigurnosti i zaštite, opasnosti su i dalje permanentno prisutne i ni u kom slučaju se ne mogu zanemariti. Njihovo prisustvo postavlja pred odgovorne faktore, u prvom redu pred službe zaštite jasno definisane zahteve u pogledu ostvarenja rada i eksploatacije reaktora u uslovima potpune radiološke bezbednosti s jedne

izlaganja zračenju, kontaminacije organizma, te njihovih medjusobnih kombinacija. Ova čisto radijaciona kazuistika može biti praćena i klasičnim traumama: povrede mekih tkiva, opekotine, komplikovani prelomi, krvavljenja, asfiksije itd., a takodje su moguće i razne kombinacije izmedju radijacionih i klasičnih oštećenja.

Prekomerno izlaganje zračenju pri reaktorskim akcidentima može biti dvojako: eksterno i interno tj. može doći do spoljašnjeg ozračivanja visokom dozom zračenja ili pak unutrašnjeg ozračivanja nastalog unošenjem radioaktivnog materijala u organizam. Ovde upotrebljen izraz "prekomerno" izlaganje možda i nije adekvatan, jer se može primeniti na svako ozračivanje koje prelazi maksimalno dozvoljeni nivo. No podrazumeva se da pri akcidentima na reaktoru kao prekomerno dolazi u obzir jedino akutno ozračivanje visokom dozom zračenja, koje naravno može biti totalno i parcijalno homogeno i nehomogeno. Što se kontaminacije radioaktivnim materijalima tiče ona je ili spoljašnja (manje ili veće površine kože i vidljivih sluzokoža) ili pak unutrašnja (direktna ili indirektna - inhalacija, ingestija i transkutana penetracija).

Broj povredjenih zavisi od vrste i tipa akcidenta pri dosadašnjim akcidentima na reaktorima on je uvek bio mali, što medjutim ne mora da predstavlja pravilo. To je veoma značajno zbog planiranja medicinske pomoći (kompetentan kadar, oprema, materijai, dispozitivi različitog tipa, hospitalizacija i sl.).

Kod svakog akcidentalnog izlaganja zračenju, kontaminacije ili kombinovanog oštećenja ukazivanje medicinske pomoći planira se i odvija u tri faze ili tri etape.

1. Neposredno po akcidentu tj. posle dobijanja prvog obaveštenja o mestu, vrsti i prirodi akcidenta, broju žrtava, načinu izlaganja odnosno vrsti povrede, eventualnim smrtnim slučajevima i sl. pomoć će biti pružena bilo na licu mesta bilo u za to predvidjenim prostorijama medicinske službe zašt[illegible]. Hitnost intervencije zavisiće od vrste povrede. Sigurno je da će prioritet imati one povrede koje, ukoliko se odmah ne

činjenicama moguće sprovesti adekvatno planiranje medicinskih mera. To je, u ostalom ne samo moguće već i neophodno za svaki elaborat o sigurnosti bilo kog nuklearnog postrojenja ili pogona.

Za planiranje ovakve vrste neophodno je najpre raspolagati podacima koji se odnose na sam reaktor i sve njegove karakteristike koje mogu imati značaja za nastajanje akcidenata. No za medicinsku službu zaštite, dakle za lekara i medicinsko osoblje, još značajniji su podaci koji se tiču vrsta i karaktera mogućih radijacionih ozleda, kombinovanih trauma, tipova ekspozicije i visina primljenih doza ozračivanja, broj eventualnih žrtava i tome slično.

Više je nego sigurno, to treba odmah reći, da je zbog niza faktora tehničke prirode kao i varijeteta mogućih i verovatnih havarija i zadesa gotovo nemoguće raspolagati planiranim i proverenim iskustvima koja bi mogla u potpunosti odgovoriti u svakoj od datih situacija. S toga je, kada se radi o planiranju medicinskih mera previdjene akcije potrebno zasnivati na medicinskim pokazateljima ali isto tako i na fizičkim. To su u ovom slučaju: vrsta i način ekspozicije, visina primljene doze, tipovi mogućih oštećenja organizma, približan broj povredjenih. Uz odgovarajuću vrlo usku saradnju izmedju tehničkog (fizičari, dozimetristi i drugi stručnjaci) i medicinskog osoblja planirane mere mogu biti tako postavljene da njihova primena ipak bude moguća kako pri manjim i lakšim tako isto i težim i većim akcidentima. To iz prostog razloga što od dozimetrijske službe lekar treba da dobije za njega važne podatke kao što su priroda akcidenta, vrste i način ekspozicije i visina primljene doze. Na bazi ovih podataka kao i kliničkih i laboratorijskih nalaza lekar će moći da postavi dijagnozu i pruži odgovarajuću medicinsku pomoć.

Pošto nam vreme i prostor ne dozvoljavaju da ovde detaljnije obradimo pitanje uske saradnje fizičara i lekara, moraćemo se zadovoljiti opšte prihvaćenom konstatacijom da je ona u ovakvim slučajevima jedan od najznačajnijih faktora.

Prilikom akcidenata na reaktoru može doći do prekomernog

izlaganja zračenju, kontaminacije organizma, te njihovih medjusobnih kombinacija. Ova čisto radijaciona kazuistika može biti praćena i klasičnim traumama: povrede mekih tkiva, opekotine, komplikovani prelomi, krvavljenja, asfiksije itd., a takodje su moguće i razne kombinacije izmedju radijacionih i klasičnih oštećenja.

Prekomerno izlaganje zračenju pri reaktorskim akcidentima može biti dvojako: eksterno i interno tj. može doći do spoljašnjeg ozračivanja visokom dozom zračenja ili pak unutrašnjeg ozračivanja nastalog unošenjem radioaktivnog materijala u organizam. Ovde upotrebljen izraz "prekomerno" izlaganje možda i nije adekvatan, jer se može primeniti na svako ozračivanje koje prelazi maksimalno dozvoljeni nivo. No podrazumeva se da pri akcidentima na reaktoru kao prekomerno dolazi u obzir jedino akutno ozračivanje visokom dozom zračenja, koje naravno može biti totalno i parcijalno homogeno i nehomogeno. Što se kontaminacije radioaktivnim materijalima tiče ona je ili spoljašnja (manje ili veće površine kože i vidljivih sluzokoža) ili pak unutrašnja (direktna ili indirektna - inhalacija, ingestija i transkutana penetracija).

Broj povredjenih zavisi od vrste i tipa akcidenta pri dosadašnjim akcidentima na reaktorima on je uvek bio mali, što medjutim ne mora da predstavlja pravilo. To je veoma značajno zbog planiranja medicinske pomoći (kompetentan kadar, oprema, materijal, dispozitivi različitog tipa, hospitalizacija i sl.).

Kod svakog akcidentalnog izlaganja zračenju, kontaminacije ili kombinovanog oštećenja ukazivanje medicinske pomoći planira se i odvija u tri faze ili tri etape.

1. Neposredno po akcidentu tj. posle dobijanja prvog obaveštenja o mestu, vrsti i prirodi akcidenta, broju žrtava, načinu izlaganja odnosno vrsti povrede, eventualnim smrtnim slučajevima i sl. pomoć će biti pružena bilo na licu mesta bilo u za to predvidjenim prostorijama medicinske službe zašt[illegible]. Hitnost intervencije zavisiće od vrste povrede. Sigurno je da će prioritet imati one povrede koje, ukoliko se odmah ne

interveniše mogu biti fatalne. To su klasične traume teže prirode (asfiksija, krvavljenje, šok, teže opekotine i sl.). Po ukazivanju prve pomoći povredjeni će biti na uobičajeni način evakuisani do medicinske službe zaštite ili direktno u bolnicu. Ako su ove povrede praćene i kontaminacijom kože i vidljivih sluzokoža i ukoliko stanje povredjenog to dozvoljava treba izvršiti najneophodniju dekontaminaciju pre transporta, a ako je stanje takvo da se za dekontaminaciju nema vremena, neophodno je priručnim sredstvima (plastične folije na primer) preduprediti prenošenje kontaminanta sa povredjenog na okolne predmete i lica. Definitivna dekontaminacija se može sprovesti kada to stanje povredjenog dozvoli. U slučajevima kontaminacije bez klasične traume i bez obzira da li je praćena ozračivanjem neophodno je izvršiti kompletnu dekontaminaciju bilo na licu mesta (sanitarni propusnik, dekontaminacioni punkt) bilo u za to namenjenim prostorijama medicinske službe zaštite. Kod ozračivanja u ovoj fazi i na ovoj etapi nije potrebno nikakva posebna a po najmanje hitna pomoć, već ozračena lica treba evakuisati u medicinsku službu najviše iz čisto psiholoških razloga. Jedino u slučajevima ekstremno visokih doza treba izvršiti hitnu evakuaciju bez obzira na vrlo izvestan fatalan ishod. Leševi poginulih pri akcidentima moraju biti provereni na postojanje kontaminacije i u svakom slučaju pre iznošenja sa mesta akcidenta uvijeni u plastične folije kako bi se sprečilo širenje kontaminacije. Obdukcija ovakvih leševa zahteva posebne uslove.

2. Posle intervencije neposredno po akcidentu, pošto je ukazana prva pomoć i izvršena prva trijaža, situacija je takva da treba pribaviti što više podataka o nivou ozračivanja kao i o postojanju eventualne interne kontaminacije. Da se podsetimo da je spoljašnja dekontaminacija izvršena, da su povredjeni čije je stanje to zahtevalo evakuisani u bolnicu, a da se u medicinskoj službi zaštite nalaze lica za koja se sumnja da su bila izložena akutnom ozračivanju visokom dozom ili pak da su interno kontaminirana. U ovom periodu sva

pažnja treba da je posvećena dozimetrijskim podacima. Sada dolazi do punog izražaja neophodna saradnja fizičara i lekara. Naime, u cilju procene primljenih doza i jedni i drugi treba da konfrontiraju svoje podatke koji u stvari predstavljaju elemente fizičke i biološke dozimetrije. Dok fizička dozimetrija obuhvata odredjene fizičke mere (lična i kolektivna dozimetrija, fizička procena apsorbovane doze) dotle biološka dozimetrija počiva na praćenju kliničkih simptoma (prodromalni stadijum akutne bolesti zračenja, izraženost simptoma, trajanje, dalji tok, prvi laboratorijski nalazi). Znači, da u ovom periodu treba sa koliko je to moguće većom tačnošću izvršiti procenu doze, postaviti dijagnozu i dati prognozu dalje evolucije bolesti, pa sledstveno tome odrediti i dalji tretman.

3. Treća faza medicinske pomoći obuhvata lečenje radijacionih oštećenja, u prvom redu akutne bolesti zračenja. Do ovog perioda bilo je relativno dosta vremena za detaljniju i tačniju dozimetrijsku procenu. Zavisno od primljene doze zračenja razvija se i akutna bolest zračenja. Pacijenti su hospitalizovani u specijalno aranžiranim bolničkim odeljenjima uz odgovarajuću terapiju. U toku dalje evolucije bolesti klinički i laboratorijski rezultati (ponekad nažalost i obdukcioni nalazi) pružaju mogućnosti za još preciznije dozimetrijske procene pogotovu što fizičari sada raspolažu čitavim nizom rezultata i korisnih informacija. Pored prvih podataka vezanih za ličnu i kolektivnu dozimetriju, karakteristike izvora i zračenja, modalitet i dužinu trajanja ekspozicije postoji mogućnost poredjenja i rezultata drugih merenja kao što je na primer merenje indukovane radioaktivnosti predmeta koje su ozračeni pri akcidentu imali kod sebe, merenje telesne radioaktivnosti bilo merenje celog tela bilo pojedinih delova (nokti, kosa). Sem toga, korisno može poslužiti i rekonstrukcija samog akcidenta. Na taj način se obezbedjuju svi vrlo korisni podaci čija kritička obrada pruža pored neposrednog efekta i potrebna iskustva za planiranje mera za

zbrinjavanje budućih akcidenata i njihovih posledica.

Period rekonvalescencije posle preležane bolesti zračenja zahteva zbog svoje specifične prirode i svojih socijalnih i drugih amplikacija, a naročito zbog tzv. poznih efekata posebnu medicinsku brigu od strane kvalifikovanog kadra tokom dužeg vremena. Slična je situacija i sa nosiocima kombinovanih povreda na primer ranjavanje i interna kontaminacija radioaktivnim materijalima visoke radiotoksičnosti, koji posle ukazivanja prve i neodložne pomoći zahtevaju relativno dug i strpljiv nadzor i tretman.

Pokušavajući da u najkraćim crtama prezentiramo mere za zbrinjavanje u slučajevima akcidenata na reaktorima smatramo da je neophodno na kraju reći i nekoliko reči o organizacionoj strani problema. Tu podrazumevamo neophodnost postojanja kompetentnog medicinskog kadra kako u samoj medicinskoj službi zaštite pri organizaciji u čijem se sastavu nalaze reaktori, tako i u odredjenim bolničkim ustanovama. Prema svojim zadacima medicinske službe zaštite kao i ove druge ustanove treba da su adekvatno i opremljene da u svakom momentu mogu preduzeti potrebne mere. Kao što smo videli proces medicinskog zbrinjavanja žrtava reaktorskih akcidenata zahteva angažovanje i medicinskog i tehničkog kadra, koji kroz vrlo usku saradnju čine jedinstveni tim kompetentnih stručnjaka, a ceo proces od početka do kraja jedinstvenu celinu, što sve treba da obezbedi istovremeno i celishodno dejstvo i pruži korisna iskustva za eventualne akcidente ovakvog tipa u budućnosti.

L i t e r a t u r a

1. E.L.Saenger, Medical Aspects of Radiation Accidents, USAEC, Washington, 1963.

2. Proceedings of a IAEA/WHO Symposium: Handling of Radiation Accidents, IAEA, Vienna, 1969.

PK 848/70

Nr / 49

UTJECAJ KOMPLEKSONSKE TERAPIJE NA METABOLIZAM RADIOSTRONCIJA

T. Maljković, K. Kostial

PK 840/70

UTJECAJ KOMPLEKSONSKE TERAPIJE NA METABOLIZAM RADIOSTRONCIJA

T.Maljković, K.Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Posljednjih se godina kompleksoni često primjenjuju u terapiji otrovanja raznim metalima i radionuklidima. Jedan od najpoznatijih kompleksona iz reda poliaminopolikarbonskih kiselina je EDTA (etilendiamin tetraoctena kiselina). Iako se pokazala veoma uspješnom kod intoksikacija raznim metalima (1) bila je bezuspješna kad se radilo o kontaminaciji radioaktivnim stroncijem.

Do sada se u pospješenju eliminacije radiostroncija pokazuju djelomično uspješnim kompleksoni BADE (2, 3) (2:2-bisdi(karboksimetil)amino dietileter) i CPDTA (ciklopentandiamin tetraoctena kiselina) (4). Ti su kompleksoni izazvali sniženje retencije radiostroncija od 20 - 40%, ako su bili primijenjeni u obliku stroncijevih helata kod parenteralne kontaminacije štakora radiostroncijem. U slučaju oralne kontaminacije parenteralna primjena kompleksona nije imala djelovanje (3) ili je čak izazvala suprotno djelovanje (4).

Svrha naših pokusa bila je da usporedimo djelovanje kalcijevih i stroncijevih helata niza kompleksona, koji su na temelju fizičko-kemijskih istraživanja pokazali povoljnije konstante stabilnosti prema stronciju od EDTA - PDTA-propilendiamin tetraoctena kiselina, CPDTA-ciklopentandiamin tetraoctena kiselina, DIMEDTA-dimetilendiamin tetraoctena kiselina (5), BADE-2:2 bis/di(karboksimetil)amino/dietileter (3). Njihov učinak usporedili smo s djelovanjem kalcijeva i stroncijeva helata EDTA (etilendiamin tetraoctena kiselina) i DTPA (dietilentriamin pentaoctena kiselina) kao i s djelovanjem samog stroncijevog klorida (6).

Kompleksonska terapija primjenjena je na ženkama štakora dobi 15 tjedana u dozi od 0,8 mM/kg tjelesne težine, neposredno nakon kontaminacije radiostroncijem. Nakon 72 sata određena je retencija stroncija-85 u tijelu kontrolnih i tretiranih štakora uz primjenu dvodetektorskog scintilacijskog brojača spojenog na jednokanalni amplitudni analizator. Iz rezultata se vidi da svi kompleksoni ukoliko su primjenjeni kao stroncijevi helati izazivaju sniženje tjelesne retencije od oko 20%. Isto se djelovanje postiže primjenom samog stroncijevog klorida. Primjena kalcijevih helata istih kompleksona nije imala djelovanje.

U slučaju oralne kontaminacije radiostroncijem primjena stroncijevih i kalcijevih helata istih kompleksona izaziva povišenje tjelesne retencije radiostroncija. Ovo je djelovanje bilo jače izraženo nakon primjene stroncijevih helata svih kompleksona.

Literatura

1. Schulman A., Dwyer F.P. in: Dwyer F.P., Mellor D.P., (Ed.): Chelating Agents and Metal Chelates, Academic Press, New York, 1964 p.383
2. Catsch A.: Int.J.Rad.Biol., 4 (1961) 75
3. Catsch A.: Atomkernenenergie, 7 (1962) 65
4. Kostial K., Vojvodić S., Maljković T.: Arh.hig.rada, Vol.18 (1967) 111
5. Simeon Vl.: Arh.hig.rada, Vol.19 (1968) 373
6. Catsch A., Melchinger H.: Strahlentherapie, 109 (1959) 561.

Nr / 50

PROBLEMI MEDICINSKE RADIOLOŠKE ZAŠTITE I ZADACI PREVENTIVNOMEDICINSKIH USTANOVA U VANREDNIM (RATNIM) USLOVIMA

B. Pejušković

zadaci su: zbrinjavanje postradalog stanovništva, saniranje oštećenog rejona, praćenje higijensko-epidemiološke situacije u rejonu zahvaćenim udarom (kontaminacijom), sanitarni nadzor nad vodosnabdevanjem i ishranom u rejonu kontaminiranom radioaktivnom prašinom, dekontaminacija povredjenih, obolelih i sanitetskih sredstava, specifične mere zaštite od širenja radioaktivne kontaminacije, sprovodjenje mera zaštite kod borbenih i radnih grupa stanovništva izloženog zračenju pomoću radioprotektora, kao i drugim merama lične i kolektivne zaštite stanovnistva. Kao što vidimo iz nabrojanih zadataka, nameću se ogromni zadaci pred zdravstvenu (preventivnomedicinsku) službu, koji i po svom obimu i raznovrsnosti će redovno prevazilaziti raspoložive snage medicinske službe.

Nedostatak kadrova može se manifestovati nedovoljnim brojem kadrova ili nepovoljnom strukturom, tj. nedostatkom pojedinih profila stručnjaka potrebnih za sprovodjenje mera radiološke zaštite. I u jednom i u drugom slučaju se ne možemo pohvaliti brojem kadrova za vršenje složenih zadataka medicinske R-zaštite.

Da bi se sagledao obim i odredio nivo rada u zavisnosti od razvijenosti, kadrovske i materijalne opremljenosti zdravstvene ustanove koje rade na medicinskoj radiološkoj zaštiti, mogu se okvalifikovati tri nivoa rada medicinske radiološke zaštite. To su: <u>opšti</u>, <u>kvalifikovani i specijalizovani</u>.

<u>Opšti nivo rada medicinske R-zaštite</u> obuhvatio bi: R-izvidjanje teritorije, praćenje stanja R-kontaminacije; primarna detekcija R-kontaminirane hrane, vode, sanitetskih sredstava i predmeta opšte upotrebe, R-dekontaminacija povredjenih, obolelih i sanitetskih sredstava i uzimanje sumnjivih uzoraka hrane, vode, biološkog i sanitetskog materijala za analizu.

<u>Kvalifikovani nivo rada medicinske R-zaštite obuhvata</u>: detekciju radioaktivnih agenasa u hrani, vodi i sanitetskom materijalu,

radiometrijsko merenje aktivnosti u debelom sloju u životnim namirnicama, tečnostima i biološkom materijalu, kontrolu i ocenu upotrebljivosti sumnjive i dekontaminirane hrane i vode, dozimetrijsku kontrolu ozračenih (kontaminiranih), sanitetskih sredstava, pomoć u sanacionim radovima na vodosnabdevanju u rejonu zahvaćenom N-udarom, odnosno, kontaminacijom, saradnju i stručnu pomoć drugim organima na merama R-zaštite, stručnu i metodološku pomoć ustanovama opšte zdravstvene zaštite na sprovodjenju mera medicinske radiološke zaštite, kao i zdravstveno vaspitanje i mentalno-higijenski rad kod stanovništva.

Specijalizovani rad na medicinskoj R-zaštiti: pored ovih nabrojanih zadataka, koji se obavljaju od strane specijalizovanih kadrova, sadrži još i sledeće: rešavanje složenih problema nastalih u vezi ekspertize hrane, vode biološkog i drugog materijala, identifikovanje radiohemijskim i spektrofotometrijskim metodama radioizotopnog sastava kontaminanata u vodi, hrani biološkom i sanitetskom materijalu, učestvovanje u proceni radiološke situacije i pomoć štabovima i komandama u rešavanju nastale situacije; razradjuje uputstva i metode za rad na medicinskoj R-zaštiti, vrši obuku kadrova, proučava probleme i daje stručna uputstva zdravstvenim (preventivnomedicinskim) ustanovama za rad na R-zaštiti.

Ustanove koje sprovode rad na medicinskoj R-zaštiti:

a) Zdravstvena stanica obzirom na svoj kadrovski sastav i materijalnu opremljenost vrši uglavnom ambulantno lečenje i pružanje opštemedicinske pomoći. No, i pored toga, ona bi trebala da u okviru higijensko-epidemiološke službe (ukoliko ima kadrova) da izvršava i sledeće poslove na polju R-zaštite:

- vrši R-izvidjanje u rejonu delatnosti stanice;
- obavlja primarnu detekciju u vodi i životnim namirnicama;
- R-dekontaminaciju povredjenih i obolelih.

b) Dom narodnog zdravlja koji je nosilac organizaciono i strukturalno sveobuhvatne zdravstvene zaštite, treba u okviru toga da iz-

ruje direktnom saradnjom sa zavodima, institutima i medicinskim centrima radi rešavanja iskrslih problema vezanih za R-zaštitu, ili upućivanjem na rad odgovarajućih stručnjaka u ove ustanove, radi pomoći u obavljanju zadataka medicinske R-zaštite. Ovakvom saradnjom u vanrednim stanjima naši zavodi koji za sada nemaju dovoljan broj stručnjaka za obavljanje poslova iz medicinske R-zaštite bi ojačali i mogli bi lakše da podnesu teret obaveza u ratu i u situacijama koje nastaju usled primene nuklearnih sredstava.

Obuka kadrova i oprema

Ako uzajamno posmatramo obaveze ovih zdravstvenih ustanova po medicinskoj radijacionoj zaštiti u ratnim uslovima sa materijalnom i kadrovskom popunjenošću, onda ćemo videti da mnoge od navedenih ustanova neće moći na zadovoljavajući način da ispune svoje obaveze. Razloge možemo tražiti u nedovoljno razvijenoj zdravstvenoj službi i slaboj mreži naročito u narazvijenim regionima koji mogu imati posebnu stratešku važnost u ratu. Sistem finansiranja pojedinih službi u preventivnomedicinskim ustanovama išao je na štetu razvoja ovih službi (detekcija, dekontaminacija, služba za sanaciju i dr.), koje bi u ratnim uslovima mogle imati veoma značajnu ulogu. Nabrojani problemi nisu aktuelni u miru, jer se uopšte ne pojavljuju ili u veoma malom obimu i to uglavnom u institutima i ustanovama koje se bave tim pitanjima (nuklearni instituti, laboratorije koje rade sa izotopima, instituti za radiološku zaštitu i dr.). To sve ostavlja pečat na razvoj preventivnomedicinske i radiološke zaštite u zdravstvenoj službi uopšte.

Svakako da Zakon o narodnoj odbrani i prihvaćena koncepcija opštenarodne odbrane nameće obaveze svim zdravstvenim ustanovama i odgovarajućim političko-teritorijalnim i radnim organizacijama da u okviru pripreme zemlje za odbranu obrate dužnu pažnju kompleksnim merama sanitetske radiološke zaštite. Provodjenjem tih mera u miru, po-

većava se opšta zaštita i sigurnost stanovništva u vanrednim i ratnim situacijama.

Program rada ovih ustanova u miru treba tako da bude podešen, da se prelaz na ratnu organizaciju i režim ostvaruje sa što je moguće manje potresa i promena. To znači da treba sačiniti odnosno stvoriti takve organizacione oblike i opremu, koji će omogućiti efikasno izvršavanje obaveza u ratu. U našim razvojnim planovima i programima rada, ne smemo da zaboravimo i ove obaveze, iako sa stanovišta stvaranja dohotka i finansijskog doprinosa nisu rentabilne, a što je do sada i uticalo na razvoj ove službe uopšte. Potrebno je sistemski rešiti pitanje preventivnomedicinske i sanitetske R-zaštite u miru, što bi doprinelo normalnom razvoju medicinske zaštite.

Obuka kadrova

Jedan od odlučujućih faktora za ublažavanje posledica i ugroženosti od N-sredstava jeste pitanje kadrova, obučenih za složena pitanja medicinske R-zaštite. Obuka bi trebala da se izvodi po jedinstvenim programima iz ratnog medicinskog minimuma, koji u sebi sadrži i sanitetsku radiološku zaštitu. Mesto i način obuke se usaglašavaju prema mogućnostima i opremljenosti ustanova i nastavnog osoblja, što potvrdjuje i dosadašnja praksa. U zadnje dve godine oseća se daleko veća aktivnost u svim republikama na osposobljavanju kadrova svih profila iz medicinske zaštite. Svakako da za ona medicinska lica i stručne saradnike koji rade u preventivnomedicinskoj službi, obuka treba da ih osposobi za rad na detekciji, identifikaciji R-agenasa u sredinama kao što je voda, životne namirnice, biološki materijal, sanitetski materijal i predmeti koji služe opštoj upotrebi. Zatim, dozimetrija zračenja i R-dekontaminacija. Sve ove radnje treba po mogućnosti obavljati i u terenskim uslovima.

Ovakva obuka je moguća preko specijalizovanih kurseva, koji se i organizuju prema poslu koji će dotična grupa stručnjaka da obavlja u ratnim uslovima. Svakako da treba koristiti i nastavu u ško-

lama, na fakultetima, postdiplomskom usavršavanju, kako bi i elementi medicinske R-zaštite u tim nastavnim programima našli svoje mesto. Time se ne iscrpljuju sve mogućnosti i moguće je osposobljavanje kadrova preko JNA, stručnih udruženja, seminara i dr. U vezi obuke kadrova mogu se koristiti sugestije i obaveze Konferencije Saveza lekarskih društava Jugoslavije, koja je održana januara 1969. godine u Beogradu.

Oprema

Realno je predpostaviti da će uslovi rada na medicinskoj R-zaštiti biti veoma teški i rizični. Ta predpostavka je našla svoj odraz u odnosu na metode i izbor opreme, pošto su metode i izbor opreme u medjuzavisnosti. Od opreme se zahteva da je jednoobrazna, što lakša za nabavku i popunu, da je pogodna za nošenje i premeštanje na drugo mesto, da je proizvedena najvećim delom u zemlji i da omogućava rad van naseljenih mesta. Pored toga, za instrumente koji se obilno koriste u R-zaštiti potrebno je da imaju vlastite izvore napajanja energijom.

Ne možemo se pohvaliti izobiljem opreme i naše preventivnomedicinske ustanove su dosta siromašne ovom opremom (detektori, radiometrijske i radiohemijske laboratorije, dozimetrijski pribori i sl.). Postojeća oprema je dosta raznolika, od raznih firmi i zemalja, što otežava rad na obuci kadrova, a i smeta u radu na terenu. Zaslužuju pažnju nuklearni instrumenti koji rade na razvijanju laboratorija i dozimetrijskih pribora i treba im pružiti punu pomoć u tome.

LITERATURA

1. ANDERSON, C. E., DONALD, J. N. American Journal of public Health, 52:9, 1391,(1962)
2. GERIĆ R., M. MORELJ, B. VRAČARIĆ: Preventivnomedicinski problemi u vanrednim stanjima, Zbornik referata II kongresa lekara Jugoslavije, Beograd, (1966)
3. GEORGIJEVSKI N., A. ŠIVIC, Uloga zdravstvene službe u vanrednim stanjima, Zbornik referata II kongresa lekara Jugoslavije, Beograd, (1966)
4. PEJUŠKOVIĆ B., B. VRAČARIĆ, D. JOVANOVIĆ, Civilna zaštita, 4:4, 33, (1968)
5. VRAČARIĆ B., B. PEJUŠKOVIĆ, Preventivnomedicinska i RHB zaštita u opštenarodnom odbambenom ratu, Savetovanje društava zdravstvenih radnika Jugoslavije, Zagreb,(april 1969)
6. Savetovanje o organizaciji i radu zdravstvene sluzbe u vanrednim stanjima, Savez lekarskih drustava SFRJ, Beograd, (januar 1969)
7. Jakovljevic Dj., V. Ćirić: Obuka kadrova i opremanje stručnih ustanova i radnih organizacija za poslove RHB zaštite, Simpozijum teritorijalne odbrane u našem sistemu opštenarodne odbrane, Beograd (maj 1970.)

PK 848/70

UTICAJ OPŠTEG GAMA ZRAČENJA NA PROTEINE KRVNOG SERUMA U USLOVIMA POSTRADIJACIONE TRAUME

Stevo RADOŠEVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, Beograd
- Medicinska zaštita -

Mnoge informacije ukazuju da izlaganje živog organizma dejstvu jonizujućim zračenjima dovodi do promene proteina u krvnom serumu. Tako je već nekoliko dana posle ozračivanja eksperimental nih životinja velikim dozama zračenja konstatovan pad količine ukupnih proteina i albumina, dok su globulini bili u porastu.

Mahnert (6) je 1920. godine uočio dejstvo zračenja na promenu proteina svojih pacijenata, a 3 godine kasnije Herzfeld i Schinz su dokazali pad ukupnih proteina (7).

O promenama proteina krvnog seruma žrtava jonizujućih zračenja ima relativno malo informacija. Saopštenja koja potiču iz Hirošime i Nagasakija ukazuju na ispitivanja labiliteta seruma i, Takata-Ara-reakciju (8).

Daleko veći broj eksperimenata je izvršen na opitnim životinjama. Stender i Elbert (9) su 1953. godine objavili iscrpnu studiju o uticaju jonizujućih zračenja na sastav serum proteina kod kunića. Autori su konstatovali jasan pad ukupnih proteina na račun albumina, dok su globulinske frakcije porasle.

Medjutim, i traume različite vrste izazivaju promene proteina i njihovih frakcija u krvnom serumu. Najveći broj tih promena nastaje kod opekotina (1,2), ali i druga oštećenja kao ranjavanja

ili hiruške intervencije dovode do sličnih promena u sastavu pro teina. Tako je još 1935. godine Cuthbertson (3) zapazio padanje albumina i porast globulina kod pacijenata koji su pretrpeli teš ke frakture.

Hoch-Ligeti, Irvine i Sprinkle (4) su ispitivali proteine u serumu kod 45 operisanih osoba. U 80% slučajeva nadjen je značajan pad albumina i porast alfa 1 i alga 2 globulina, dok ukupni proteini i hematokrit ni kroz 4 nedelje nisu pokazali značajniju razliku vrednosti pre i posle operacije.

Do sličnih podataka su došli Frawley i saradnici (5) ispitivanjem promene proteina ranjenika u Korejskom ratu. Medjutim, kod opekotina i hirurških intervencija može da dodje do povećanog pada albumina u krvnom serumu bez odgovarajućeg pada ukupnih proteina (1,4).

Uporedjujući podatke o promeni proteina u krvnom serumu pod dejstvom jonizujućih zračenja sa podacima o sličnim promenama proteina koji nastaju u traumama različite vrste, nametnulo se pitanje promene proteina kod udružene povrede. Budući da nisu isključeni i takvi akcidentalni slučajevi pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja kao i u vanrednim situacijama, s toga bi preliminarne informacije o njima mogle da budu od dragocene koristi u medicini.

METOD RADA

Za eksperimenat je upotrebljeno 60 pacova mužjaka soja Wistar težine 240 $\pm$ 20 grama iz farme laboratorijskih životinja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči.Grupa od 10 pacova je odvojena i upotrebljena za kontrolne životinje. Ozračivanje životinja obavljeno je gama ^{60}Co na radijacionoj jedinici jačine 5 kCi u Laboratoriji zar radijacionu hemiju IBK. U trenutku zračenja rastojanje izmedju životinje i izmedju životinje i izvora jonizujućeg zračenja bilo je 70 cm. Brzina doze bila je 115 rad/min, a ukupna primljena doza iznosila je 900 rad-a. Zračenje svih životinja obavljeno je izmedju 8 i 9 časova.

L I T E R A T U R A

1. F.W.Ahnefeld: Die initiale Phase der Verbrennungskrankheit. Wehrhdienst und Gesundheit, Bd. XIII. Darmstadt.1966.

2. F.D.Moore, J.L.Langohr, M.Ingebretsen, O.Cope: Ann. Surg. 132, 1 (1950)

3. D.P.Cuthbertson, S.L. Tompsett: Brit. J. exp. Path. 16, 471 (1935)

4. C.Goch-Ligeti, K.Irvine, E.P.Sprikle: Proc. Soc. exper. Biol. (N.Y) 84, 707 (1953)

5. J.P.Frawley, J.M.Howard, C.R.Artz, P.Anderson: A.M.A. Arch. Surg 605 (1955)

6. Z.Mahnert: Z.Physiol. Chem. 110, 101 (1920)

7. E.Herzfeld, R.Schinz: Strahlentherapie 15, 84 (1923)

8. T.Kikuchi, G.Wakisaka: Acta Scholae Med. Univ. Kyoto, Japanica XXX 1 (1952)

9. H.S.Stender, O.Elbert: Strahlentherapie 87, 275 (1953)

10. W.Grassmann, K.Hannig: Z.Physiol. Chem. 290, 1-27 (1952)

11. O.Messerschmidt, D.Klemm, G.Heppeler: Strahlen therapie (Sonderdruck) 137, 2 (1969).

Tabela br. 1 Srednje vrednosti ukupnih proteina i proteinskih frakcija u krvnom serumu pacova zračenih dozom od 900r γ zračenja.

Dani posle zračenja	Zračeni						Zračeni—ranjeni					
	Up g%	Alb%	α_1%	α_2%	β%	γ%	Up g%	Alb%	α_1%	α_2%	β%	γ%
2	6,63 ±0,18	43,10 ±6,42	10,31 ±2,80	10,63 ±1,14	19,67 ±3,84	16,28 ±1,43	5,72 ±0,023	54,96 ±3,22	10,22 ±0,91	15,22 ±3,10	13,80 ±4,60	6,38 ±3,40
4	6,03 ±0,10	39,85 ±2,52	12,51 ±1,44	12,25 ±1,92	20,83 ±1,87	14,56 ±1,00	5,97 ±0,11	43,84 ±3,18	13,41 ±2,86	8,41 ±2,01	16,63 ±3,66	17,70 ±2,87
7	6,44 ±0,02	43,48 ±5,17	12,32 ±1,25	12,50 ±2,62	18,53 ±2,73	12,07 ±1,42	5,95 ±0,02	40,49 ±5,21	12,16 ±2,98	12,50 ±1,92	17,97 ±1,76	16,88 ±2,40
10	5,84 ±0,01	43,31 ±2,10	12,64 ±0,31	11,70 ±0,26	17,99 ±1,56	14,21 ±1,18	5,98 ±0,16	42,79 ±2,78	12,62 ±1,46	10,52 ±0,23	17,64 ±1,58	16,43 ±3,13
15	5,83 ±0,03	38,67 ±3,83	15,34 ±1,16	13,23 ±2,33	19,69 ±1,97	13,08 ±1,05	6,18 ±0,02	36,00 ±4,75	14,88 ±1,19	13,72 ±2,34	21,55 ±2,71	13,86 ±1,15

Kontrolne vrednosti: Up = 7,014 ± 0,13; Alb = 62,68 ± 2,13; α_1 = 10,40 ± 1,68; α_2 = 5,42 ± 1,68; β = 11,98 ± 1,01

γ = 9,02 ± 2,32

Grupa od 50 životinja je podeljena na dve podgrupe. Obe podgrupe ozračene su gama zračenjem. Prva podgrupa od 25 životinja je ranjena (ekscizija kože 3x2 cm). Žrtvovanje životinja je vršeno dekapitacijom, 2,4,7,10 i 15-tog dana posle zračenja. Krv je uzimana u kivete za centrifugu i stavljana u hladnjak. Nakon 2 časa stajanja krv je centrifugirana na 2000 O/min.Serum je odvajan i stavljan u hladnjak.

Ukupni proteini su odredjivani pomoću Kjeldahl-mikro-metode, paralelno sa svakim uzorkom elektroforetske analize. Proteinske frakcije su odredjivane pomoću elektroforeze na papiru Whatman N° 1. po Grassmann-Hannigu (10) u veronal-natrijum puferu pH 8,6. Posle 20 časova, razdvajanje proteina je završeno i papirne trake su zatim sušene i obojene brom-fenol plavim.Ispiranje traka je izvršeno blagim rastvorom sirćetne kiseline.Pojedine frakcije su eluirane blagim rastvorom NaOH N/100 i mereni na 520 mμ na spektrofotometru Unicam SP 600.

REZULTATI

Na tabeli 1 prikazani su rezultati ispitivanja promene ukupnih proteina i njihovih frakcija kod zračenih životinja i životinja sa udruženom povredom - zračenje i trauma. Ako se uporede vrednosti ukupnih proteina samo zračenih i zračenih ranjenih životinja s vrednošću ukupnih proteina kontrolne grupe, zapaža se njihov pad već drugog dana posle zračenja i na ovom nivou se zadržavaju do kraja posmatranja. Primenom Studentovog t-testa konstatovane razlike su statistički visoko značajne ($p < 0.001$).

Uporedjujući medjusobno rezultate zračenih i ranjenih zračenih životinja vidi se da postojeće razlikenisu statistički značajne.

Vrednosti albuminske frakcije kod zračenih, kao i ranjenih zračenih životinja, prikazane u tabeli 1, ukazuju na znatan pad albumina već drugog dana. Njihovo dalje opadanje produženo je do

petnaestog dana posle zračenja. Od 7-og do 15-og dana vrednosti albuminske frakcije ranjenih zračenih životinja niže su od vrednosti samo zračenih životinja. Globulinske frakcije u odnosu na kontrolne vrednosti porasle su već drugog dana i statistički su visoko značajne ($p < 0.001$). Tako visoke ostale su do 15-og dana posle zračenja. Gama globulinska frakcija je od 4-og dana postepeno opadala i pokazivala tendenciju približavanja ka kontrolnoj vrednosti.

DISKUSIJA

U ovom radu dat je kratak pregled elektroforetskog ispitivanja krvi odnosno promena proteina i njihovih frakcija u serumu kod zračenih i ranjenih zračenih pacova gama zračenjem u postradijacionom periodu. Prikazano je da karakteristične promene proteina i proteinskih frakcija pri konstantnoj dozi zavise od vremena potrebnog za formiranje tihpromena. Vidi se takodje da i trauma udružena sa zračenjem ima izvestan uticaj na promene proteina, na koje ukazuju srednje vrednosti albuminske frakcije,što se slaže sa podacima drugih autora (11).

ZAKLJUČAK

1) Konstatovan je pad ukupnih proteina kod samo zračenih i ranjenih zračenih pacova.

2) Pad albuminske i porast globulinskih frakcija je u zavisnosti od vremena.

3) Udružena povreda dovodi do izrazitijeg pada albumina nego kod samo zračenih životinja.

Nr / 55

EFEKAT DEPO-PENICILINA NA REPARACIJU MEHANIČKE POVREDE U ZRAČENOG PACOVA

Milovanović A. i Stajić J.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

Medicinska zaštita

životinja je bila smeštena u zasebnu pregradu kaveza. Metodom slučajnog izbora podeljene su u pet oglednih grupa: ranjene kontrole (R), zračene ranjene (ZR), zračene ranjene tretirane extencillin-om (ZRT), zračene kontrole (Z) i zračene tretirane Extencillinom (ZT).

Ozračivanje je izvršeno gama zracima Co^{60} na radijacionoj jedinici jačine 3,5 kCi. Rastojanje izmedju svake životinje i izvora zračenja bilo je 70 cm, brzina doze 115 rad/min, a ukupna primljena doza 900 rad. Zračenje svih životinja obavljeno je izmedju osam i devet časova pre podne.

Operacija ranjavanja izvedena je 24 časa posle ozračivanja. U lakoj etarskoj anesteziji obrijana je dlaka na ledjima. Koža je očišćena alkoholom i posušena tamponom gaze. U interskapularnoj regiji obeležena je površina kože 20 x 8 mm. Sterilnim skalpelom ekscidirana je koža na obeleženoj površini. Rez je zahvatao celu debljinu kože do rastresitog potkožnog vezivnog tkiva. Rana je ostavljana otvorena do kraja perioda posmatranja.

Životinjama treće i pete ogledne grupe (ZRT i ZT) dva časa posle ozračivanja i sedmog dana posle zračenja injicirano je po 50.000 i.j. Extencillina subkutano. Dozu i vreme davanja antibiotika odredili smo na osnovu podataka iz literature o optimalnoj dozi penicilina u serumu zračenih pacova (1,8).

Brzina skupljanja rane - kontrakcija, odredjivana je na osnovu merenja njene površine u odredjenim vremenskim intervalima posle nanošenja (1-og, 2-og, 3-eg, 5-og, 7-og, 10-og, 12-og i 14-og postoperativnog dana) i uporedjivanjem te površine sa površinom izmerenom neposredno posle ranjavanja (0-ti dan).

Kriterijum konačnog isceljenja rane bio je sinteza kriterijuma opisanih u savremenoj literaturi. Smatrali smo da je rana zarasla

kada su bili ispunjeni ovi uslovi: otpala krasta, završena epitelizacija, prestala vidljiva kontrakcija i pojava lako udubljenog ožiljka bledo sedefaste boje.

Isečci kože za histološke preglede uzimani su u etarskoj anesteziji i to 3-eg, 6-og, 12-og i 20-og dana. Životinje su nakon toga žrtvovane. Fiksacija je vršena u Bouin-ovoj tečnosti, dehidratacija u alkoholima, a prožimanje ksilolom. Bojenje hematoksilin-eozin po Ehrlich-u.

Rezultati i diskusija

Kontrakcija rane u funkciji vremena kod kontrolnih životinja, zračenih životinja i zračenih tretiranih Extencillin-om prikazana je na tabeli 1 i na dijagramu 1. Vrednosti površine rane izražene su u % od početne srednje vrednosti površine rane koja je izmerena odmah nakon ekscizije i uzeta kao 100 %.

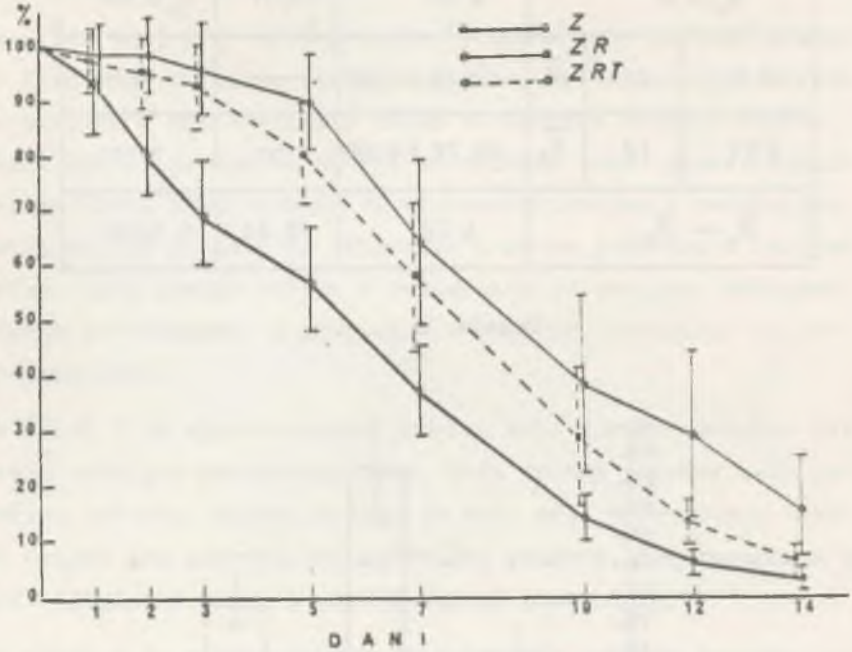
Analiza dinamike kontrakcije rane kod ranjenih kontrola pokazuje da se površina rane počev od prvog postoperativnog dana progresivno smanjuje. U isto vreme rane zračenih životinja se kontrahuju znatno sporije, osobito u početnom periodu. Latentni period, u kome površina rane ostaje skoro nepromenjena traje od petog dana kada se površina rane smanjila na 91% početne vrednosti. U isto vreme kod zračenih životinja tretiranih Extencillinom (ZRT) kontrakcija rane se odvija primetno brže nego u zračenih netretiranih (ZR). To ubrzanje je naročito značajno u kasnijem periodu zarašćivanja (izmedju 7-og i 14-og postoperativnog dana).

Vreme zarastanja rane u danima prikazano je na tabeli 2. i na dijagramu 2. Zračenje je očigledno, produžilo vreme zarašćiva-

Sl. 1

Sl. 2

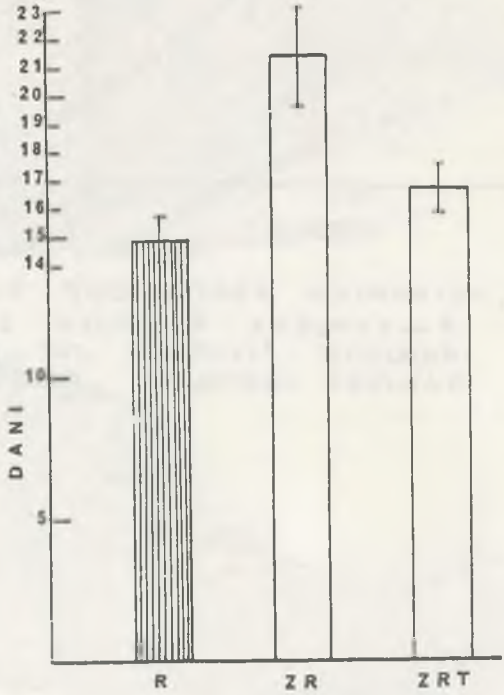
Sl. 3



DIJAGRAM 1. –DINAMIKA KONTRAKCIJE RANE
R — RANJENE KONTROLE, ZR — ZRAČENE RANJENE ŽIVOTINJE, ZRT — ZRAČENE RANJENE TRETIRANE EXTENCILLIN-OM

OPITNA GRUPA	broj živ.	DANI		t - test	P
R	19	$\bar{X}$	14,90 ± 0,78	—	—
Z R	17	$\bar{X}_1$	21,40 ± 1,68	—	—
$\bar{X}_1 - \bar{X}$			6,50	15,11	$<0,001$
Z R	17	$\bar{X}_1$	21,40 ± 1,68	—	—
ZRT	18	$\bar{X}_2$	16,70 ± 0,88	—	—
$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$			4,70	10,68	$<0,001$

Tabela 2.



Dijagram 2.

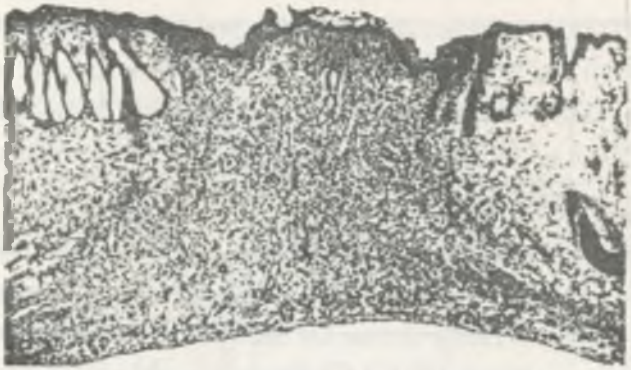
Na slici broj 3 je mikrofotogram preseka rane zračene ranjene životinje tretirane Extencillinom načinjen šestog dana.Ovde je epitelizacija bolja nego kod netretiranih životinja, a sastav granulocionog tkiva sličan nalazu kod prethodne grupe. Struje migrirajućih ćelija iz podkožnog vezivnog tkiva su bogatije fibroblastima i makrofagima.

Na slici broj 4 je mikrofotogram preseka kože ranjene kontrolne životinje načinjen dvanaestog dana. Epitelizacija defekta je potpuna a nad središnim delom se zadržao ostatak kraste. Mladi epitel je znatno deblji od epitela iznad nepovredjenih delova kože. Granulaciono tkivo remodeliranjem i redukcijom broja ćelija počinje da fibrozira i da se pretvara u ožiljno tkivo. Broj krvnih sudova u regeneratu je smanjen. Kolagena vlakna su talasasta i grupisana u snopove, paralelne sa površinom rane.

Na slici 5 je mikrofotogram preseka kože zračene ranjene životinje načinjen dvanaestog dana. Ovde krasta pokriva celu površinu defekta. Epitelizacija je vrlo malo napredovala tako da je veliki deo povrede bez epitelnog pokrova. Regeneratorni procesi očigledno kasne u poredjenju sa kontrolama.

Na slici 6 je mikrofotogram preseka kože zračene ranjene životinje tretirane Extencillinom načinjen dvanaestog dana. Novostvoreni epitel pokriva veći deo povrede, a krasta prijanja samo za središni deo koji još nije pokriven epitelom. Granulaciono tkivo je sastavljeno iz mreže isprepletenih novostvorenih kapilara i mase ćelija medju kojima su najbrojniji fibroblasti. Struktura regenerata je sličnija stanju kod normalnih životinja.

Letalitet životinja u grupama zračenih i zračenih tretiranih Extencillinom posmatran je u toku trideset dana posle zračenja



Sl. 4

Sl. 5

Sl. 6

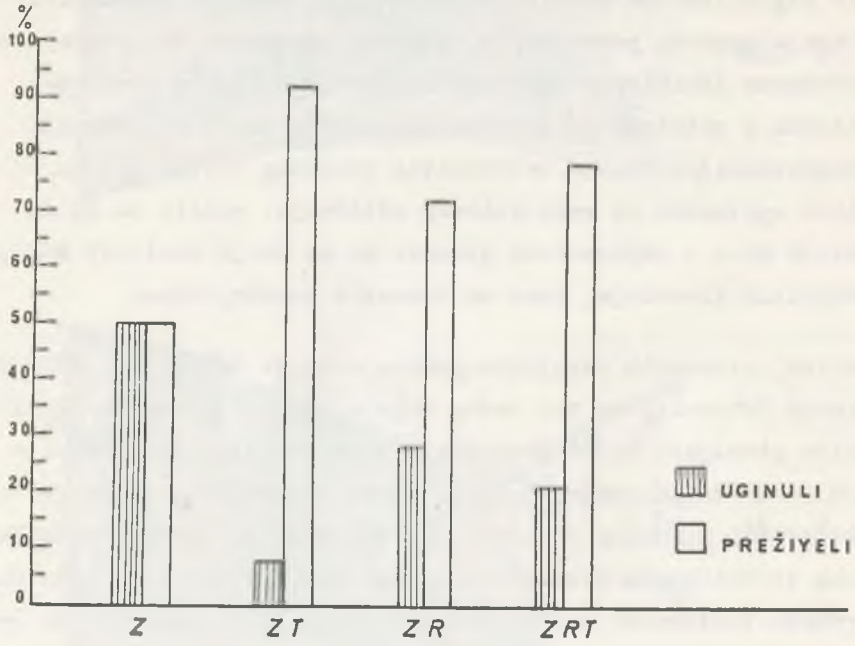
a prikazan je na tabeli 3. i na dijagramu 3. U grupi zračenih kontrolnih životinja od četrdeset životinja uginulo je dvadeset, dakle letalitet je bio 50%, dok je u grupi zračenih tretiranih Ekstencillinom koja je takodje imala četrdeset životinja uginulo svega tri životinje pa je letalitet iznosio svega 7,5%. Razlika je statistički visoko značajna ($P < 0,001$).

Sve iznesene činjenice navode na zaključak da se pod uticajem zračenja, osnovni lokalni i opšti poremećaji u rani i organizmu povredjene životinje dogadjaju u toku prvi nekoliko dana posle nestanka povrede. Ti su poremećaji, očigledno, reverzibilne prirode, jer su svi vitalni procesi nakon privremenog zaustavljanja, usporavanja ili pada počinju da obnavljaju i teku slično kao u nezračenih kontrola. Medjutim, ono što je bilo izgubljeno na početku nije se moglo potpuno nadoknaditi do kraja perioda posmatranja. Izgleda neosporno da je zračenje privremeno inhibiralo mitotsku aktivnost ćelija povredjenog epiderma i mitotsku aktivnost fibroblasta nastalih pretežno transformacijom ćelija rastresitog vezivnog tkiva. Kad su se ćelije oporavile od radijacionog oštećenja, počele su da se aktivno dele i reparacioni procesi su se dalje odvijali kao u kontrolnih životinja, iako sa izvesnim zakašnjenjem.

Analiza prikazanih rezultata pokazuje da je terapijski efekat primene Extencillina kod našeg modela udružene povrede bio izrazito povoljan. U tretiranih zračenih životinja kontrakcija rane se odvijala znatno brže, a vreme zarašćivanja rane je bilo statistički značajno skraćeno u poredjenju sa netretiranim zračenim životinjama. Histološki nalazi takodje potvrdjuju da su u ranama tretiranih zračenih životinja lokalni reparatorni procesi manje poremećeni nego u ranama netretiranih zračenih životinja.

OPITNA GRUPA	broj životinja	LETALITET		% letaliteta manji u por. sa Z	statistički značaj smanjenja	
		broj	%		X^2-test	P
Z	40	20	50	—	—	—
ZT	40	3	7,5	42,5	70	<0,001
ZR	28	8	28	22	19,4	<0,001
ZRT	28	6	21	29	34	<0,001

Tabela 3.



Bijagram 3.

U pokušaju da se objasni povoljan efekat Extencillina na tok i ishod kombinovane radijacione i mehaničke povrede u našem ogledu mogućna su, čini se, najmanje dva pristupa. Prvi je, da antibiotik sprečava pojavu i razvitak sekundarne infekcije organizma koja je redovni pratilac radijacione bolesti. Na taj način je omogućeno organizmu da svoje odbranbene i kreativne kapaciteta iskoristi za reparaciju povrede. U prilog ovoj predpostavci ide činjenica da su kod tretiranih zračenih i ranjenih životinja i kontrakcije rane i lokalni reparatorni procesi naročito intenzivirani u kasnijoj fazi procesa zarašćivanja rane, tj. u vreme kad se kod netretiranih zračenih životinja razvija sekundarna infekcija organizma. Ova hipoteza može poslužiti i za objašnjenje pozitivnog uticaja antibiotika na smrtnost zračenih životinja. S druge strane ne može se, izgleda, zanemariti i druga mogućnost koju iznosi V.I.Trubačev na temelju rezultata svojih ogleda (5). On navodi da antibiotici imaju pored bakteriostatičkog delovanja i stimulativni uticaj na proliferativne procese u kožnoj rani. U prilog ovoj postavci su i naši nalazi da u tretiranih životinja kontrakcija rane, epitelizacija i proliferacija mladog granulacionog tkiva idu nešto brže od samog početka procesa zarašćivanja, nego u netretiranih zračenih životinja. Mehanizmi bakteriostatskog delovanja antibiotika kao i mehanizmi njihovog dejstva na makroorganizam do danas nisu sasvim rasvetljeni. Zato napred iznesene interpretacije efekta Extencillina u našim uslovima ostaju samo kao manje ili više, opravdane predpostavke, koje treba potkrepiti ili eliminisati u daljim istraživanjima.

Reference

1. Južnić M., Bogdanov L.: Vojnosan.pregled, 19:262, (1962).

2. Južnić M., Bogdanov L.: Vojnosan. pregled, 21:79, (1964).

3. Cronkite E.P. et al.: Acute Whole-Body Radiation Injury - Pathogenesis, Pre-and Post-Radiation Protection; in: Atomic Medicine by Ch. Behrens, Baltimore, (1959).

4. Mathé G. et al.: Ann. New York Acad. Sci., 114:368, (1964).

5. Trubačev V.I.: Novii hir. arh., 3:42, (1958).

6. Hromov B.M.: Kliničeskaja med., 40:4, (1959).

7. Berkutov A.N., Korčanov L.S.: Trudi VMOLA, Leningrad, 116:420, (1960).

8. Pospišil J. et al.: Experimentalni lečba akutni nemoci z ozareni; in: Experimentalni postradiačni syndrom, by Dienstbier, Arient a spol., Statni zdr. nakl., Praha, (1966).

UTICAJ ANTIBIOTIKA NA REPOPULACIJU HEMATOPOETSKIH ĆELIJA KOŠTANE SRŽI PACOVA SA UDRUŽENOM RADIJACIONOM POVREDOM

Stajić J. i Milovanović A.

Uvod

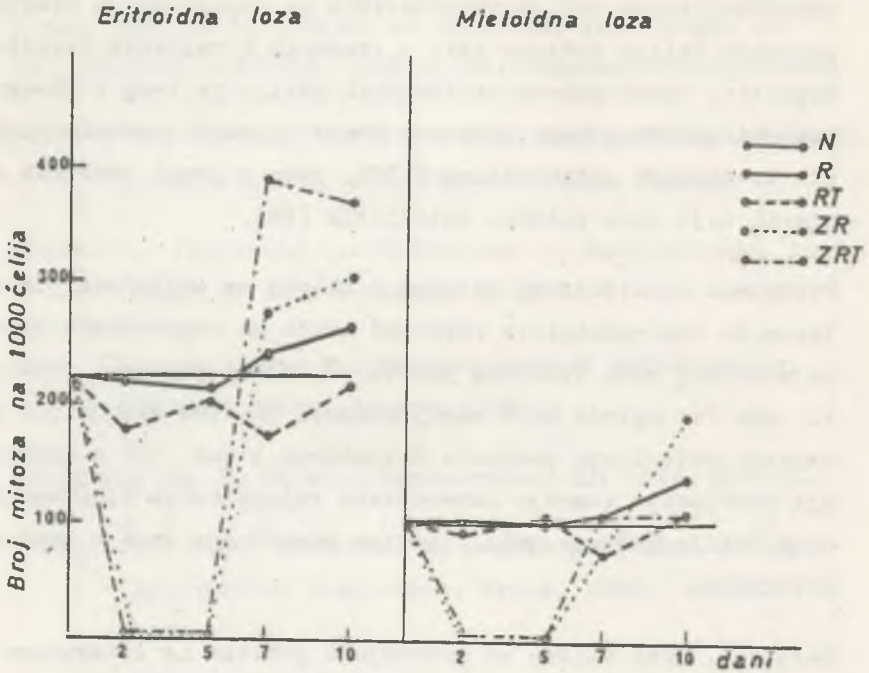
Prema podacima iz literature, antibiotici deluju mijelotoksički i citostatički na ćelije koštane srži (1-3). Poznato je takodje da i veće doze jonizujućeg zračenja imaju slično dejstvo, posebno na hematopoetske ćelije (4,5). Zato je logično očekivati njihovo sinergično negativno delovanje na hematopoetski sistem zračenih sisara koji su tretirani antibioticima.

Kad je reč o udruženoj radijacionoj povredi, najnoviji podaci američkih autora pokazuju da postoji nesumnjiva korelacija izmedju intenziteta repopulacije hematopoetskih ćelija koštane srži i brzine zarastanja rane u zračenih životinja (6). Imajući u vidu navode iz prethodnog stava, davanje antibiotika životinjama sa udruženom radijacionom povredom uticalo bi depresivno na repopulaciju hematopoetskih ćelija koštane srži, pa samim tim i usporilo zarastanje rane. Naši rezultati, medjutim, koji su izneseni u prethodnom referatu, pokazali su da davanje depo-penicilina (extencilline) povoljno utiče na reparatorne procese u kožnoj rani zračenog pacova. Zato smo želeli da u posebnom ogledu ispitamo uticaj depo-penicilina na repopulaciju hematopoetskih ćelija koštane srži pacova sa udruženom radijacionom povredom.

Opitna grupa	Vrsta ćelija	Broj živ.	Broj mitoza na 1000 ćelija			
			Dani po zračenju — ranjavanju			
			2	5	7	10
N	eritr.	8	222 ± 31			
	mijel.	9	103 ± 15			
R	eritr.	5	220 ± 20	213 ± 24	244 ± 43	263 ± 28
	mijel.	5	100 ± 8	100 ± 16	107 ± 11	140 ± 10
RT	eritr.	5	178 ± 16	205 ± 16	176 ± 12	218 ± 14
	mijel.	5	96 ± 10	103 ± 10	74 ± 4	108 ± 10
ZR	eritr.	5	0	0	273 ± 40	305 ± 49
	mijel.	5	0	0	75 ± 9	193 ± 45
ZRT	eritr.	5	0	0	392 ± 54	373 ± 70
	mijel.	5	0	0	108 ± 12	109 ± 15

Statmokinetički indeksi eritroidnih i mieloidnih ćelija.
N–normalne kontrole, R–ranjene kontrole, RT–ranjeni tretirani ext.
ZR–zračene ranjene kontrole, ZRT–zračeni ranjeni tretirani ext.

Tabela 1.


Eritroidna loza
Mieloidna loza
Broj mitoza na 1000 ćelija
400
300
200
100
2
5
7
10
dani
N
R
RT
ZR
ZRT

Dijagram 1

Vreme zamene eritroidnih ćelija

Ogledna grupa	Dani posle zračenja (ranjavanja)			
	2	5	7	10
N	18 h 1 ′			
R	18h 11′	18h 47′	16h 24′	15h 12′
RT	22h 28′	17h 51′	22h 43′	18h 21′
ZR	-	-	14h 39′	13h 07′
ZRT	-	-	10h 12′	10h 43′

Tabela 2.

INSTITUT ZA PRIMENU NUKLEARNE ENERGIJE U POLJOPRIVREDI VETERINARSTVU I ŠUMARSTVU

Beograd - Zemun

Kt/57

ZAVOD ZA ANIMALNU RADIOBIOLOGIJU

ISPITIVANJE PROTEKCIONOG EFEKTA BERLINSKOG PLAVOG KOD PERORALNO KONTAMINIRANIH KOKOŠI RADIOCEZIJUMOM 137

J.Gligorijević, B.Draganović, Jevrosima Begović i M.Gačević

Za animalnu radiobiologiju radiocezijum 137, kao eminentni organotropni /mišići/ radionuklid predstavlja aktuelni radijaciono-higijenski problem. Njegov radiobiološki značaj utoliko je veći, jer se u digestivnom traktu domaćih životinja potpuno resorbuje i obzirom na dugo biološko vreme poluraspada u mišićnom tkivu /kod goveda oko 30 dana, dok je fizičko $t_{1/2}$ = 27 godina/ ima visok stepen radiotoksiciteta. U okviru specifičnog obima uslova digestivne resorpcije, kao i distribucije i eliminacije radiocezijuma 137 pokušali smo da adekvatnim unošenjem rastvora fero-feri cijanida - berlinskog plavila ispitamo njegove radioprotekcione mogućnosti.

Eksperimenti su vršeni na kokošima rase "Leghorn" starim 6 meseci i prosečne težine 1.5 kg. Za kontaminaciju je korišćen rastvor $^{137}CsCl$ bez nosača, u dozi 7 μCi/kg apliciran sondom direktno u voljku životinje.

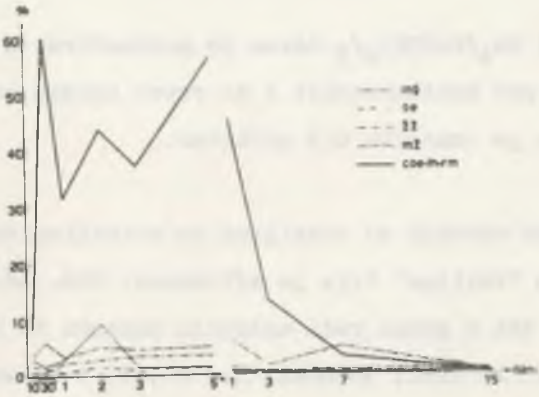
Rastvor BP tj $Fe_4/Fe(CN)_6/_3$ davan je preventivno u vodi za piće 7 dana pre kontaminacije i za vreme ogleda svakodnevno. Koncentracija je iznosila 0.3 gr/litar.

Radiometrijska merenja su obavljana na scintilacionom brojačkom uredjaju "Philips" čija je efikasnost 20%. Životinje su žrtvovane po tri u grupi radi uzimanja uzoraka iz svih organa u vremenu: 10 min., 30 min., 1., 2., 3. i 5. sata zatim 1., 3., 7. i 15. dana nakon kontaminacije.

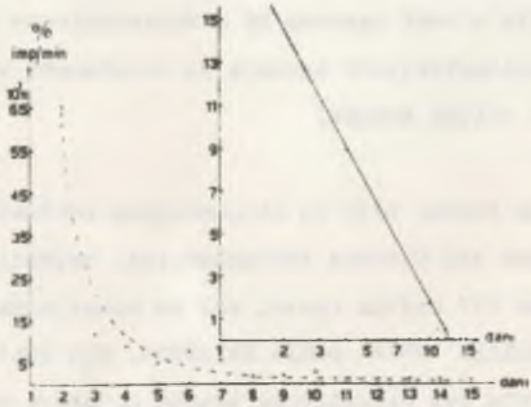
Kontrolnu grupu su sačinjavale životinje koje su peroralno kontaminirane radiocezijumom 137 a oglednu životinje koje su 7 dana pile u vodi rastvor BP i kontaminirane osmog dana. Rezultati radiometrijskih merenja su obračunati kao procenat unete doze u voljku kokoši.

U digestivnom traktu koji je alimentarnom kontaminacijom eksponiran kao vid interne kontaminacije, najveći procenat radiocezijuma 137 sadrža creva, dok su kranijalne partije zadržale nekoliko puta manju količinu. Kod kontrolne grupe životinja deo digestivnog trakta do creva sadrži do

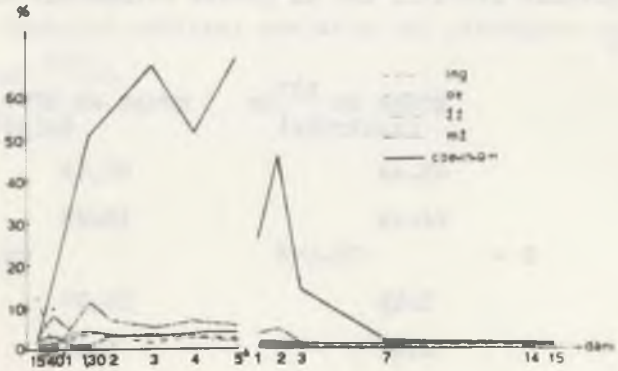
10% unetog izotopa a deo creva preko 60% i to u toku prvog dana kontaminacije. Drugog dana počinje eksponencijalno opadanje aktivnosti od 45% i ide sve do 6% krajem posmatranog perioda. To je grafički prikazano na grafikonu 1:



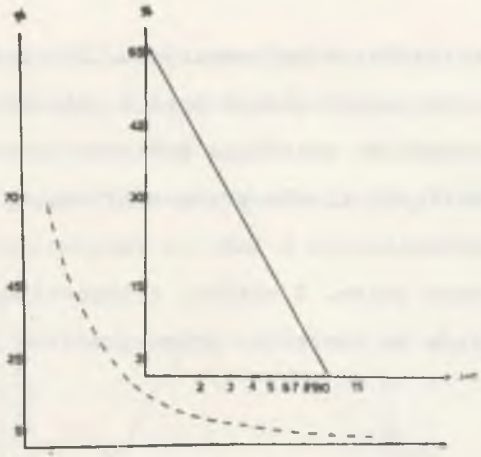
Ti odnosi i dinamika eliminacije nisu značajno promenjeni ni u oglednoj grupi kao što se vidi iz odgovarajućeg grafikona 2:



Obračunavanjem eliminacije radiocezijuma 137 iz digestivnog trakta peroralno kontaminiranih kokoši u oba ogleda i retencije izotopa u organizmu životinja dobijamo slozenu eksponencijalnu krivu. K_0eficijenti pravaca tj tangente se seku 3. dana nakon kontaminacije i tako se razgranićavaju komponente ove složene krive. U običnoj i logaritamskoj podeli grafički to izgleda za kontrolnu grupu grafikon 3 :



a za oglednu grupu grafikon 4:



Uporedjujući srednje vrednosti radiometrijskih merenja u našim ogledima utvrdili smo da proces /dinamika/ eliminacije sledeći:

dani		grupa sa ^{137}Cs (kontrola)	grupa sa BP + ^{137}Cs (ogled)
2.		63.00	67.48
3.		24.00	18.65
	S =	87.00%	86.13%
7.		5.19	10.37
15.		0.46	0.96
	S =	5.96%	11.35%
		92.65%	97.46%

Rezultati po grupama ne pokazuju razlike u eliminaciji radiocezijuma 137, tj one nisu statistički značajne. Medjutim, biološka vremena se razlikuju po fazama ali samo prividno. Tako je biološko vreme poluraspada radiocezijuma 137:

kod kontrola 1^{8} (brza) i 2^{8} (spora) dana

u ogledu 1 4^{16} dana

Prividna razlika je u tome što dužem biološkom vremenu poluizlučivanja radiocezijuma 137 u sporoj fazi oglednih životinja odgovara i veći procenat eliminacije.

Na osnovu izvršenih ispitivanja i postignutih rezultata može se zaključiti: da je količina reteniranog radiocezijuma 137 u organizmu peroralno kontaminiranih i prevenitanih kokoši BP veoma mala u posmatranom periodu od 15 dana; eliminacija ovog radionuklida je dvofazna: brza faza obuhvata period od prva tri dana a druga period od trećeg dana nakon kontaminacije, protekcioni efekat BP u našim eksperimentalnim uslovima ne pokazuje značajno zaštitno svojstvo kod peroralne kontaminacije kokoši ^{137}Cs.

Nr. / 58

PRIMENA EDTA KAO PROTEKCIONOG SREDSTVA KAD ALIMENTARNO KONTAMINIRANIH KOKOŠI RADIOSTRONCIJUMOM 89

B. Draganović, J. Gligorijević, M. Gačević, J. Begović

INSTITUT ZA PRIMENU NUKLEARNE ENERGIJE U POLJOPRIVREDI,
VETERINARSTVU I ŠUMARSTVU

Beograd - Zemun

Nr /58

ZAVOD ZA ANIMALNU RADIOBIOLOGIJU

PRIMENA EDTA KAO PROTEKCIONOG SREDSTVA KOD ALIMENTARNO KONTAMINIRANIH KOKOŠI RADIOSTRONCIJUMOM 89

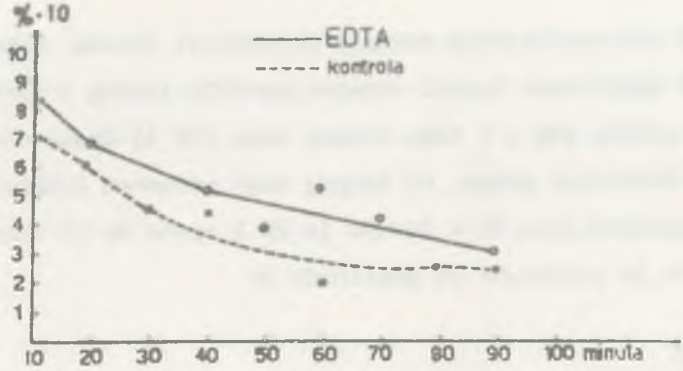
B. Draganović, J. Gligorijević, M. Gačević i Jevrosima Begović

Izučavanjem interne kontaminacije radiostroncijumom 89 kao jednim od najopasnijih fisionih produkata, naša ispitivanja su bila usmerena problemu peroralne kontaminacije kokoši i mogućnostima radioprotekcije. Peroralni put kontaminacije kokoši ovim radionuklidom je jedan od najčešćih načina unošenja radiostroncijuma u organizam, pa je poseban interes predstavljalo detaljnije upoznavanje brzine resorpcije iz creva, depozicije i eliminacije radiostroncijuma 89. U cilju

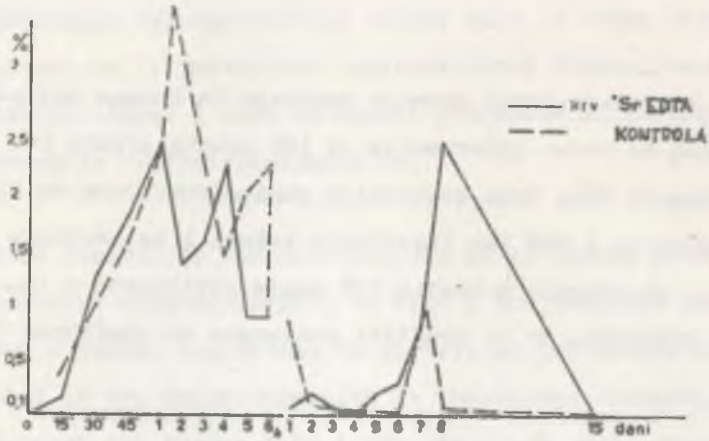
Ispitivanja radioprotekcije kokoši bilo je veoma interesantno ispitati da li preventivno administriran dinatrijum-EDTA ima zaštitni efekat i može da umanji posledice alimentarne kontaminacije radiostroncijumom 89.

Brzina resorpcije radiostroncijuma 89 iz tankog creva kokoši, sposobnost dinatrijum-EDTA da veže i kao kompleks zadrži izotop u lumenu ispitivana je in vivo na podvezanom ileumu u dužini 10 cm. Radiostroncijum je inokulisan brizgalicom u podvezani deo ileuma i to 1 ccm, SA = 1.5 μCi. Posle pasivnog mešanja uzorci za radiometrijska merenja su uzimani u intervalima: 1o, 2o, 3o, 4o, 5o, 6o, 7o, 8o, 9o i 100 minuta nakon aplikacije. Protektivno dejstvo dinatrijum-EDTA ispitivano je na kokošima rase "Beli Leghorn", starosti 6 meseci i prosečne težine 1.5 Kg. Radiostroncijum 89 je apliciran kao rastvor $^{89}Sr(NO_3)_2$ bez nosača, pH=5, sondom u voljku 5 μCi/kg telesne težine. Dinatreijum-EDTA je davan 7 dana pre kontaminacije u vodi za piće oglednim kokošima, u koncentraciji 0.4 gr dinatrijum-EDTA sa 0.01 N vodenim rastvorom. Uzorci za merenje krvi, fecesa i kostiju /pljosnatih i cevastih/ uzimani su svaki sat prvih 6 časova, zatim 1-2 puta u toku dana svakodnevno 15 dana. Radiometrijska merenja uzoraka vršena su na scintilacionom brojačkom uredjaju "Ekco-Philips" sa kristalom NaJ(Ta) i efikasnosti 20%. Rezultati su prikazani kao procenat u odnosu na apliciranu dozu radiostroncijuma 89 u digestivni trakt kokoši.

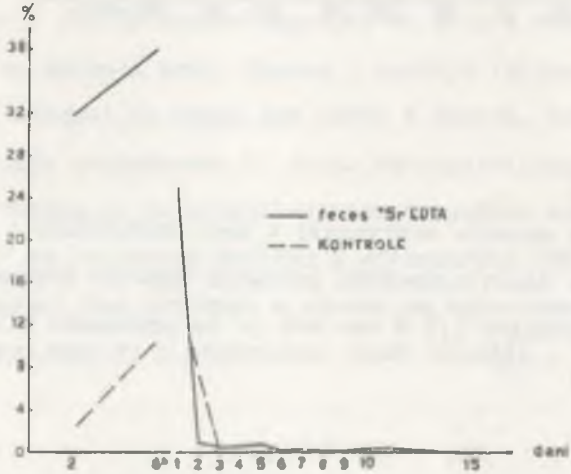
Rezultati radiometrijskih merenja sadržaja iz lumena podvezanog ileuma za vreme opservacije od 100 minuta svakih 10 minuta pokazuju vrlo brzu resorpciju radiostroncijuma 89 tj 80% kod kontrola i 50% kod zaštićenih kokoši i da kontrole od ogledniih sadržavaju prosečno 15% manje aktivnosti u ispitivanom segmentu. To je grafički prikazano na grafikonu 1:



Radiometrijska merenja aktivnosti u krvi kontrolnih i zaštićenih kokoši dinatrijum-EDTA pokazuju takodje izvesne razlike koje ne prelaze 1.5 % kao što je to prikazano sledećim grafikonom 2 :



Rezultati radiometrijskih merenja aktivnosti fecesa pokazuju da se kod zaštićenih kokoši dinatrijum-EDTA izotop u prvih 6 časova izluči 40% a u toku drugog dana 25% tj duplo više nego kod kontrolne grupe. Od drugog dana procenat izlučivanja radiostroncijuma 89 u fecesu je 2% i opada do 15 dana ogleda. To je prikazano na grafikonu 3:



Ovi rezultati nesumnjivo pokazuju da se mnogo veća količina radiostroncijuma 89 eliminiše u toku prva dva dana ako je u digestivnom traktu dinatrijum-EDTA. Sumirano to iznosi :

dani	Kontrola (^{89}Sr)	Ogled (EDTA+^{89}Sr)
	procenat inicirane doze	
1	8.7	40.o
2	8.9	25.2
	17.6	65.2

Radiometrijska merenja kostiju kontrolnih i oglednih životinja pokazuju da se najveći procenat radiostroncijuma deponuje u tibiju (18%), zatim sternum (15%) dok pneumatične kosti - humerus sadrže samo 5% inicirane doze.

Na osnovu izvršenih ispitivanja i postignutih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

Dinatrijum-EDTA je komplekson koji stupa u solidnu vezi sa radiostroncijumom 89 u uslovima alimentarne kontaminacije kokoši;

Dinatrijum-EDTA preventivno unet u digestivni trakt kokoši koje se naknadno kontaminiraju peroralno radiostroncijumom 89, gradi kompleks pa se slabo resorbuje u crevima i tako povećava eliminaciju kontaminanta fecesom;

Eliminacija radiostroncijuma 89 iz digestivnog trakta alimentarno kontaminiranih kokoši ima eksponencijalni karakter i odvija se u dve faze: brza koja traje prva dva dana i spora koja se odvija do kraja posmatranog perioda od 15 dana.

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU
BEOGRAD

RADOVI
V. jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti

Sekcija b
Sekcija c
Sekcija d
Sekcija e

BLED
od 6. do 9. oktobra 1970

DANAŠNJA SITUACIJA ŠKOLOVANJA KADROVA U SFRJ

Sterle M.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Nr /2/01

Saveznim Pravilnikom o stručnoj spremi lica koja rade sa izvorima ionizujućih zračenja i sa zaštitom pred tim zračenjima (sl. l. SFRJ broj 31/65) u principu je regulisano školovanje kadrova. Tim Pravilnikom dato je pravo za rad sa izvorima jonizujućih zračenja nekim specijalnim profilima (rentgenolozima, radiolozima, radioterapeutima, stomatolozima i rentgen tehničarima). Za sve ostale profile radnika traži se posebni tečaj, a prepušteno je republičkim propisima da ovlaste instituciju koja će se baviti u pojedinoj republici obukom kadrova.

Ovlašteni republički zavod stavljen je tim Pravilnikom pred sledeće probleme:

- izrada plana nastave po pojedinim profilima,
- priznavanje kurseva i tečajeva koje su radnici pohadjali u zemlji i inostranstvu prije donošenja tog Pravilnika,
- priznavanje kurseva i tečajeva koje radnici pohadjaju u drugim republikama i inostranstvu,
- priznavanje prava na rad stručnjacima koji već više godina rade sa izvorima zračenja a nemaju kursa ili tečaja.

S obzirom na te činjenice, a i s obzirom na veliku raznolikost profila znamo da kod nas na području obuke kadrova postoji velika stihija. Sve kadrove koje obuhvaća ovaj Pravilnik možemo podjeliti u tri grupe:

A. Kadrovi koji rade naučno-istraživački na području zaštite od jonizujućih zračenja.

B. Kadrovi koji primenjuju jonizujuća zračenja kod svog rada, a kojima je stručna sprema za rad sa izvorima zračenja samo uslov koji im daje pravo na rad.

C. Kadrovi koji se bave zaštitom od jonizujućih zračenja.

GRUPA A.

A.1. Kadrovi koji se bave isključivo naučno-istraživačkim radom u specijaliziranim laboratorijama.

A.2. Kadrovi koji se bave naučno-istraživačkim radom na području zaštite od zračenja povremeno sa posebno finansiranim zadacima. Redovan rad tih kadrova inače je rutinski rad sa izvorima zračenja ili zaštita od jonizujućih zračenja ili visokoškolska nastava.

A.3. Kadrovi koji se bave naučno-istraživačkim radom na području zaštite od jonizujućih zračenja nefinansirano, a to kao upotpunjavanje svog redovnog rada.

U ovu grupu možemo svrstati sledeće stručne profile:

- rentgenologija
- radioterapija
- radiobiologija
- fiziologija
- izotopska dijagnostika
- patofiziologija
- biologija
- biokemija
- biofizika
- hematologija
- citologija
- histologija
- fizika
- kemija
- fizička kemija
- meteorologija
- elektronika
- defektoskopija
- reaktorska tehnika
- metalurgija
- elektronska mikroskopija
- elektronska difrakcija
- elektronska mikrosonda
- strukturna rentgenoskopija
- gradjevinarstvo

GRUPA B.

U ovu grupu možemo svrstati sledeće profile:

- rentgenologija
- radioterapija
- izotopska dijagnostika
- elektronika
- defektoskopija
- reaktorska tehnika
- elektronska mikroskopija
- elektronska difrakcija
- strukturna rentgenoskopija
- gradjevinarstvo

GRUPA C.

C.1. Kadrovi koji se bave zaštitom zračenja profesionalno ili u centrima za radiološku zaštitu ili u odelenjima za zaštitu nuklearnih instituta i nuklearnih postrojenja ili

u odelenjima za zaštitu većih radioterapeutskih institucija.

C.2. Kadrovi koji su odgovorni za zaštitu u ustanovama u kojima se radi sa izvorima jonizujućih zračenja ili se ti izvori u ustanovi upotrebljavaju.

U grupu C.1. spadaju po pravilu visoko obučeni kadrovi različitih osnovnih školovanja (fizičari, kemičari, fizikokemičari, meteorolozi, medicinari i biolozi) sa svim vrstama dopunske specijalizacije.

U grupu C.2. spadaju po pravilu kadrovi obučeni za rukovodioce zaštite na radu (specijalizovani inžinjeri, absolventi viših škola za sigurnost kod rada).

OBUKA U SFRJ ZA GRUPU A :

1. Trećestepeni studij zaštite od jonizujućih zračenja na Farmaceutsko-biokemijskom fakultetu u Zagrebu.

OBUKA U SFRJ ZA GRUPU B :

1. Svi medicinski fakulteti koji imaju u sastavu institute za rentgenologiju i radioterapiju školuju specijaliste tih struka.
2. Odelenje za obuku kadrova IBK Vinča. Školuje pretežno kadrove za rad sa otvorenim izvorima zračenja (izotopska dijagnostika i traserska tehnika).
3. Energoinvest Sarajevo. Priredjuje tečajeve za industrijsku rentgenografiju i gamagrafiju.
4. Inštitu Jožef Stefan Ljubljana. Tečajevi za rad sa otvorenim izvorima zračenja i reaktorske operatore. U saradnji sa IMK Ljubljana tečajevi za industrijsku gamagrafiju.
5. Zavod SRS za varstvo pri delu Ljubljana. Tečajevi industrijske rentgenografije i gamagrafije. Kratki kursevi za obuku kadrova kod fiksnih radioaktivnih izvora (javljači požara i slično).

6. Elektrotehnički fakultet Beograd. Školuje inžinjere fizičare za reaktorsku tehniku.

7. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU Zagreb. Tečajevi za industrijsku gamagrafiju. Kratki kursevi za obuku kadrova kod fiksnih radioaktivnih izvora (gama karotaža i slično).

8. Višja šola za zdravstvene delavce Ljubljana. Školuje više rentgen tehničare i više sanitarne tehničare.

9. Viša škola za medicinske sestre i zdravstvene tehničare Zagreb. Školuje više rentgen tehničare.

Pored ovih redovnih školovanja i tečajeva bilo je u SFRJ i trećestepenih studija različitih stručnosti (elektronska mikroskopija i druge). Školovanje rentgen tehničara u ostalim republikama vrši se povremenim tečajevima i praksama.

OBUKA U SFRJ ZA GRUPU C.

1. Fakultet za sigurnost kod rada Niš. Škola je u formiranju.
2. Viša škola za sigurnost na radu Zagreb.
3. Višja tehniška varnostna šola Ljubljana.

ZAKLJUČAK

Na području školovanja kadrova u zaštiti od jonizujućih zračenja bilo bi potrebno:

- uniformirati program nastave na svim medicinskim fakultetima u SFRJ,
- uniformirati plan nastave za školovanje rentgen tehničara,
- uniformirati plan nastave tečajeva industrijske rentgenografije i gamagrafije.

U sve te plane nastave obavezno uneti barem deset sati specijaliziranih predavanja zaštite od jonizujućih zračenja.

Posebni problem obuke kadrova pretstavlja pomanjkanje specijalizacije zaštite od jonizujućih zračenja u medicini.

Istotako pretstavlja posebni problem obuka kadrova sa strane nestručnih i neovlaštenih institucija (radnički univerziteti i slično).

Nr / 2 / 02

RADIOLOŠKA ZAŠČITA, PREDMET POUKA NA MEDICINSKI FAKULTETI

Stojan Plesničar*

Vzporedno z razvojem uporabe izvirov sevanja je nastajala tudi radiološka zaščita kot posebna veda. Vkljub siloviteru razvoju in vzponu atomske energije in njene uporabe, so bili incidenti in tako škoda na ljudeh, minimalni. To pa prav zaradi vzporednega razvoja, ker so s širjenjem uporabe izvirov sevanja in novih aplikacij uveljavljali tudi nove, specifične zaščitne ukrepe. Če pomislimo na široka polja aplikacije izvirov sevanja tudi ni čudno, da k radiološki zaščiti prištevamo razmeroma številne veje znanja, tako od fizikalnih osnov sevanja in kliničnih aplikacij, pa do fizikalne zaščite. Zato se nam zdi celo pojem oziroma izraz radiološka zaščita razmeroma ozek, saj v le-to sodi celotno znanje o radiobiologiji.

Zahvaljujoč se temu razvoju je nastanek in utemeljitev radiološke zaščite eden največjih uspehov dela na polju medicine in zaščite v industriji. Pravočasno smo spoznali potencialno nevarnost, ki jo prinaša ionizirajoče sevanje, jo dodobra proučili in zato lahko izdelali ter pravočasno in učinkovito uporabili potrebne varnostne ukrepe. Principi, ki veljajo v radiološki zaščiti, so se ohranili z manjšimi modifikacijami in izpopolnitvami, do danes. Prevzeli so jih širom po svetu vsi, ki delajo

---

Doc.dr.sc.dr.Stojan Plesničar, Onkološki inštitut-
Medicinska fakulteta, Ljubljana, Vrazov trg 4

z izviri sevanja. Najbolj zgodnje izkušnje, ki so jih pridobili že pred približno petdesetimi leti, se tičejo nevarnosti pri delu z rentgenskimi žarki. Tem slede v obdobju med dvema vojnama že spoznanja o toksičnem učinku sevanja radioaktivnih snovi, ki se deponirajo v organizmu. V sedanjem obdobju, ko se je atomska energija razvila predvsem in najprej kot orožje ter nato kot koristno aplikativno sredstvo za potrebe družbe, so bili učinki sevanja na človeka in njegovo okolico že znani in ocenjeni. To je privedlo do izdelave določenih norm in pravil, ki so jih kasneje kodificirali po mednarodnih priporočilih za radiološko zaščito, ki jih je formulirala Mednarodna komisija za radiološko zaščito. Temu zgledu so sledile številne dežele s formiranjem nacionalnih komitejev za radiološko zaščito in organizacijo ustreznih služb.

Povsem razumljivo je, da je tak, imenujmo ga vertikalen razvoj, nosil sabo horizontalno ekstenzijo uporabe sevanja, tako da se je v zadnjih dveh desetletjih število oseb, ki delajo z izviri sevanja, izredno povečalo bodisi v industriji, medicini in raziskovalnemu delu. Sočasno pa postaja problem ekspozicije večjih skupin prebivalstva vprašanje, ob katerem družba ne ostaja brezbrižna. Problemi radiološke zaščite so aktualni prav tako za strokovnjake tistih družbenih forumov, ki bede nad zdravjem sredine in okolja, v katerem živimo.

Povsem na novo se je pojavila potreba po izobrazbi določenega kroga ljudi oziroma strokovnjakov, kar

nam seveda vsiljuje vprašanje, kako, kdaj in kje naj dobimo dovolj kvalificiranega kadra. Če mislimo na izobrazbo širšega kroga ljudi, na kar tudi moramo predvsem zaradi vsakdanje uporabe sevanja in njene ubikvitarnosti, bi lahko o določenih aplikacijskih ukrepih v radiološki zaščiti razpravljali tam, kjer je največ slušateljev in med katerimi kasneje lahko rekrutiramo strokovnjake za posamezne smeri dela radiološke zaščite. V radiološki zaščiti gre v dobri meri za zdravstvene probleme, tako kurativne kot preventivne. Zato se tudi ne bi čudili oz. nas ne bi presenetilo, če bi izbrali medicinsko fakulteto za učni zavod. Le-tu najdemo največje število mladih ljudi, ki bodo kasneje v življenju prevzemali razne funkcije, med katerimi je tudi naloga zaščite pred sevanjem.
Ko govorimo o določenih osnovah zaščite, mislimo predvsem na poglavje o fizikalno-kemičnih, bioloških in končno klinično-patoloških osnovah sevanja in njegovega učinka. Le-to bi po našem mnenju prišlo v poštev prvenstveno za poučevanje na medicinskih zavodih. Kot vemo o specializiranih poglavjih o zaščiti predvsem predavajo na ustreznih šolah, kot je na primer Višja šola za rentgenske tehnike, na kateri je nauk o radiološki zaščiti samostojen predmet.

V tem sestavku nameravamo dati predvsem idejo, kako bi lahko določeno znanje o radiološki zaščiti posredovali v sklopu obstoječega študija. Navedli smo že, da gre pri tem za osnove, saj vemo, da so specifične potrebe povsem različne. Poudarimo naj, da je potrebno znanje o radiološki zaščiti radioterapevta bistveno drugačno, kot

denimo, kirurgovo, ki občasno reponira zlom, ali pa zdravnika za poklicne bolezni, ki se mu lahko zgodi, da mora ukrepati v primerih nenadne, lahko tudi visoke ekspozicije.

Zato je bistvenega pomena, da se slušatelji medicine spoznajo z osnovami zaščite, kamor štejemo patološke spremembe v tkivih po obsevanju, osnove patoloških sprememb v organizmu kot v celoti, s kliničnim delom, kot je na primer klinika akutnega radiacijskega sindroma ter klinika kroničnih sprememb po dolgotrajni aplikaciji. Sem sodijo še klinika intoksikacij z radionuklidi, poglavje o genetskih učinkih sevanja ter pomen sevanja pri ekspoziciji populacije. Končno je pomembno poznati relacijo med efektom in dozo, volumnom in frakcioniranjem sevanja. Med osnove vsekakor sodi znanje o osnovnih vrstah sevanja in o osnovah detekcije sevanja. Prav tako je potrebno tudi poznavanje veljavne zakonodaje in priporočil mednarodne komisije za radiološko zaščito. Če vsa ta poglavja upoštevamo, vidimo raznolikost in obsežnost gradiva, o katerem naj bi slušateljem obvezno predavali. Zato bi bilo najprimerneje, da vključimo radiološko zaščito kot predmet v program obstoječega študija.

Ako pa pri tem pomislimo na sedanje trajanje študija, na natrpanost programov in na veliko število predavanj oziroma predavateljskih ur, nam je takoj jasno, da je predlog uvajanja radiološke zaščite kot posebnega predmeta, več kot utopističen.

Mislimo pa, da bi lahko kljub obstoječemu stanju dosegli vsaj minimalno izobrazbo slušateljev medicine s

področja radiološke zaščite tako, da bi v okviru predmetov del ur posvetili problemu radiološke zaščite. Tako bi se seznanjanje s to snovjo raztezalo od propedevtike in kliničnih predmetov do forenzične medicine. Povsem razumljivo je, da bi morali z vnašanjem dodatne snovi v obstoječe programe skrčiti druga poglavja ali celo opustiti, če bi želeli ohraniti obstoječe število ur. Menimo pa, da bi tak ukrep lahko vplival celo osvežujoče, če bi vnesli v učne programe posameznih predmetov povsem sodobno snov.

Kolikor poznamo programe študija na Medicinski fakulteti, lahko trdimo, da del te snovi že tako predavamo, vendar pri tem nikdar ne poudarjamo, da je pomembnost radiološke zaščite tudi v tem, da pomaga k razumevanju učinka raznih vrst sevanja. Naj navedemo primer pri študiju fizike: V prvem letniku kandidati poslušajo predavanja o različnih vrstah sevanj, o osnovah detekcije sevanj in o kvantitiranju žarkov. Pri tem ne pozabimo, da kandidat vsaj iz tega predmeta pridobi določeno znanje že iz srednje šole. V večini drugih predmetov pa slušatelji gotovo nimajo nobenega ali pa vsaj zadostnega predhodnega znanja. Tako bi morali pri pouku biologije slušatelje informirati o učinku sevanja na celico in njene posamezne sestavine kot genetske strukture. Več bi lahko kandidati pridobili pri pouku splošne patologije, saj vemo, da so v nekatere sodobnejše tekste patologije že vnesli poglavja o radiacijski patologiji. Dobršen del znanja pa bi jim lahko posredovali tudi iz kliničnih predmetov. Tako sodi toksikologija radionuklidov v predmet farmakologije ali pa v sodno medicino.

Vsekakor pa bi morali v slednjem predmetu slušateljem predavati tudi o veljavnih zakonih kot tudi o priporočilih mednarodnih organizacij. V okviru interne medicine kandidati slišijo veliko o anemijah, vendar tudi v sodobnih učbenikih le redko pišejo, da te spremembe lahko povzroča tudi prekomerna ekspozicija sevanju. Enako velja za levkoze in hemoraška stanja. Akutne intoksikacije z izotopi vsekakor sodijo v predavanja o uporabi izotopov v diagnostične in terapevtske namene.

Pomembna bi bila tudi predavanja iz radiobiologije, ki so v sklopu radioterapije. Za kvalitetnejši pouk pa moramo vsekakor ločiti predmet radioterapije od rentgendiagnostike na tistih fakultetah, kjer tega za sedaj še ni. Zato je še vedno dovolj prostora v okviru radioterapije za radiobiologijo in kliniko radioloških sprememb. Sem sodi tudi študij o reakcijah na pacientu, ki se obseva in do neke mere spominja na spremembe, ki jih najdemo pri eksponiranih osebah. Razloček je le v tem, da so spremembe pri radioterapiji hotene, kontrolirane, pri okvarah pa nenadne in obsežne ter tako ali tako izven meja. Ni potrebno posebej navesti, da moramo v rentgenologiji upoštevati načela in praktične vrste zaščite pri delu z diagnostičnimi rentgenskimi aparati, saj je danes problem zaščite v diagnostiki vedno manjši zaradi uvedbe in uporabe sodobnih diagnostičnih naprav. Končno ostane še poglavje o zaščiti pri delu v industriji in problem obremenitve populacije, kar vsekakor sodi v okvir predavanj o higieni.

Ponovno poudarjamo, da je povsem razumljivo, da shema o radiološki zaščiti ni najboljša. Njena velika pomanjkljivost je nehomogenost, saj bi praktično isto snov predavalo ~~isto snov~~ več predavateljev različnih predmetov. Ravno tako tak način ne bi nikoli bodril kandidata, da bi vsaj enkrat v teku študija vso snov predelal in se vanjo poglobil. Menimo pa, da bi mu ob koncu študija morda le ostala določena informacija o vsebini in bistvu pouka o radiološki zaščiti. Če ostanemo pri realnih razmerah, kakršne vladajo danes v pretežni večini na naših medicinskih fakultetah, skoraj ne vidimo načina, po katerem bi lahko v okviru obstoječega študija podajali snov radiološke zaščite.

Res je, da bi lahko v določeni meri pospešili ta razvoj. Če pomislimo na praktično realizacijo te zamisli, ostane poleg drugih problemov povsem odprto vprašanje programov, ki zajemajo količino snovi in njeno kakovost, o kateri bi predavali. V tej zvezi menimo, da bi pri organizaciji in izpeljavi študija o radiološki zaščiti lahko odlično pomagala učna knjiga s besedilom o radiološki zaščiti. Tokrat naj bi bil vrstni red pač obrnjen. Reči hočemo, učbenik naj bi izšel, preden bi o predmetu sploh začeli predavati. Pomen takega učbenika, kot pripomočka v študiju je v tem, da bi učbenik predstavljal predvsem program vsebine, kaj in kako naj se uči ter kako ostane snov povezana v celoto. Zdi se nam, da bi bila izdaja zgoščenega in smotrnega učbenika ena najbolj učinkovitih stimulansov za uvajanje študija radiološke zaščite na naših fakultetah.

Pripomniti želimo, da s tem poročilom nismo nameravali predlagati kakršnekoli iniciative. Kot vemo, veliko stvari potrebuje dovolj časa, predno jih lahko realiziramo. Želeli smo le povedati, da smo pred problemom izobrazbe radiološki zaščiti, da postaja le-ta bolj in bolj aktualen ter da so načini, s katerimi bi uspeli izobraziti oziroma vsaj informirati slušatelje medicinske fakultete, točneje povedano, zdravnike bližnje bodočnosti, o aktualnosti tega problema, tako da ga bi lahko vključili v obstoječo strukturo medicinskega študija.

Povzetek: Po mnenju avtorja tega sestavka, prehaja radiološka zaščita iz obdobja, ko je bila leta domena in interes ozkega kroga strokovnjakov v obdobje, ko moramo zagotoviti dovoljno število strokovnjakov za to dejavnost. Osnova za to bi bila v tem, meni avtor, da se določeno osnovno znanje iz fizikalnih, kemičnih kot tudi osnov iz patologije in klinike sevanja ter s tem v zvezi iz terapije ter preventive na področju sevanja, posreduje slušateljem medicinske fakultete. Ob tem predlaga tudi, da bi bila zaradi natrpanosti programov in dolžine študija edina najbolj racionalna rešitev podajanje poglavij iz predmeta radiološke zaščite v posameznih drugih predmetih, kjer se predava podobna problematika. Za primer navaja, da bi o fizikalnih osnovah predavali pri fiziki, patologijo sevanja pri splošni patologiji, o radiobiologiji pri radioterapiji, in o prevenciji obremenitve s populacijo s sevanjem v tečaju o higieni.
Za konec meni, da je ena izmed rešitev opisanega problema vsekakor izdelava in izdaja učbenika, ki bi ga lahko uporabljali ne samo didaktično, temveč tudi za osnovo programa.

PK 840/70

Stručnost kadrova koji rukuju rendgen aparatima u zdravstvenim ustanovama SFRJ

Dr Jovan Jokić,[x] Dr Antun Marjanac[xx]

Uvod

K/2/05

U nastojanjima da se iz primjene jonizujućeg zračenja u medicini postigne maksimalni efekat uz najmanji rizik po pacijenta, velika pažnja poklanja se stručnosti kadrova koji primjenjuju jonizujuće zračenje.(1)

Ispitivanja u svijetu su pokazala da su medicinski dijagnostički rendgen aparati najbrojniji vještački izvori jonizujućeg zračenja u životnoj okolini čovjeka i da se pomoću njih aplicira aproksimativno 7o-9o% od ukupne doze koju primi stanovništvo od primjene medicinskih vještačkih izvora jonizujućeg zračenja.(2)

Na veličinu apsorbovane doze zračenja u medicinskoj primjeni rendgen aparata utiče niz faktora od kojih su najvažniji:

- jačina rendgen zraka i napon cijevi,
- veličina ozračenog polja na tijelu pacijenta,
- udaljenost tijela pacijenta od fokusa rendgen cijevi,
- vrijeme ekspozicije,
- starost odnosno osjetljivost fluorescentnog ekrana, kod dijaskopija
- umješnost lica koje vrši pregled,
- osjetljivost rentgen filmova,
- primjena specijalnih zaštitnih sredstava, itd.

Iako su neki od pobrojanih faktora objektivne veličine, ipak njih određuje operator na rendgenu, te na kraju krajeva, u čitavom postupku kako u korištenju aparata, tako i u primjeni zaštite

---

x Institut za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta Sarajevo

xx Higijensko-epidemiološki odred, Sarajevo.

odlučujući je subjektivni faktor. Nastojanja za smanjenje ozračivanja populacije može biti kompromitovano ako rukovaoci rendgen aparatima ne znaju ili ne primjenjuju određene mjere u cilju smanjenja prekomjernog ozračivanja pojedinaca.

Nedavna ispitivanja Hellera (3) u New Yorku pokazala su da skoro 80% ljekara pri grafiji pluća upotrebljava neopravdano široki snop zračenja koji uključuje čak i gonade pacijenata.

Rendgen aparati su u savremenoj medicini postali neophodno i dragocjeno sredstvo u ranom otkrivanju, dijagnostici i praćenju toka obolenja. Ovo dovodi do stalnog porasta kako broja rendgen aparata, tako i asortimana dijagnostičkih postupaka sa rendgen aparatom.

Dok su se unazad 2 do 3 decenije rendgen pregledi ograničavali uglavnom na preglede pluća, abdomena i koštanog sistema, danas se pored tih vrše i mnogi drugi, kao napr. kraniograrije, angiografije, itd. Na taj način smo s jedne strane suočeni sa brzim razvojem korištenja rendgen dijagnostičkih aparata u medicini, što za sobom povlači i veći broj lica koja ih koriste, a s druge strane obrazovanje lica koja rukuju sa tim aparatima još u ljek su ostala na ranijim konzervativnim osnovama kada je rendg aparata bilo mnogo manje. Pored profila rendgenologa koji se detaljno obrazuju za rad sa rendgenskim aparatima, te biološkim efektima i zaštitom kod njihove primjene, niz ostalih specijalista kao što su pulmolozi, internisti, pedijatri, ortopedi i drugi ostaju na osnovnim informacijama koje su dobili u toku studija medicine, uz kasnije osposobljavanje za rukovanje aparatom, bez dovoljno upoznavanja o metodama zaštite od jonizujućeg zračenja. Manje više slična je situacija i kod većeg dijela srednjeg i nižeg medicinskog kadra koji rade kao rentgentehničari.

U eri rastuće primjene jonizujućeg zračenja u industriji, nauci, u vojne svrhe i svakodnevnoj životnoj okolini čovjeka (časovnici

sa svjetlećim brojkama, TV aparati), sa stanovišta javnog zdravstva i obaveze društva uopšte, nije svejedno koliko će svaki od tih aspekata doprinjeti opštoj, kumulativnoj, apsorbovanoj dozi koju primi stanovništvo. U takvim okolnostima svaka djelatnost usmjerena da se smanji doza je neophodna i opravdana. Konačno je sazrela spoznaja da zaštita od jonizujućeg zračenja nije više privatna stvar rendgenologa, rendgentehničara ili nekog drugog lica koje neposredno rukuje izvorom jonizujućeg zračenja, nego stvar široke zajednice i odgovornosti društva kao cjeline, pogotovu kada se zna o djelovanju malih doza, kumulativnoj gonadnoj dozi i mogućnosti maligne metaplazije krvotvornih organa.(4) Svesti ovaj rizik na nulu, u uslovima savremene medicine, je apsurd i zato je od velikog značaja i interesa nastojanje da on bude što manji.

Ovim saopštenjem želimo prikazati kvalifikaciju kadrova koji rukuju sa medicinskim rendgen aparatima u dijagnostičkoj primjeni. Materijal ovog saopštenja predstavljaju rezultati ankete o korištenju rendgen aparata u dijagnostičke medicinske svrhe, koja je provedena 1967 godine u zdravstvenim ustanovama SFRJ.

Metod rada

Na 2o%-tnom uzorku rendgen aparata koji se upotrebljavaju u medicinskoj dijagnostici izvršena je jednonedeljna anketa o korištenju tih aparata. Upitnik koji je upućen zdravstvenim ustanovama u SFRJ, čiji su rendgen aparati ušli u uzorak, sadržavao je pored ostalih i pitanja o tome tko je izvršio rendgen dijagnostički postupak u posmatranom periodu i kakva je njegova stručna, odnosno formalna kvalifikacija za rad sa izvorom jonizujućeg zračenja.

Razultati

Iz prikazanih podataka na tabeli broj 1 vidi se da je u 1967. godini u SFRJ bilo 24o5 rendgen aparata, od čega 6o2 u opštim i specijalnim bolnicama, 11o2 u domovima zdravlja i medicinskim centrima, a 7o1 u samostalnim zdravstvenim stanicama i drugi, zdravstvenim ustanovama. U tabeli nisu prikazani rendgen aparati u vojnim zdravstvenim ustanovama.

Prema podacima Statističkog godišnjaka o narodnom zdravlju i zdravstvenoj službi u SFRJ za 1967 godinu (5) (Tabela broj 2), bilo je zaposleno u zdravstvenim ustanovama 335 radiologa i 682 ftiziologa. Drugi profili ljekara odnosno specijalisti koji stalno ili povremeno rukuju rendgenima nisu prikazani u tabeli, jer se obim njihovog rada sa rendgen aparatima ne zna, niti se bilo gdje zvanično registruju.

U drugom dijelu tabele broj 2 prikazani su srednji i viši rendgen tehničari, koji prema podacima Statističkog godišnjaka rade sa rendgen aparatima. Iz tabele se vidi da je u 1967. takvih medicinskih radnika bilo 838 od čega 263 sa višom, a 575 sa srednjom stručnom spremom. U tabeli nisu prikazana lica koja su priučena za rad sa rtg. aparatom, bez redovnog školovanja. Tabele broj 3 i 4 prikazuju procjenu godišnjeg obima rendgen dijagnostičkih postupaka u medicinskim ustanovama SFRJ, prema kvalifikovanosti lica koji vrši pregled. Procjena je izrađena na osnovu provedene spomenute jednonedjeljne ankete. U tabelama nisu prikazani pregledi u vojnim medicinskim ustanovama i masovni fluorografski pregledi. Iz podataka se vidi da 5o% svih rendgen dijagnostičkih pregleda izvrše ljekari, a ostalih 5o% više, srednje i niže medicinsko osoblje.

Od ukupno procjenjenog godišnjeg broja redndgen dijagnostičkih pregleda koje izvrše ljekari, 13% izvrše radiolozi, 26,5% ostali specijalisti, a 1o,5% ljekari opšte prakse.

Od ukupnog broja pregleda koje izvrše rendgen tehničari 5o,8% izvrše školovani rendgen-tehničari, a 49,2% medicinsko osoblje, bez redovnog školovanja za rad sa izvorima jonizujućeg zračenja.

Procjena pokazuje da radiolozi obavljaju većinu tipova pregleda, ostali specijalisti uglavnom skopije želuca i pluća, te grafije abdomena, grudnog koša i zuba, a ljekari opšte prakse samo skopije želuca, duodenuma i pluća.

Od svih procjenjenih pregleda pluća 67,3% izvrše ljekari, a kod abdomena 87,4%, a ostalo srednje i niže medicinsko osoblje.

Učešće pojedinog profila zdravstvenih radnika u pojedinoj vrsti pregleda pokazuje da kod pregleda pluća radiolozi izvrše 2o%, ostali specijalisti 5o,5%, a ljekari opšte prakse 29,5% od ukupnog broja pregleda koje vrše ljekari. Radiolozi, prema procjeni vrše 6,9%, ostali specijalisti 66,3%, a ljekari opšte prakse 26,8% dijaskopija pluća.

Od svih procjenjenih pregleda želuca i duodenuma koje vrše ljekari 91,1% otpada na radiologe, 5,5% na ostale specijaliste, a 3,4% na ljekare opšte prakse.

Više i srednje specijalno školovano medicinsko osoblje izvrši 56,2%, a neškolovano medicinsko osoblje 43,8% od ukupnog broja grafija pluća.

Od ukupno 927.1oo rendgen dijagnostičkih pregleda koji obavezno u korisni snop zraka uključuju gonade pacijenata (pregledi kuka, femura, pelvisa, lumboasakralne i lumbalne kičme, urografija, retrogradna pijelografija, ureterocistografija, abdomen i histerosalpinografija), 7,5% izvrše ljekari, a 92,5% rendgen tehničari. Analizirajuće učešće pojedinog profila zdravstvenih radnika, kao izvršioca ovih pregleda, doznajemo da radiolozi učestvuju sa 6,7% ostali specijalisti o,8%, ljekari opšte prakse 0%, školovani rendgen tehničari 4o%, a rendgen tehničari bez redovnog školovanja 52,5%.

Stomatolozi izvrše 11,7%, školovani rendgen tehničari 4o,6%, a neškolovani rendgen tehničari 47,7% grafija zuba.

Od ukupno 1.241.1oo grafija ekstremiteta ljekari ne izvrše ni jednu, školovani rendgen tehničari 48,5%, a neškolovani rendgen tehničari 51,5% pregleda.

Diskusija

Na čitavoj teritoriji SFRJ dolazi o,14, u Bosni i Hercegovini o,o5, Crnoj Gori o,o7, Hrvatskoj o,15, Makedoniji o,19, Sloveniji o,17 i Srbiji o,16 radiologa na jedan rendgen aparat. Ne smatramo da je potrebno da na svaki aparat bude po jedan radiolog, ali ovaj podatak osvetljava brojnost specijalno izobraženog visokokvalifikovanog kadra za rad sa dijagnostičkim rendgenskim aparatima u našim zdravstvenim ustanovama. Nesumljivo, da visokokvalifikovana obrazovanost podrazumjeva i visok nivo kvalitetne zaštite pacijenata od jonizujućeg zračenja.

Ako zbrojimo radiologe i ftiziologe, koji su u rukovanju sa rendgen aparatima najbliži radiolozima, dolazimo do podataka da u SFRJ o,41, u Bosni i Hercegovini o,21, Crnoj Gori o,2[illegible], Hrvatskoj o,43, Makedoniji o,47, Sloveniji o,39 i Srbiji o,[illegible]5 ova dva profila ljekara dolazi na jedan dijagnostički rendgen aparat.

Pošto sa dijagnostičkim rendgen aparatima rukuju i neljekarsko medicinsko osoblje, kao što smo iz rezultata ispitivanja vidjeli, interesantno je usporediti broj specijalno školovanih rendgen tehničara u odnosu na broj rendgen aparata. Iz zvaničnih podataka (5) vidimo, da u zdravstvenim ustanovama SFRJ dolazi o,35, u Bosni i Hercegovini o,14, Crnoj Gori o,14, Hrvatskoj o,32, Makedoniji o,51, Sloveniji o,73 i Srbiji o,36 školovanih ~~radnog~~ rendgen tehničara na jedan dijagnostički rendgen aparat. Iz ovoga se vidi da u pogledu stručnosti kadrova koji vrše 5o% rendgen dijagnostič-

kih postupaka najslabija je situacija u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori, nešto bolja u Hrvatskoj, Srbiji i Makedoniji, a najbolja u Sloveniji. Pretpostavljamo, da ovakva situacija sa kadrovima ima reperkusije ne samo na tehnički kvalitet snimanja i razvijanja filmova, nego i na kvalitet zaštite koja se pri snimanju obezbjeđuje pacijentu. Skoro identične pretpostavke možemo primjeniti i u razmatranju kvalifikovanosti ljekara koji rukuju rendgen aparatima.

Razmatranja o kvalifikovanosti osoblja koji rukuju sa rendgen aparatima dobijaju poseban značaj u svjetlu dobivenih podataka da 92,5% dijagnostičkih postupaka koji su od značaja za veličinu gonadne doze vrše rendgen tehničari.

Rezultati sprovedene ankete nedvosmisleno upućuju na potrebu da sva lica koja rukuju dijagnostičkim rendgen aparatima moraju dobiti potrebno stručno obrazovanje u okviru zakonom propisanog minimuma. Svjesni činjenice da pri rendgenskim dijagnostičkom postupku postoji određeni rizik po pacijenta, smatramo da se ne može prepustiti improvizaciji i površnosti u osposobljavanju kadrova koji rukuju rendgen dijagnostičkim aparatima. Programi obrazovanja svih profila morali bi pored tehnike rukovanja aparatom da obavezno obuhvate i područja biologije zračenja i mjera zaštite od jonizujućeg zračenja.

Zaključak

1. U zdravstvenim ustanovama na teritoriji SFRJ u 1967 godini bilo je 2405 dijagnostičkih rendgen aparata.

2. U istoj godini u zdravstvenim ustanovama bilo je zaposleno 335 radiologa, 682 ftiziologa i 839 školovanih rendgen tehničara.

3. Rendgentehničari, bez obzira da li su redovno školovani ili samo priučeni za rad sa rendgen aparatima, vrše 50% od ukupnog broja rendgen dijagnostičkih postupaka.

4. Radiolozi godišnje vrše 13%, ostali specijalisti 26,5%, a ljekari opšte prakse 1o,5% od ukupnog broja rendgen dijagnostičkih pregleda.

5. Preglede, koji su od značaja za veličinu gonadnih doza vrše u 92,5% slučajeva rendgentehničari.

BIBLIOGRAFIJA:

1. Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation (1965), WHO, Technical Report Series No 3o6, Geneva;

2. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1958), Gen. Assembly Official Records, 13th Sess. Suppl. No 17 (A) 3838, New York;

3. Heller, M.B., et al. (1964), American Journal of Public Health, 54:1551-1559;

4. Public Health Responsibilities in Radiation Protection (1963), WHO, Technical Report Series No 254, Geneva;

5. Statistički godišnjak o narodnom zdravlju i zdravstvenoj službi u SFRJ, 1967, Beograd, 1969, Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu.

Tab. 1.

Dijagnostički rentgen aparati u zdravstvenim ustanovama u 1967.*

REPUBLIKA	Zdravstvene ustanove						
	Bolnice i klinike		Domovi zdravlja i medicinski centri		Zdravstvene stanice i ostale		UKUPNO
	Broj	%	Broj	%	Broj	%	
SRBiH	77	20,4	114	20,1	186	49,5	377
SRCG	5	5,6	60	66,6	25	27,8	90
SRH	155	21,2	285	39,0	290	39,8	730
SRM	30	20,0	95	63,3	25	16,7	150
SRSl.	110	43,5	113	46,6	30	11,9	253
SRS	225	27,9	435	54,0	145	18,1	805
SFRJ	602	25,0	1102	45,8	701	29,2	2405

* Podaci iz republičkih ustanova koje vrše kontrolu izvora jonizujućeg zračenja.

Tab. 2.

Zdravstveni radnici (stanje 30.9.1967 godine)

Republika	Ljekari		Rendgen tehničari		
	Ftiziologa	Radiologa	Viša stručna sprema	Srednja stručna sprema	Ukupno
BiH	63	19	11	42	52
Crna Gora	14	6	2	11	13
Hrvatska	195	108	64	169	233
Makedonija	41	29	20	56	76
Slovenija	59	42	157	30	187
Srbija	310	131	9	278	287
UKUPNO:	682	335	263	575	838

Statistički godišnjak o narednom zdravlju i zdravstvenoj službi u SFRJ 1967, Beograd, 1969. Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu.

Tab. 1.

Procjena izvršioca rendgen dijagnostičkih pregleda na osnovu rezultata ankete vršene od 9-15.1o.1967.
(u hiljadama)

Vrsta pregleda	Ljekari									% od ukupnog broja izvršenih pregleda
	Rentgenolog			Specijalisti			Opšte prakse			
	S*	G**	T***	S	G	T	S	G	T	
Kuk i femur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Femur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelvis	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-	6,3
Pelvimetrija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumbosakralna regija	-	12,2	-	-	-	-	-	-	-	8,5
Lumbalna kičma	-	23,1	-	-	-	-	-	-	-	15,1
Urografija	-	13,1	-	-	-	-	-	-	-	8,1
Retrogradna pijelografija	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	12,6
Ureterocistografija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Želudac i duodenum	7oo,7	9,5	-	43,o	-	-	25,5	-	-	87,4
Donji digestivni trakt	-	7,2	-	-	-	-	-	-	-	1o,6
Abdomen	-	12,3	-	-	4,5	-	-	-	-	14,9
Abdomen (porodiljski pregled)	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	16,4
Histerosalpinografija	-	1,1	-	-	2,o	-	-	-	-	23,6
Holecistografija i holangiografija	-	-	-	-	o,4	-	-	-	-	o,3
Grudi	338,1	425,o	121,3	2965,3	128,3	146,5	1215,o	121,3	-	67,3
Glava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torakalna kičma	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	1,5
Grudni koš	-	8,8	-	-	12,o	-	-	-	-	6,9
Ruke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Donji ekstremiteti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zubi	-	-	-	-	123,o	-	-	-	-	1o,8
UKUPNO:	1o38,8	52o,2	121,3	3oo8,3	271,8	146,5	124o,5	121,3	-	5o,o

* Skopije
** Grafije
*** Tomografije

Tab. 4.

Procjena izvršioca rendgen dijagnostičkih pregleda na osnovu rezultata ankete vršene od 9. do 15.10. 1967. (u hiljadama)

Vrsta pregleda	Rendgen tehničari				% od ukupnog broja izvršenih pregleda
	Školovani		Neškolovani		
	O	*	O	*	
Kuk i femur	121,0	-	127,3	-	100,0
Femur	18,2	-	31,1	-	100,0
Pelvis	29,2	-	74,7	-	94,7
Pelvimetrija	0,4	-	-	-	100,0
Lumbosakralna regija	56,4	-	74,0	-	91,5
Lumbalna kičma	47,3	-	79,3	-	84,9
Urografija	94,7	-	53,6	-	91,9
Retrogradna pijelografija	3,2	-	3,9	-	87,4
Ureterocistografija	8,2	-	10,1	-	100,0
Želudac i duodenum	50,8	-	62,5	-	12,6
Donji digestivni trakt	33,1	-	29,1	-	89,4
Abdomen	42,2	-	53,9	-	85,1
Abdomen (porodiljski pregled)	5,1	-	0,2	-	83,6
Histerosalpinografija	4,8	-	3,9	-	76,4
Holecistografija i holangiografija	55,2	-	54,9	-	99,7
Grudi	854,3	331,0	921,5	7,0	32,7
Glava	316,5	-	225,3	-	100,0
Torakalna kičma	57,1	-	33,9	-	98,5
Grudni koš	126,0	-	147,2	-	93,1
Ruka	218,3	-	412,0	-	100,0
Donji ekstremiteti	382,4	-	228,4	-	100,0
Zubi	482,2	-	517,9	-	89,2
UKUPNO:	2952,6	331,0	3174,0	7,0	50,0

* Skopija

** Grafija

*** Tomografija

1. UREDJAJ ZA APSOLUTNO MERENJE EKSPOZICIONE DOZE

D. Novković, M. Šmelcerović i Dj. Godić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Merenje malih struja pomoću elektrometarskih operacionih pojačavača (strujni integrator)

1.1. Princip rada

Strujni izvor sa velikom unutrašnjom otpornošću (većom od $10^{15}\Omega$) povezan je sa elektrometarskim operacionim pojačavačem (sl.1), čije je pojačanje ($3.10^4 \div 5.10^4$). U povratnoj sprezi nalazi se etalonski kondenzator C_f. Napon na izlazu meri se digitalnim voltmetrom D.V.

Izlazni napon U_o, ulazni napon U_i, struja iz komore (ili iz nekog drugog strujnog izvora) i struja u grani povratne sprege povezane su relacijama:

$$U_o = -A\,U_i,$$

$$C_f \frac{d}{dt}(U_o + U_i) = i_p, \qquad (1)$$

$$U_i = R_i\,(i - i_p),$$

gde je R_i ulazna otpornost operacionog pojačavača. Uzimajući u obzir da je $A \gg 1$, iz relacija (1) dobija se sledeća diferencijalna jednačina:

$$\frac{d\,U_o}{dt} + \frac{U_o}{AR_iC_f} - \frac{i}{C_f} = 0 \qquad (2)$$

Rešenje prethodne diferencijalne jednačine za početni uslov $U_o(o) = 0$ je sledeće:

$$U_o(t) = \frac{e^{-t/AR_iC_f}}{C_f} \int_0^t i(t')e^{\frac{t'}{AR_iC_f}} dt' \qquad (3)$$

Pošto strujni izvor daje konstantnu struju, i pošto je $AR_iC_f \gg t$ iz (3) se dobija:

$$U_o(t) = \frac{1}{C_f} \int_0^t dt' i(t') = \frac{it}{C_f}$$
$$i = \frac{C_f U_o(t)}{t} \qquad (4)$$

Samo merenje je veoma jednostavno. Prekidač P se otvara i istovremeno se pušta u rad časovnik. Posle izvesnog vremena (10 - 1000 S) zaustavlja se istovremeno digitalni voltmetar i časovnik posle izvršenih očitavanja zatvaranjem prekidača P anulira se napon na izlazu.

Ova metoda merenja ima prednost nad ranije izloženim metodama merenja, pošto je ovde nepotrebno izvoditi automatsku kompenzaciju.

1.2. Detaljnija analiza rada uredjaja za merenje malih struja

Kabl, koji spaja komoru sa ulazom operacionog pojačavača ima svoj kapacitet i može da unese izvesnu grešku u merenje struje. Ovaj kapacitet sabira se sa ulaznim kapacitetom samog pojačavača dajući ukupni ulazni štetni kapacitet C_i (sl.2). Kondenzator C_f nema idealnu izolaciju, pa se realni kondenzator mora predstaviti kao paralelna veza kapaciteta C_f i otpornosti R_f. Od veličine otpornosti R_f i kapaciteta C_f zavisi rad uredjaja i greška merenja, te se moraju uzeti u obzir pri detaljnijoj analizi rada uredjaja.

Naponi U_o, U_i i struje i i i_p povezane su relacijama:

$$U_o = -A\,U_i$$

$$i_p = C_f \frac{d}{dt}(U_o + U_i) + \frac{U_o + U_i}{R_f} \qquad (5)$$

$$i - i_p = \frac{U_i}{R_i} + C_i \frac{d\,U_i}{dt}$$

Iz (5) dobija se sledeća diferencijalna jednačina:

$$\frac{d\,U_o}{dt} + U_o \left(\frac{1}{AR_iC_f+R_iC_i} + \frac{A}{AR_fC_f+R_fC_i}\right) = \frac{i}{C_f+C_i/A} \qquad (6)$$

Rešenje diferencijalne jednačine (6) je:

$$U_o(t) = \frac{e^{-at}}{b} \int_o^t i(t')\, e^{at'}\, dt'$$

$$a = \frac{1}{AR_iC_f+R_iC_i} + \frac{1}{R_fC_f+R_fC_i/A} \qquad (7)$$

$$b = C_f+C_i/A$$

Konstante a i b moraju da budu takve da se (7) u dobroj aproksimaciji slaže sa (4). Napravljeni uredjaj koristi operacioni pojačavač firme Keithley Instruments, Inc., model 301, koji ima pojačanje $A = 5 \cdot 10^4$, ulaznu otpornost $5 \cdot 10^{12}\,\Omega$ i ulazni kapacitet 10 pF. Kapacitet kabla sa komoromn ne prelazi 300 pF, pa je $b = C_f$ sa greškom manjom od 0,1%. Za date vrednosti pojačanja A, otpornosti R_i i R_f kapaciteta C_i i C_f, $a \cong 1/R_fC_f$. Ako je vremenska konstanta R_fC_f znatno veća od vremena merenja, (7) se svodi na (4). U napravljenom uredjaju ugradjeni su vazdušni kondenzatori od 10, 100 i 1000 pF sa tri izvoda , firme General Radio, tip 1403. Vremenska

konstanta R_fC_f etalonskog kondenzatora zavisi od vlažnosti okolnog vazduha. Ona može da se izmeri ako se pri istom izlaznom naponu $U_o \neq 0$ prekine veza sa strujnim izvorom i meri opadanje napona u funkciji vremena. Ako se u jednačini (6) stavi i = 0, dobiće se:

$$U_o(t) = U_o(o)e^{-t/R_fC_f} , \qquad (8)$$

gde je $U_o(o)$ napon na izlazu na početku merenja. Merenjem napona U_o u funkciji vremena može da se iz (8) izračuna vremenska konstanta za date kondenzatore. Vremenska konstanta R_fC_f veća je od $5 \cdot 10^4$ S.

Za vremena merenja manja od 100 S, (7) se svodi na (4).

1.3. Greška u merenju struje

Sledeći faktori mogu da unesu ili unose grešku u merenju struje:

a) Merenje napona

Napon na izlazu meri se digitalnim voltmetrom firme Solartron, tip LM 1426 sa pet cifri.

Greška u merenju napona je 0,01% + 1 cifra. Ako se vreme merenja podesi tako da se iskoriste svih pet cifara na voltmetru, greška merenja napona je oko 0,03%.

b) Merenje vremena

Upotrebljeni digitalni voltmetar može da se pusti u rad i zaustavi pomoću električnih impulsa koji se dobijaju iz kvarcnog časovnika. Greška ovakvih časovnika je 0,01%. Pri ručnom zaustavljanju digitalnog voltmetra, greška u merenju vremena je znatno veća oko 0,3% za vreme od 100 S.

c) Greška koju unosi etalonski kondenzator C_f

Ugradjeni etalonski kondenzatori od 10, 100 i 1000 pF, firme General Radio, tip 1403 imaju naznačene kapacitete sa greškom manjom od 0,1%.

d) Nelinearnost izlaznog napona operacionog pojačavača

Pošto kondenzatori u povratnoj sprezi nemaju idealnu izolaciju (otpornik paralelno vezan sa C_f nema beskonačnu otpornost), to izlazni napon operacionog pojačavača neće linearno rasti sa naponom, već će malo ostupati od prave.

Porast izlaznog napona sa vremenom dat je formulom (7). Vremenska konstanta $R_f C_f$ veća je od $5 \cdot 10^4$ S, te pri merenju od 100 S, greška zbog nelinearnosti iznosi oko 0,1%.

e) Šum pojačavača

Upotrebljeni pojačavač ima šum oko $5 \cdot 10^{-15}$A u frekventnom opsegu od 0,1 - 10 Hz. Pošto pojačavač u datoj šemi integrali ulaznu struju, efekat šuma je znatno manji i iznosi $\sim 10^{-15}$A. Ovaj šum predstavlja praktično ograničenje za merenje struja manjih od 10^{-13}A. Za struje manje od 10^{-12}A potrebno je duže vreme meriti šum i odbiti ga od merene struje. Pošto je šum pojačavača relativno stabilan u vremenu, to greška nije velika.

Relativno velika vrednost šuma (10^{-15}A) predstavlja nedostatak ove metode merenja u odnosu na kompenzacione metode. Kompenzacione metode koriste vibron elektrometra čiji je šum veoma nizak (10^{-16} - 10^{-17}A), te se pomoću njih mogu meriti struje i od 10^{-15}A. Medjutim, pošto je ovaj uredjaj namenjen za merenje struja iz jonizacionih komora, koje po pravilu imaju dugačak kabl i koje imaju parazitnu struju oko 10^{-15}A, spomenuta prednost kompenzacionih metoda ovde je irelevantna.

f) Strujna stabilnost

Stabilnost struje pojačavača je 10^{-15}A na 24 časa. Greška koju unosi nestabilnost struje je zanemarljivo mala, pošto vreme merenja je oko 100 S.

g) Polje zračenja

Pošto kondenzatori C_f imaju vazduh kao izolaciju,oni se ponašaju kao komore u polju zračenja.Šema uredjaja (sl.1) mora se dopuniti sa jednim strujnim generatorom koji je paralelno vezan kondenzatoru C_f.Struja koja se stvara u kondenzatoru predstavlja grešku merenja,koja je velika,jer je efekat zapremina kondenzatora nekoliko desetina cm^3.

Uticaj gama-zračenja na merni uredjaj vršen je dovodjenjem izlaznog napona do 10V i merenjem tog napona u toku vremena.Pri odsustvu polja zračenje napon opada eksponencijalno po formuli (8). Na sl.3. prikazano je opadanje napona U_o sa vremenom za data tri kondezatora.Uticaj polja zračenja od 1 mr/h je zanemarljivo mali, te uredjaj mora da se nalazi na mestu gde je zračenje manje od 1 mr/h. Uticaj spomenutih grešaka dat je u tabeli 1.

Greška pri merenju struje

Tabela 1.

Poreklo greške	Veličina greške u %
Merenje napona	0,01%+ 1 digit; 0,03% u povoljnom slučaju
Merenje vremena	0,01% za automatsko zaustavljanje
Etalonski kondenzator	0,1%
Nelinearnost izlaznog napona	0,1% za vreme od 100 sec.
Šum pojačavača	0,1% za struju 10^{-13}A uz izvršenu korekciju
Strujna stabilnost	Zanemarljivo mala
Polje zračenja	Zanemarljivo malo za brzine doze $\leqslant$ 1 mr/h
Ukupna greška	0,34%

2. MERENJE DOZE

Sa komorom čiji su zidovi napravljeni od vazdušno-ekvivalentnog materijala i koja je razvijena prethodnih godina (2,3,4), može se izmeriti brzina doze sa tačnošću 2-3% ako se struja jonizacije u komori meri sa preciznošću od 0,5-1%.

Brzina doze u datoj tački izračunava se po formuli:

$$P = 1{,}08 \cdot 10^{13} \frac{1}{\lambda \cdot f} K_p K_r K_i K_g K_z K_\rho K_v \frac{i}{V} \qquad (9)$$

gde je:

P - brzina doze u r/h

λ - odnos masenih apsorpcionih koeficijenata doze komore i vazduha

f - odnos apsorbovanih energija po gramu vazduha i po gramu zida,

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

K_r - korekcioni faktor za eliminisanje rasejanja od držača komore,

I_i - korekcioni faktor koji uzima nejednakost intenziteta primarnog zračenja u zidu komore,

K_g - korekcioni faktor zbog nepoklapanja geometrijskog i dozimetrijskog centra,

K_z - korekcioni faktor zbog nedostizanja struje zasićenja,

K_ρ - korekcioni faktor na gustinu vazduha,

K_v - korekcioni faktor zbog vlažnosti vazduha

i - struja jonizacije u komori u alterima

V - zapremina komore u cm^3.

Poreklo i merenje spomenutih korekcionih faktora dato je u (4). Većina od ovih korekcionih faktora moraju se odredjivati pri svakom merenju ekspozicione doze.

Da bi se verifikovala vazdušnoekvivalentna komora,

izmerena je doza C_s-137 na rastojanju od 25 cm, čiju je dozu izmerio i proizvodjač.

Izmerena brzina doze iznosi:

$$P = 4,925 \pm 3\% \ r/h$$

Proizvodjač (AMERSHAM) dao je vrednost brzine doze

$$P = 5,074 \pm 5\% \ r/h,$$

tako da je neslaganje izmedju ovih dveju vrednosti oko 3%.

U tablici 2 nalaze se vrednosti svih veličina potrebnih za apsolutno merenje ekspozione doze kao i greška koju unose u merenje.

V e l i č i n a	Vrednost	Način odredjivanja	Greška
λ_f - Stopping power factor	0,9839	Izračunata po Spencer-Attix-y	0,6%
K_p - Slabljene γ -zračenja	1,0105	Ekstrapolacija na nultu debljinu	0,03%
K_r - Rasejanje od držača komore	1,0000	Merenje sa dve identične komore	Zanemar. mala
K_i - Nejednakost intenz. primarnog zračenja	0,997	Izračunato	0,05%
K_g - Nepoklanje geomet. i dozimetr.centra	1,0000	Merena doza u funkciji vremena	0,4%
K_z - Nedostizanje struje zasićenja	1,000	Izračunato i izmereno	Zanemar. mala
K_ϱ - Gustina vazduha	1,1091	Izracunato za izmerenu temper. i pritisak	0,3%
K_v - Vlažnost vazduha	1,0025	Izračunato za izmeremu vlažnost vazduha	0,01%
i - Struja jonizacije	$2,476.10^{-12}$ A	Izmerena	0,5%
V - Zapremina komore	6,18 cm^3	Izmerena	0,5%
Rastojanje izvor - komora	25 cm	Izmerena katetometrom	0,6%
		Ukupna greška	3%

L I T E R A T U R A :

1. Jaeger, R., Shahlentherapie 89 (1950)

2. Novković D., Magistarski rad, IBK-392, Vinča (1965)

3. Novković D., Razvoj vazdušnoekvivalentne komore za apsolutno merenje ekspozicione doze, ugovor sa S.F. i R.F. Srbije, Zadatak 7.56, Vinča (1967)

4. Metrologija radioaktivnih izotopa, Završni izveštaj po ugovorima sa S.F. i R.F. SR Srbije, SF 1365/23 i RF 2095/2, nosilac ugovora Dr Dj.Bek-Uzarov, tema V, Vinča (1968).

Nr. / 3 / 02

ODREĐIVANJE INTEGRALNE APSORBIRANE DOZE PACIJENATA U RUTINSKOJ RADIOLOŠKOJ DIJAGNOSTICI

KEMPNI K., JAKOBOVIĆ Z., PETROVČIĆ F.

Zavod za fiziku i matematiku Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta, Zagreb

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

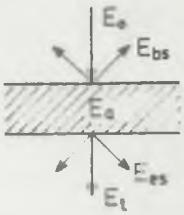
1. Uvod

Nastavljena su i upotpunjena istraživanja za što jednostavnijim, a što točnijim načinom određivanja integralne apsorbirane doze pri rutinskim radiološkim pregledima, o kojima je referirano na prošlogodišnjem simpoziju /1,2/. Usavršena je metoda određivanja energije prolaznog snopa rendgenskog zračenja. Posebna je pažnja posvećena s jedne strane uklanjanju utjecaja povratnog raspršnog zračenja na stražnju stranu plošnih ionizacionih komora, a na koje su one jako osjetljive, s druge strane postavljanju apsorbera /voska, vode i pleksistakla/, tako da svojom stražnjom površinom budu jednako udaljeni od prednje aktivne površine plošne komore. Nadalje su istraživanja upotpunjena određivanjem udjela raspršnog zračenja, kako izlaznog tako i povratnog. Nekoliko određivanja apsorpcije izvedeno je na fantomu po Aldersonu.

2. Raspodjela energije snopa zračenja pri prolazu kroz apsorber

Na slici 1 je shematski prikazano kako se energija E_0 ulaznog snopa zračenja raspoređuje pri prolazu kroz apsorber: E_{bs} je dio povratno raspršen, E_a dio apsorbiran, E_t dio transmitiran i konačno E_{es} dio izlazno raspršen. Pritom je $E_t + E_a + E_{bs} + E_{es} = E_0$.

Omjerima parcijalnih energija i totalne energije određeni su faktori: transmisije T, povratnog raspršnog zračenja S_b, izlaznog raspršnog zračenja S_e. Suma ovih dvaju posljednjih daje ukupni faktor raspršenja S. Faktorima T i S određen je onda faktor apsorpcije A, kako je to uz sliku naznačeno.



$T = E_t/E_o$

$S_e = E_{es}/E_o$

$S_b = E_{bs}/E_o$

$S = S_e + S_b$

$A = E_a/E_o$

$A+S+T = 1$

$A = 1-(S+T)$

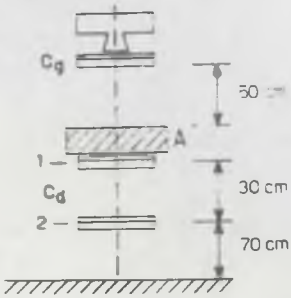
Sl. 1 Pregledna shema raspodjele energije zračenja pri prolazu snopa zračenja kroz apsorber

Mjereći energiju cjelokupnog ulaznog snopa zračenja, a poznavajući odgovarajuće faktore možemo onda odrediti udio prolaznog, raspršenog i apsorbiranog zračenja prema relacijama

$E_t = T \cdot E_o \quad E_s = S \cdot E_o \quad E_a = A \cdot E_o$

Da bi se dakle moglo odrediti apsorbirani dio energije u sloju nekog materijala određene debljine, potrebno je poznavati faktor apsorpcije za taj materijal i tu debljinu. Da bi se pak mogla odrediti apsorbirana energija za različite debljine, potrebno je načiniti graf zavisnosti faktora apsorpcije A o debljini apsorbera d, a da se to može načiniti, potrebno je mjeriti energiju izlaznog i raspršnog zračenja.

3. Određivanje energije izlaznog snopa zračenja



Sl. 2 Uređaj za određivanje energije izlaznog snopa zračenja.

Na slici 2 je shematski prikazan uređaj za određivanje energije izlaznog snopa zračenja. Na rendgenskom aparatu za snimanja trajno je montirana plošna ionizaciona komora C_g. Druga plošna komora /sa aparata za dijaskopiju/ C_d postavljana je na posebno izgrađenom postolju na dvije prečke u dva različita položaja. U položaju 1 mjeri se ukupna energija $/E_t + E_{es}/$ prolaznog i izlaznog raspršnog zračenja, u položaju 2

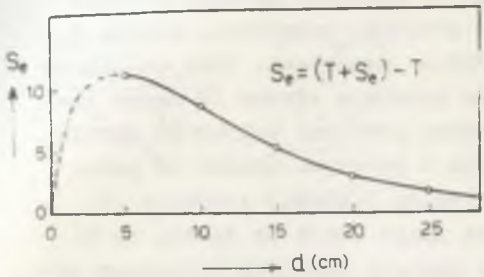
samo energija E_t prolaznog zračenja. Apsorber A postavljan je na istom postolju, a bio je samo na rubovima poduprt drvenim prečkama, kako bi snop zračenja prolazio nesmetano. Komora C_d se postavljala tik do donje površine apsorbera. Kako su plošne komore osjetljive na zračenje sa stražnje strane /u našem slučaju odozdo/ postavljen je apsorber dovoljno daleko od gornje komore C_g, a komora C_d u položaju 2 dovoljno daleko od poda, da ne bi na komore djelovalo povratno raspršno zračenje od apsorbera odnosno poda. Veličina snopa uzeta je takva, da u položaju 2 cijeli snop zračenja prolazi aktivnim volumenom ionizacione komore. Mjerenja su izvođena komorom C_d, dok je C_g služila kao referentna komora, kojom su kontrolirane ekspozicije.

4. Određivanje faktora transmisije T i faktora izlaznog raspršnog zračenja S_e

Postavljanjem plošne komore C_d u položaj 1, tj. da se dotiče donje površine apsorbera, mjerimo $/E_t + E_{es}/$, tj. energiju prolaznog i raspršenog izlaznog zračenja, dok u položaju 2 mjerimo samo energiju prolaznog zračenja E_t. Razlika tih dviju vrijednosti nam daje samu energiju izlaznog raspršnog zračenja E_{es}. Energiju ulaznog snopa E_o mjerimo u položaju 1 odnosno 2 samo bez apsorbera. Dijeleći gore navedene veličine sa E_o dobivamo odgovarajuće faktore:

$$\frac{E_t+E_{es}}{E_o} = T+S_e \qquad \frac{E_t}{E_o} = T \qquad S_e = /T+S_e/ - T$$

$/T+S_e/$ i T određivano je za različite debljine voska, pa su kao razlike dobivene odgovarajuće vrijednosti faktora S_e. Na slici 3 prikazana je zavisnost faktora S_e o debljini apsorbera.



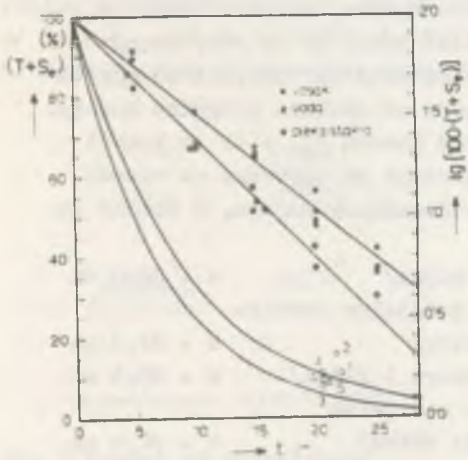
Sl. 3 Zavisnost faktora izlaznog raspršnog zračenja S_e o debljini apsorbera d

Dijagram je vrlo karakterističan: isprva s debljinom apsorbera naglo raste i udio izlaznog raspršnog zračenja, no kod većih debljina smanjuje se udio prolaznog zračenja, a time i udio izlaznog raspršnog zračenja. Uz debljinu od kojih 4 cm je udio izlaznog raspršnog zračenja maksimalan i iznosi kojih 11%, dok uz debljinu od 25 cm iznosi svega 2%.

5. Slabljenje snopa zračenja u različitim materijalima

Mjerenja su izvođena za tri materijala: vosak, vodu i pkeksistaklo. Ploče voska bile su 5 cm debele. Raspolagali smo sa 40 pravilnih ploča pleksistakla 5 mm debljine, te smo mjerenja apsorpcije mogli izvoditi samo do 20 cm debljine. Voda je stavljana u kablić od PVC-a, kojemu je dno upravo pristajalo u željezni okvir plošne ionizacione komore. Na taj je način bilo moguće postaviti donju površinu vode u istu udaljenost /12 mm/ od prve aktivne površine kao i vosak i pleksistaklo. Kablić je bio dubok 25 cm, pa su se i mjerenja slabljenja snopa zračenja mogla izvoditi do debljine sloja vode od 25 cm.

Kako za određivanje faktora apsorpcije A nije potrebno određivanje samog faktora transmisije T, to su određivane samo vrijednosti /$T+S_e$/. Na slici 4 prikazane su te vrijednosti u zavisnosti



o debljini apsorbera za vosak, vodu i pleksistaklo. U semilogaritamskom mjerilu zavisnost je linearna za sva tri materijala, što znači da velična /T+S_e/ eksponcijalno opada s debljinom apsorbera d. Vrijednostima za vodu i pleksistaklo odgovara zajednički pravac, koji je znatno strmiji od pravca za vosak, što znači da je apsorpcija u vodi i pleksistaklu znatno jača nego u vosku. Prema ucrtanim pravcima nacrtane su onda i krivulje zavisnosti /T+S_e/ o debljini apsorbera d u linearnom mjerilu.

Sl. 4 Grafovi zavisnosti /T+S_e/ o debljini apsorbera d; gore u semilogaritamskom, dolje u linearnom mjerilu.

6. Mjerenja na fantomu po Aldersonu

Da bi se rezultati dosadašnjih naših istraživanja praktički provjerili, određivane su vrijednosti /T+S_e/ za nekoliko položaja na fantomu po Aldersonu. "Trup" tog fantoma postavljen je bio vertikalno na stolu za snimanje a snop rendgenskog zračenja usmjeren horizontalno. Prednja strana"trupa" bila je udaljena 40 cm od komore C_s postavljene neposredno iza dijafragme rendgenskog aparata. Druga komora C_d postavljana je sa stražnje strane "trupa", koliko je moguće blizu uz sam "trup". Ona je bila učvršćena na posebnom

stalku. Prvo je rendgenska cijev postavljana u odgovarajuću visinu, tako da snop pogađa određeno mjesto "trupa". Zatim je "trup" odmaknut a komora C_d smještana tako, da je snop pogađa centralno i okomito. Otvor snopa podešavan je tako, da na mjestu komore presjek snopa bude nešto manji od aktivne površine komore. Tada je "trup" oprezno stavljan pred komoru C_d, a da se komori pritom nije promijenio položaj. Mjerenja su izvodena uz visoki napon od 90 KV, i to samo u ventro-dorzalnom smjeru, a odnose se na slijedeća mjesta na fantomu:

1	Toraks - centralno /srce i kičma/	d = 22,0 cm
2	Toraks - postrano, 7 cm od medijalne ravnine /rebra i plućno tkivo/	d = 21,5 cm
3	Abdomen - centralno /meka tkiva i kičma/	d = 20,4 cm
4	Abdomen - postrano, 4 cm od medijalne ravnine /samo meka tkiva/	d = 20,4 cm
5	Abdomen - donji dio, postrano, 7 cm od medijalne ravnine /meka tkiva i zdjelica/	d = 21,0 cm

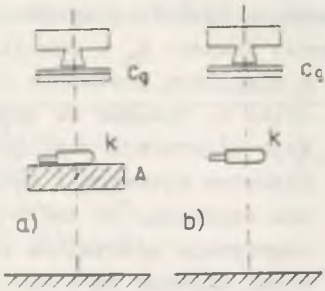
Na slici 4 su unesene odgovarajuće točke i naznačeni su brojevi mjesta mjerenja na "trupu" fantoma. Točke 1,4,5 dobro su prilagođene krivulji za vosak, točka 3 je nešto bliža krivulji za vodu, dok se točka 2 nalazi znatnije iznad krivulje za vosak, tj. slabija je apsorpcija. To je razumljivo, jer snop zračenja prolazi u tom slučaju kroz relativno debeo sloj zrakom ispunjenog plućnog tkiva.

7. Oredivanje udjela povratnog raspršnog zračenja

Budući da plošne komore ispravno registriraju energiju zračenja samo u jednom smjeru, a u obrnutom smjeru pokazuju znatno veće vrijednosti energije, to se njima ne može određivati faktor povratnog raspršnog zračenja S_b. Zato je taj faktor određivan običnim cilindričnim ionizacionim komorama. Upotrebljeni su dozimetri tvrtke "Philips", i to tri džepna dozimetra i dvije veće komore /Type 37485/00/ promjera 5 cm.

Uređaj za taj slučaj shematski je prikazan na slici 5. Uz stalan položaj komorice K, te uz jednaku ekspoziciju mjeri se:
a/ doza D_a, kad se apsorber A nalazi ispod komorice K, a zatim
b/ doza D_o, kad je apsorber uklonjen ispod komorice. Razlika $D_a - D_o$ daje udio povratnog raspršnog zračenja, a ta razlika u odnosu prema D_o daje faktor S_b

$$S_b = \frac{D_a - D_o}{D_o}$$

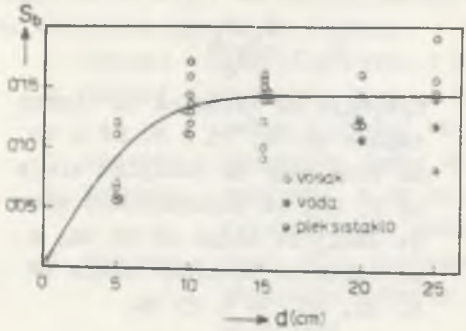


Sl. 5 Uređaj za određivanje faktora povratnog raspršnog zračenja S_b

Mjerenja su izvođena uz visoke napone od 60, 75 i 90 KV i to za vodu samo uz debljinu sloja od 25 cm, za pleksistaklo samo uz debljinu sloja od 20 cm, a za vosak uz debljine sloja od 5, 10, 15, 20 i 25 cm.

Kako su cilindrične komorice znatno osjetljivije od plošnih komora, nije se komorom C_6 moglo kontrolirati da li su ekspozicije jednake uz jednake uvjete eksponiranja. Morali smo predpostaviti da su jednake. Ta nemogućnost kontrole ekspozicije nekom referentnom komorom, svakako je jedan od razloga da određivane vrijednosti faktora S_b pokazuju znatnu disperziju. Drugi je razlog što i same komorice ne registriraju zračenje ujednačeno. Dvije ili tri komorice stavljene u jednak položaj prema snopu zračenja pokazuju u nekim slučajevima podjednaku dozu, a u drugim uz jednaku ekspoziciju neka od komorica registrira znatno različitu dozu.

Uzevši u obzir i više nizova mjerenja nije se ipak mogla konstatirati neka izrazita zavisnost faktora S_b o kilovoltima. U nekim slučajevima su za napon od 90 KV dobivene vrijednosti S_b manje od onih za 60 KV. Prema dosadašnjim našim istraživanjima možemo uzeti, da je za područje napona, koje se primjenjuje u rendgenološkoj dijagnostici, faktor povratnog raspršnog zračenja S_b neovisan o kvalitetu zračenja. Zavisnost faktora S_b o debljini d apsorbera prikazana je na slici 6. Unesene su točke koje odgovaraju različitim nizovima mjerenja i različitim naponima. Uz točke koje odgovaraju mjerenjima za vosak unesene su i one što odgovaraju za vodu i za pleksistaklo. Graf je povučen prema najboljem nahođenju dajući nekim mjerenjima nešto veću težinu. Kako se razabira iz grafa za debljine apsorbera veće od 15 cm može se uzeti konstantna vrijednost faktora S_b. To je baš područje debljina tijela koje dolazi u obzir pri radiološkim pregledima i za koje želimo određivati integralnu dozu.



Sl. 6 Zavisnost S_b o debljini apsorbera d

8. Određivanje faktora apsorpcije A

Da bi se mogao odrediti faktor apsorpcije A potrebno je odrediti udio prolaznog i raspršnog zračenja, tj. /T+S/. Pritom je

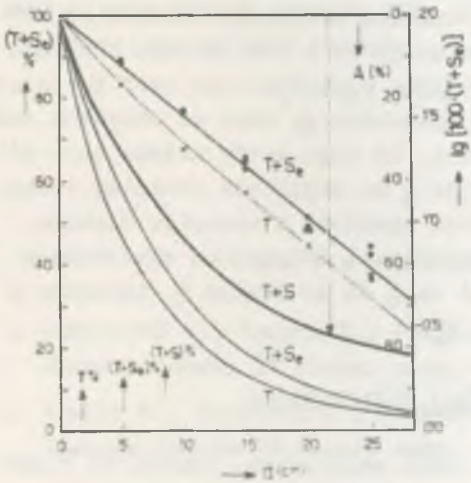
$$S = S_e + S_b$$

opisanim uređajem pomoću plošne komore može se direktno odrediti

/T+S_e/. K tomu treba dodati faktor povratnog raspršnog zračenja S_b, pa da se dobije /T+S/. Faktor apsorpcije je onda

$$A = 1 - /T+S/$$

Za vosak kao apsorber određivano je /T+S_e/ i T, a posebno S_b, sve u zavisnosti o debljini apsorbera. Na slici 7 je u prvom redu prikazana zavisnost T i /T+S_e/ o debljini apsorbera d u semilogaritamskom mjerilu. Za vrijednosti lg /100·/T+S_e/ / se može uzeti da je zavisnost linearna, tj. da /T+S_e/ opada po eksponencijalnoj funkciji. Vrijednosti lg /100·T/ opadaju isprva brže /za debljine apsorbera d < 15 cm/, a zatim se može uzeti da također opadaju linearno. Za faktor T je razumljivo da za malene debljine apsorbera brže opada a zatim sporije, jer se s povećanjem debljine apsorbera mijenja kvalitet zračenja, tj. postaje sve tvrđe.



Sl. 7 Grafovi zavisnosti T, /T+S_e/ i /T+S/ o debljini apsorbera d za vosak. Graf za /T+S/ ujedno je graf za A

U slučaju veličine /T+S_e/, može se linearno opadanje logaritma te veličine tumačiti tako, da je prvotno naglo opadanje faktora T kompenzirano naglim porastom faktora S_e.

Prema grafovima u semilogaritamskom mjerilu nacrtani su grafovi zavisnosti /T+S_e/ i T o debljini apsorbera u linearnom mjerilu. Konačno su ordinatama za /T+S_e/ dodavane odgovarajuće vrijednosti S_o prema grafu slike 6. Tako je dobiven graf zavisnosti /T+S/ o debljini apsorbera d.

Vrijednosti T, /T+S_e/ i /T+S/ izražene su kao procenti. Iz grafa se može očitati da za debljinu apsorbera od 25 cm cca 20% upadnog zračenja izlazi iz apsorbera što direktnim snopom, što u obliku izlaznog i povratnog raspršnog zračenja. Ostatak od 80% je dakle apsorbiran. Faktor apsorpcije je u tom slučaju A = 80%. Graf za /T+S/ nam, dakle, može ujedno poslužiti kao graf zavisnosti faktora apsorpcije A o debljini apsorbera d, samo sa obrnutom skalom, kako je to desno na slici označeno. Iz toga grafa možemo onda očitati vrijednost faktora apsorpcije A za različite debljine voska.

Poznavajući A za neki određeni apsorber i energiju upadnog snopa zračenja E_o lako možemo izračunati integralnu apsorbiranu dozu D_i. Treba samo E_o pomnožiti sa A da se dobije D_i izražena u jedinicama u kojima je izraženo E_o.

9. Primjena u radiološkoj dijagnostici

Koliko se iz naših mjerenja može zaključiti, fantom od voska može u dobroj mjeri poslužiti kao ekvivalent za ljudsko tijelo pri određivanju integralne doze. Prema tome se graf zavisnosti faktora apsorpcije A za vosak može primjeniti za određivanje integralne doze pri radiološkim pregledima. Pri tom je potrebno nekom plošnom ionizacionom komorom izmjeriti ukupnu energiju E_o upadnog snopa zračenja, izmjeriti debljinu tijela d na mjestu ozračivanja, te iz grafa odrediti odgovarajući faktor A.

Apsorbiranu energiju izračunamo jednostavno množeći E_o sa A. U našem slučaju energija upadnog snopa zračenja izražena je u mWs. Da se dobije integralna doza izražena u Rad kg potrebno je broj mWs pomnožiti još s pretvornim faktorom 0,1. Prema tome se intergalna doza računa po formuli

$$D_i = 0,1 \cdot A \cdot E_o \text{ /Rad kg/}$$

No ta formula vrijedi samo za slučaj snimanja. U slučaju dijaskopije potrebno je još uzeti u račun apsorpciju u ploči stola, koja iznosi okruglo 25%. Zbog toga za mjerenje pri dijaskopijama vrijedi formula

$$D_i = 0,1 \cdot 0,75 \cdot A \cdot E_o \text{ /Rad kg/.}$$

L i t e r a t u r a

1. Jakobović Z., Kempni K., Petrovčić F.
Zbornik radova IV Jugosl.simp. o radiol.zaštiti II

2. Kempni K., Planinić J., Jakobović Z., Petrovčić F.
Zbornik radova IV Jugosl.simp. o radiol. zaštiti II

Nr /3/03

SPECIFIČNA GAMA KONSTANTA I SPEKTAR GAMA ZRAČENJA Ir-192

M.M.Ninković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

1. Uvod

Iridijum-192 raspada se sa vremenom poluraspada od 74,2 d, beta raspadom u ^{192}Pt i elektronskim zahvatom u ^{192}Os. Zahvaljujući pogodnom vremenu poluraspada i energetskom spektru gama zračenja, našao je veoma široku primenu u raznim oblastima tehnike, medicine i nauke. Radioaktivni raspad ovog izotopa praćen je emisijom složenog spektra gama zračenja, u kome se pojavljuje oko 20 diskretnih linija u energetskom intervalu od 100 do 1100 KeV.

Specifična gama konstanta (Γ), ^{192}Ir, kao i drugih gama emitera u principu se može odrediti na dva načina: direktnim merenjima jonizacionim komorama sa zidovima od vazduhoekvivalentnog materijala, odnosno izračunavanjem iz podataka o spektru gama zračenja i odgovarajućih koeficijenata apsorpcije energije gama zračenja u vazduhu. Većina podataka o gama konstanti ^{192}Ir, koji se mogu naći u literaturi /1,2,3,4/, dobijeni su izračunavanjem. Medjutim, ovi podaci se, kao što se može videti u tabeli 1, medjusobno razlikuju i za 40%, uglavnom zbog nedovoljno tačnih podataka o prinosima gama linija u spektru koji su korišćeni u proračunu.

Tabela 1.

Vrednosti specifične gama konstante (Γ) ^{192}Ir koje daju razni autori, u /$Rm^2Ci^{-1}h^{-1}$/

NBS Handbook 78 /5/	H.Jofre /1/	N.G.Gusev /2/	W.Marth /3/	B.J.Wilson /4/
0,50*	0,472	0,465	0,686	0,48

*Eksperimentalni podatak

Spektar gama zračenja ^{192}Ir do sada je analiziralo niz autora/6-14/, korišćenjem raznih metoda i tehnika, kao što su: difrakcija na kristalima/6,7/, magnetni beta spektrometri preko interne i eksterne konverzije/8,9,10,11/, scintilacioni spektrometri/12/ i konačno poluprovodnički Ge(Li)/13,14/. Medjutim, publikovani podaci o prinosima gama linija u spektru ne pokazuju zadovoljavajuću saglasnost, kao što se može videti u tabeli 2, tako da mogu dovesti u nedoumicu korisnike. Nesaglasnost podataka prouzrokovana je uglavnom već dobro poznatim preimućstvima i nedostacima pomenutih metoda i tehnika merenja. Tako na primer, iako magnetni beta spektrometri imaju dobru rezoluciju, sa njima se ne može postići zadovoljavajuća tačnost pri odredjivanju intenziteta slabih gama prelaza, zbog preklapanja elektronskih linija koje nastaju iz bliskih ljuski i podljuski. Osnovni nedostatak scintilacionih spektrometara je loša rezolucija, itd.

Za razliku od pomenutih tipova spektrometara, poluprovodnički - Ge(Li), čija rezolucija već dostiže vrednosti manje od 2 KeV na energijama ^{60}Co, pružaju znatno povoljnije mogućnosti za detaljnije upoznavanje složenih gama spektara, što je i korišćeno u ovom radu.

2. Eksperimentalna tehnika

a) Ge(Li) - poluprovodnički monokristalni gama spektrometar

Osnovna komponenta ovog spektrometra je koaksijalni Ge(Li) - detektor proizveden u Institutu "Boris Kidrič" od monokristala firme "HOBOKEN". Karakteristike detektora su s[illegible]deče: debljina osetljivog sloja po radijusu - 7,7 mm, aksij[illegible] na dužina - 32,6 mm, i rezolucija oko 3,2 KeV na energijama [illegible]Co. Ostale komponente spektrometra sačinjavale su standardne [illegible]ektronske jedinice, proizvodnje firme "ORTEC" i višekanalni analizator tipa "NUCLEAR DATA".

b) Izvor i aranžman izvor-detektor

Izvor ^{192}Ir dobijen je katodnim raspršivanjem neaktivnog materijala na Al-foliju debljine 2 mg/cm^2, koja je zatim ozračivana u fluksu termalnih neutrona reda 10^{13} n/cm^2.sec. Iz ozračivanih uzoraka su potom isecani izvori za merenje veličine približno 2·1,5 mm i pričvršćivani na specijalni cilindrični nosač od pleksiglasa. Nosač izvora je tako konstruisan da je obezbedjivao maksimalnu reproduktivnost geometrije merenja.

c) Kalibracija prostorno-energetske efikasnosti detektora

Metoda koja je korišćena za kalibraciju prostorno-energetske efikasnosti detektora detaljno je prikazana u radovima /15,16/. Postupak kalibracije dalje je razradjen utoliko što je na osnovu eksperimentalno dobijenih diskretnih vrednosti, odredjena funkcija efikasnosti, fitovanjem eksperimentalnih podataka metodom najmanjih kvadrata na polinomijalnu funkciju oblika:

$$\ln\eta = \sum_{n=0}^{4} A_n \left(\frac{1}{E}\right)^n \qquad (1)$$

gde je: η - apsolutna prostorno-energetska efikasnost detektora

A_n - koeficijenti polinoma, i

E - energija gama zračenja (KeV).

Za detektor čije su karakteristike prethodno navedene dobijene su sledeće vrednosti koeficijenata A_n:

$$A_o = -1{,}0821\cdot 10^1 \quad /KeV^o/$$

$$A_1 = 1{,}5973\cdot 10^3 \quad /KeV^1/$$

$$A_2 = -2{,}2187\cdot 10^5 \quad /KeV^2/$$

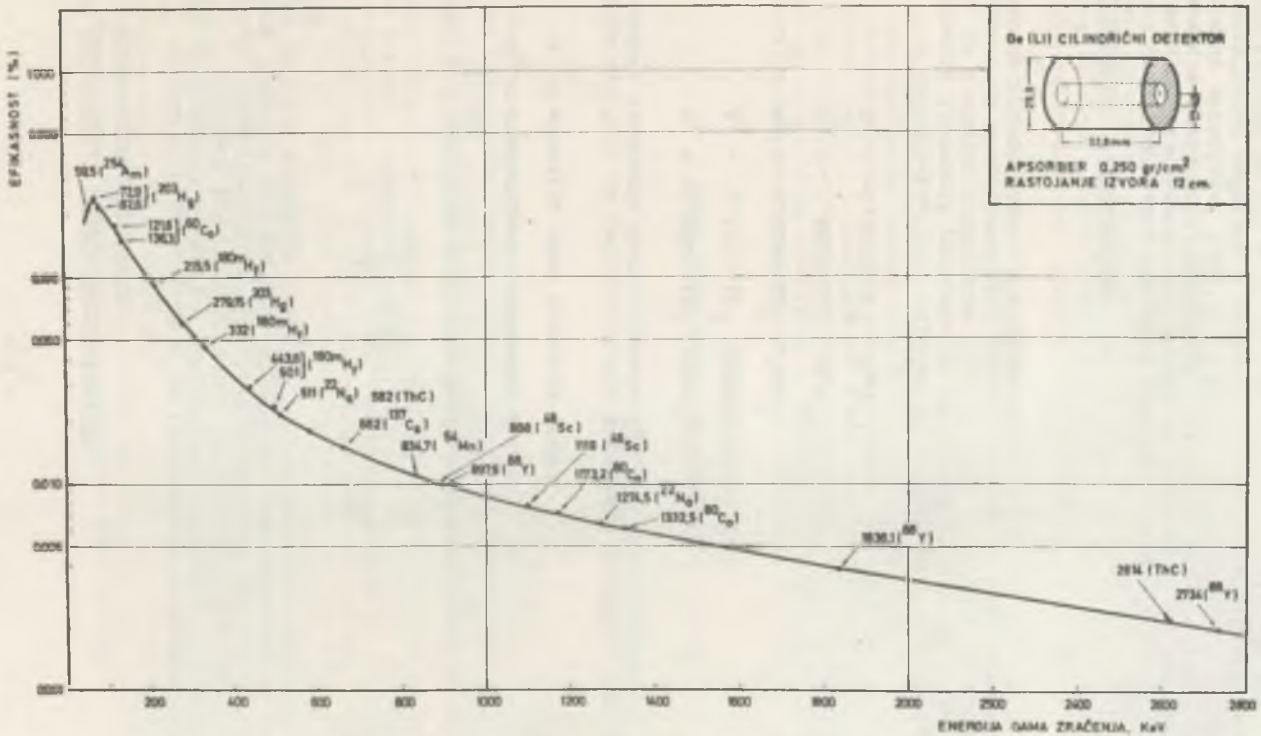
$$A_3 = 1{,}4017\cdot 10^7 \quad /KeV^3/$$

$$A_4 = -3{,}2650\cdot 10^8 \quad /KeV^4/$$

U energetskom intervalu od 50 do 2000 KeV, maksimalno odstupanje fitovanih podataka od eksperimentalnih manje je od 0,2%, sa srednjom kvadratnom greškom fita od 0,06%. Na slici 1, prikazani su eksperimentalni podaci zajedno sa puno izvučenom fitovanom krivom funkcije efikasnosti.

3. Intenziteti gama linija

Eksperimentalno dobijeni spektar gama zračenja ^{192}Ir prikazan je na slikama 2-5. Ukupno je izvršeno nekoliko serija snimanja u različitim vremenskim periodima, koje su zatim sve kompletno obradjene. Tako je za svaku liniju dobijeno najmanje 3-5 nezavisnih podataka o prinosu. Reproducibilnost ovih podataka kretala se oko $\pm$ 1% za intenzivnije linije, do oko



SL. 1. APSOLUTNA PROSTORNO-ENERGETSKA EFIKASNOST Ge(Li) DETEKTORA

± 3% - ± 5% za linije čiji su prinosi manji za oko hiljadu puta od najintenzivnije linije u spektru (316,5 KeV). Pored izračunavanja prinosa za svaku liniju odredjena je i apsolutna greška. Pri izračunavanju grešaka uzete su u obzir statističke greške, koje su se kretale oko ± 1%, zatim greške koje unosi kriva energetske efikasnosti detektora, a kretale su se u granicama od 3 do 6%, i konačno greška normalizacije na najintenzivniju liniju u spektru. Ovako dobijeni podaci o relativnim prinosima navedeni su u tabeli 2, zajedno sa najkompletnijim i najpouzdanijim podacima drugih autora, koji su do sada štampani. Kako se može videti, naši podaci su uglavnom saglasni sa podacima Lindstroem-a i dr./7/ i Schellenberg-a i dr. /11/. Podaci koji su dati u referencama /6,9,10/ nešto su starijeg datuma. Rezultati koje daju Polaska i dr./13/ sistematski odstupaju od naših na stranu nižih vrednosti, što je posledica verovatno lošijeg kvaliteta poluprovodničkih detektora koji su autori koristili pre oko 4 godine kada su se bavili ovim problemom.

Većina autora ne navodi da su u spektru ^{192}Ir našli liniju od 785 KeV, koja se u našim spektrima, kako se može videti na slikama 4 i 5, jasno ističe. Prinos koji smo dobili za ovu liniju od 0,054 ± 0,007, saglasan je sa vrednošću koju daju Bagerly i dr./6/.

4. Specifična gama konstanta i diskusija rezultata

Na osnovu definicije specifične gama konstante (Γ), kao ekspozicione doze na rastojanju 1 m od tačkastog izvora aktivnosti 1 Ci/17/, sledi relacija iz koje se izračunava ova veličina:

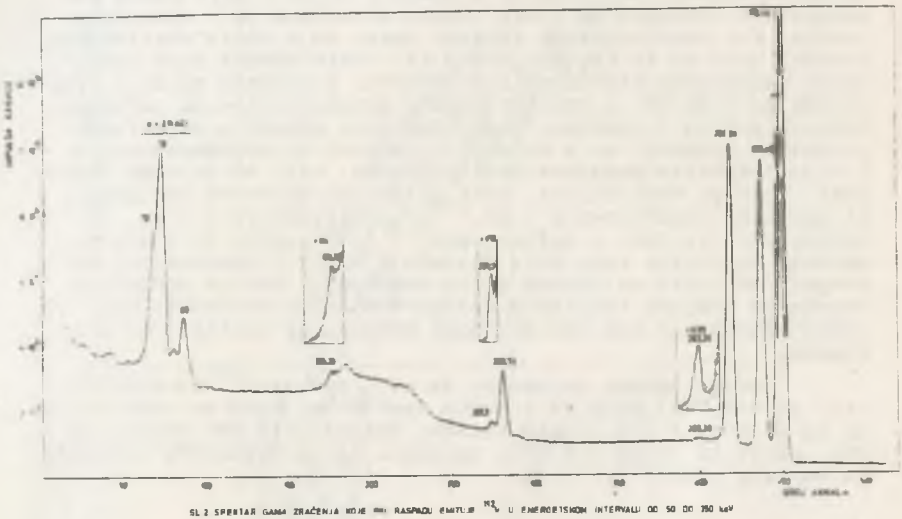
$$\Gamma = 19{,}53 \sum_i p_i (h\nu)_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i \left(\frac{R\ m^2}{C_i h}\right) \qquad (2)$$

gde je:

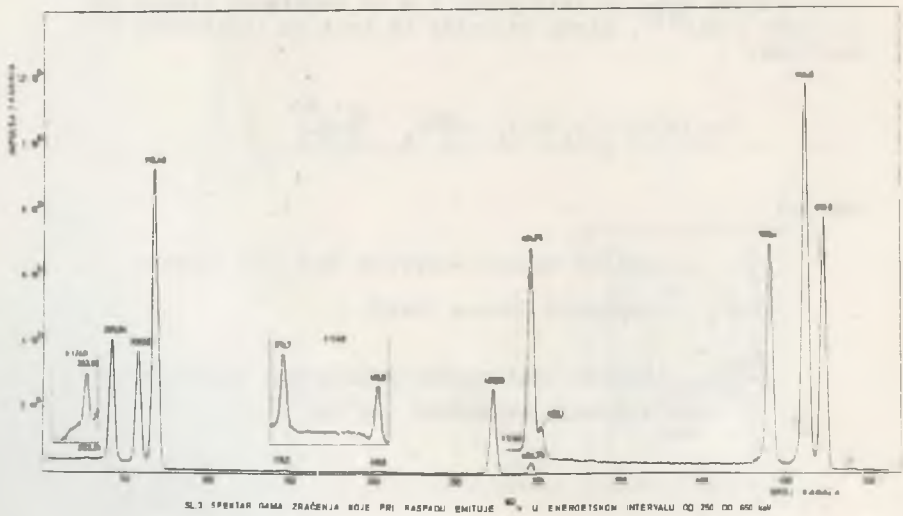
p_i - prinos fotona energije $(h\nu)_i$ po raspadu

$(h\nu)_i$ - energija fotona /MeV/, i

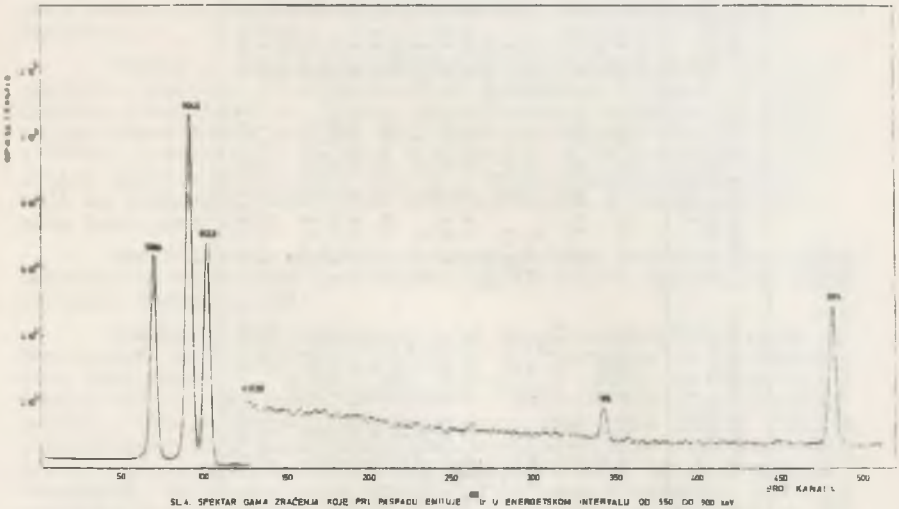
$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i$ - maseni koeficijent apsorpcije energije gama zračenja za vazduh ($cm^2 \cdot gr^{-1}$).



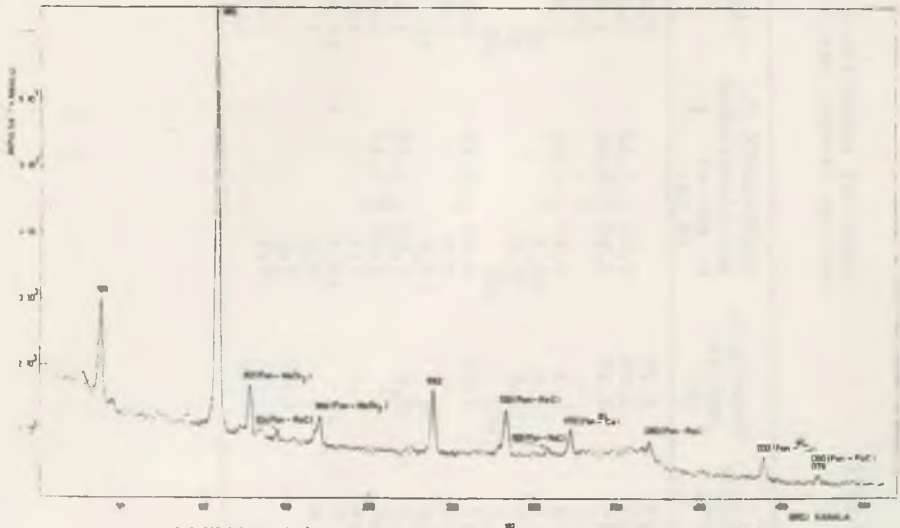
SL 2 SPEKTAR GAMA ZRAČENJA KOJE PRI RASPADU EMITUJE ^{153}Sm U ENERGETSKOM INTERVALU OD 50 DO 350 keV



SL 3 SPEKTAR GAMA ZRAČENJA KOJE PRI RASPADU EMITUJE ^{153}Sm U ENERGETSKOM INTERVALU OD 350 DO 650 keV



SL.4. SPEKTAR GAMA ZRAČENJA KOJE PRI RASPADU EMITUJE ^{192}Ir U ENERGETSKOM INTERVALU OD 150 DO 900 keV



SL.5 SPEKTAR GAMA ZRAČENJA KOJE PRI RASPADU EMITUJE ^{192}Ir U ENERGETSKOM INTERVALU OD 750 DO 900 keV
U OVOM DELU SPEKTRA ISTIČU SE I LINIJE FONA KOJE POTIČU IZ RaC, MeTh$_2$ i ^{63}Cu

Tabela 2. Relativni intenziteti gama linija koje pri raspadu emituje Ir-192, dati od strane raznih autora i naši

Energija (KeV)	Bagerly L. and al. /6/	Mladjenović M. and.al;Marinkov L. and al. /9,10/	Lindstroem L. and al. /7/	Schellenberg and al. /11/	Polaska J.T. and al. /13/	Naši rezultati
136,3	3,38	-	0,27 ± 0,05	-	-	0,17 ± 0,05
201,3	1,04	0,82 ± 0,16	0,56 ± 0,06	0,58 ± 0,07	4,73 ± 0,07	0,40 ± 0,08
205,8	4,55	3,94 ± 0,60	3,8	4,0 ± 0,5		4,25 ± 0,41
281,5	-	-	0,1	0,15	0,33 ± 0,02	0,32 ± 0,04
283,4	1,3	0,27 ± 0,05	0,4 ± 0,2	0,44 ± 0,05		
295,9	33,8	35,4	36 ± 2	34,6 ± 1,5	31,9 ± 0,3	34,7 ± 3,2
308,4	36,6	36,6	37 ± 2	37,6 ± 1,5	35,5 ± 0,3	37,9 ± 3,4
316,5	100	100	100	100	100	100,0 ± 6,0
374,7	0,65	0,84 ± 0,15	0,6 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,74 ± 0,02	0,82 ± 0,07
416,6	-	3,8	0,3	0,93 ± 0,2	0,91 ± 0,02	0,74 ± 0,07
468,0	74	63,9	60 ± 4	61,9 ± 3	57,7 ± 0,1	59,1 ± 5,4
484,8	6,8	3,68 ± 0,55	4,0 ± 0,4	4,15 ± 0,2	4,25 ± 0,02	4,0 ± 0,4
489,1	-	0,49 ± 0,10	0,4 ± 0,2	0,66 ± 0,1		0,45 ± 0,05
588,4	8,3	7,3	4,9 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,34 ± 0,03	5,9 ± 0,5
604,5	13	12,4	10,5 ± 0,7	11,1 ± 0,7	9,70 ± 0,04	10,6 ± 0,9
612,9	10	8,2	7 ± 0,5	7,2 ± 0,5	5,84 ± 0,03	6,8 ± 0,6
785	0,06	0,1	-	-	-	0,07 ± 0,01
885	1,18	0,5	0,7 ± 0,4	0,43 ± 0,05	0,33 ± 0,01	0,37 ± 0,03
1062	0,19	-	0,05 ± 0,03	0,082 ± 0,007	0,054 ± 0,004	0,07 ± 0,01

U tabeli 3, date su po formuli (2) izračunate vrednosti parcijalnih, arbiterno odabranih grupnih i totalne specifične gama konstante, zajedno sa podacima koji su korišćeni pri izračunavanju.

Podaci o apsolutnim prinosima diskretnih gama linija po raspadu, dobijeni su iz relativnih navedenih u tabeli 2, preko faktora normalizacije. Faktor normalizacije odredjen je sumiranjem intenziteta prelaza koji vode na osnovna stanja ^{192}Pt i ^{192}Os. Intenziteti prelaza izračunati su iz relativnih intenziteta odgovarajućih gama linija i koeficijenata konverzije, koji su odredjeni numeričkom interpolacijom u Hager-Seltzerovim tablicama/18/.

Koeficijenti apsorpcije energije gama zračenja za vazduh dobijeni su grafičkom interpolacijom na osnovu najnovijih literaturnih podataka /19/.

Vrednost, koju smo dobili za totalnu specifičnu gama konstantu, od 0,468±0,034 /$Rm^2Ci^{-1}h^{-1}$/, saglasna je sa podatkom koji daje Gusev/2/, a koji smo citirali u tabeli 1. Podatku Gusava može se medjutim, prigovoriti utoliko što nije navedena greška i što su u proračunu zanemarene neke gama linije (manjih intenziteta) čije parcijalne gama konstante ipak nisu zanemarljive u granicama navedene numeričke vrednosti totalne gama konstante. Na osnovu naše vrednosti za gama konstantu, kao i podataka drugih autora datih u tabeli 1, može se zaključiti da je vrednost od 0,686/$Rm^2Ci^{-1}h^{-1}$/ koju daje W.Marth/3/ sigurno pogrešna iako je to jedan od novijih literaturnih podataka.

Tabela 3. Podaci za proračun i izračunate vrednosti parcijalnih, grupnih i totalne specifične gama konstante Ir-192

Grupa linija	Energija (MeV)	Prinos po raspadu /%/	Maseni koeficijent apsorpcije energije za vazduh (cm^2/gr) /19/	Specifična gama konstanta ($Rh^{-1}Ci^{-1}m^2$)x10	Doprinos tot. specifične gama konstante /%/
I	0,1363	0,14 ± 0,04	0,0244	0,001 ± 0,0003	0,02
	0,2013	0,33 ± 0,07	0.0269	0,003 ± 0,0006	0,06
	0,2058	3,50 ± 0,40	0,0270	0,038 ± 0,0044	0,81
	0,2815 0,2834	0,26 ± 0,04	0,0285	0,004 ± 0,0006	0,09
				0,046 ± 0,004	0,98
II	0,2959	28,6 ± 3,2	0,0287	0,474 ± 0,053	10,13
	0,3084	31,3 ± 3,5	0,0289	0,545 ± 0,061	11,65
	0,3165	82,4 ± 7,3	0,0290	1,477 ± 0,131	31,57
	0,3747	0,68 ± 0,07	0,0294	0,014 ± 0,001	0,30
	0,4166	0,61 ± 0,07	0,0295	0,015 ± 0,002	0,32
	0,4680	48,7 ± 5,5	0,0297	1,322 ± 0,149	28,26
	0,4848	3,31 ± 0,36	0,0297	0,093 ± 0,010	1,99
	0,4891	0,37 ± 0,04	0,0297	0,010 ± 0,001	0,21
	0,5884	4,86 ± 0,51	0,0296	0,159 ± 0,017	3,40
	0,6044	8,77 ± 0,93	0,0295	0,306 ± 0,033	6,54
	0,6129	5,57 ± 0,60	0,0295	0,197 ± 0,021	4,21
				4,612 ± 0,219	98,58
III	0,785	0,054 ± 0,007	0,0289	0,002 ± 0,0003	0,04
	0,885	0,30 ± o,03	0,0285	0,015 ± 0,002	0,32
	1,062	0,057 ± 0,00	0,0276	0,003 ± 0,0004	0,06
				0,020 ± 0,002	0,43
		Totalna gama konstanta		4,68 ± 0,34	100,0

Literatura

1. H.Joffre, Les problemes physiques de la Protection. Presses universitaires, Paris, (1963).

2. N.G.Gusev, V.P.Maškovič, B.V.Verbickij, Radioaktivnie izotopi kak gamma-izlučetali, Atomizdat, Moskva, (1964).

3. W.Marth, Atompraxis, 12, 8 (1966).

4. B.J.Wilson (Ed.) The Radiochemical Manual, Second Edition, The Radioshemical centre, Amarsham (1966), p. 228.

5. National Bureau of Standards, Handbook 78, January,(1961).

6. L.L.Bagerly, P.Marmier, F.Bohm, J.W.M.Du Mond, Phys, Rev., 100, 1364 (1955).

7. B.Lindstroem and I.Marklund, Nucl. Phys., 49, 609 (1963).

8. N.Johns, S.Nablo, Phys., Rev. 96, 1599 (1954).

9. M.Mladjenović, T.Novakov, M.Župančić, Bull. of the Inst of Nucl. Sci. "Boris Kidrič", 10, 7, (1960).

10. L.G.Marinkov and M.T.Župančić, Bull. of the Inst. of Nucle. Sci. "Boris Kidrič", 10, 7, (1962).

11. L.Schellenberg and J.Kern, Helv. Phys., Acta 39, 397 (1966).

12. R.W.Pringle, W.Turchinetz and H.W.Taylor, Phys., Rev. 95, 115, (1954).

13. T.J.Palaska, V.R.Potnis, C.E.Manderille, Nucl.Phys. 95, 673, (1967).

14. L.Schellenberg, O.Huber, P.Siffert, J.M.Kichly, Helv.Phys. Acta, 40, 639 (1967).

15. M.Ninković, Zbornik radova sa IV jug.simp.o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, maja 1969., knjiga II, str. 470.

16. M.Ninković, M.Mladjenović, biće publikovano

17. "Radiation Quantities and Units", ICRU Rept. 10a, publiched as Natl. Bur, Std. (U.S.), Handbook 84, (1962).

18. R.S.Hager and E.C.Seltzer, Nuclear Data, A4, 1-235 (1968).

19. J.H.Hubbell, NSRDS - NBS 29, (August 1969).

Nr/3/04

APSOLUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI ELEKTRON ZAHVATNOG IZOTOPA Mn-54 KOINCIDENTNOM METODOM

Dobrilović Lj., Bek-Uzarov Dj., Burđei K., Račić I., Milojević A.

APSOLUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI ELEKTRON ZAHVATNOG IZOTOPA ^{54}Mn KOINCIDENTNOM METODOM

Lj.Dobrilović, Dj. Bek-Uzarov, K. Burael, I.Račić
A. Milojević

^{54}Mn je izotop koji se raspada 100% elektronskim zahvatom i čiji prelaz u osnovno stanje ^{54}Cr je praćeno 100% emisijom gama zračenja od 835 keV. Pri raspadu ^{54}Mn emituje se karakteristično KX zračenje ^{54}Cr energija $K_{\alpha 1}$ = 5,41 keV, $K_{\alpha 2}$ = 5,41 keV, $K_{\beta 1}$ = 6,0 keV /1/ kao i KAuger elektroni.

Ovakva šema raspada dopušta da se primene razne metode merenja radioaktivnosti, a tipičan je primer za upotrebu koincidentne metode merenja, kod koje se može vršiti koincidentno merenje gama zračenja sa: KX+KAuger elektronima, KX zračenjem i KAuger elektronima.

U ovom radu želelo se da se odrede optimalni uslovi za apsolutno merenje radioaktivnosti ^{54}Mn koincidentnom metodom u zavisnosti da li se vrši merenje koincidentnog gama zračenja sa: KX+KAuger, KAuger ili KX zračenjem, kao i tačnost koja se može postići pri merenju specifične aktivnosti radioaktivnog rastvora ^{54}Mn.

Odredjivanje optimalnih uslova za apsolutno merenje radioaktivnosti ^{54}Mn koincidentnom metodom

Da bi se rešio ovaj problem vršeno je odredjivanje apsolutne aktivnosti jednog etalonog izvora[1)] BIPM ^{54}Mn preko tri

---

[1)] BIPM - Bureau International des poids et mesures

nezavisna $4\pi(A)-\gamma$, $4\pi(X,A)-\gamma$ i $4\pi(X)-\gamma$ koincidentna merenja na aparaturi BGK-4 /2/. Etaloni izvor BIPME$_5$ ^{54}Mn prepariran je elektrolitičkom metodom na pozlaćenoj VYNCE foliji i bio je homogen i tanak (debljine 10 μgr/cm^2) što je omogućavalo da se dobije relativno velika efikasnost za KAuger elektrone i KX zračenje ^{54}Mn.

Uslovi za gama granu postavljeni su tako da se detektovalo sa kristalom NaJ(Tl) samo gama zračenje koje odgovara foto piku ^{54}Mn od 835 keV, što je dalo efikasnost na gama zračenje ε_γ = 6%. KX+Auger elektroni detektovani su u 4π proporcionalnom brojaču sa gasnom smešom Ar+CH_4 (9:1) na pritisku 2,6 atm. Efikasnost ovoga brojača na gama zračenje ^{54}Mn $\varepsilon(X,A)_\gamma$, kao i efikasnost na lažne koincidencije odredjeno je metodom opisanom u radu /2/ i nadjeno je da za date eksperimentalne uslove iznose $\varepsilon(X,A)_\gamma$ = (0,41±0,03)% i ε_c = (0,0016±0,0005)%.

Auger elektroni mereni su istim 4π brojačem samo što se kao radni gas koristio He + C_2H_{10} (9,85 : 0,15) na pritisku 1 atm. Efikasnost detekcije 4π brojača za X i gama zračenja, kao i za lažne koincidencije, $\varepsilon_{(A)X,\gamma}$ i ε_c, pri uslovima merenja KAuger elektrona iznosi (2,84±0,084)% i (0,0016±0,0005)% respektivno.

U ovom eksperimentu izvor je bio pokriven apsorberima (pozlaćenim VINCE folijama) koje su totalno apsorbovale KAuger elektrone.

Samo KX zračenje ^{54}Mn mereno je pod istim uslovima kao i KX+KAuger, s tim što su KAuger elektroni bili totalno apsorbovani. Vrednosti za $\varepsilon_{(X)\gamma}$ i ε_c su iste kao i u slučaju detekcije KX+KAuger zračenja.

Podaci za izračunavanje apsolutne aktivnosti izvora

R_S sa korekcionim faktorima, definisanih u /2,3,4/, a dobijeni za tri načina merenja $^{54}MnE_5$BIPM prikazani su u tabeli I. Statistička greška r_M, sistematske greške pojedinih faktora i ukupne sistematske greške date su u tabeli II.

Korekcije za R_S koje unose ovi faktori za sva tri načina merenja su ispod 1% izuzev kod korekcionog faktora Ke koji je u direktnoj zavisnosti sa efikasnošću detekcije zračenja u 4π brojaču. Kada se detektuje zračenje KX+KAuger u proporcionalnom brojaču, gde je $\varepsilon_{X,A}$ = 55,81%, korekcija usled Ke je ispod 1%, dok u slučaju detekcije samo Auger elektrona, gde je ε_A niže, ε_A = 36,49%, a korekcija za $(\varepsilon_A)_{X,\gamma}$ veća, korekcija u R_S usled Ke dostiže vrednost 4%. Ovde se ne uzima u razmatranje korekcija za raspad koja nije funkcija metode odnosno aparature. Odavde se može zaključiti da veličina R_S uglavnom zavisi od vrednosti M ne uzimajući u obzir, kao što je rečeno, faktor za raspad.

Analizirajući statističke greške r_M računata kao r_M' /3/, vidi se da u slučaju $4\pi A-\gamma$ merenja one su najveće i iznose o,31%, dok kod $4\pi X-\gamma$ merenja one su najmanja i iznose 0,06%. Ovo je i razumljivo ako se ima u vidu da je stabilnost rada 4 proporcionalnog brojača punjenog sa He + C_4H_{10} najslabija, pošto faktor unutrašnjeg pojačanja jako zavisi od promene visokog napona i promene pritiska gasa u brojaču koji je opet zavistan od malih temperaturnih promena. Manja statistička greška kod $4\pi X-\gamma$ merenja (r_M = 0,06%) nego li kod 4 (A,X)$-\gamma$ (r_M = 0,13%), koja može da bude i niža, mogla bi se možda objasniti time da 4π brojač u prvom slučaju radi stabilnije jer je izvor sa obe strane provodan i nema prekida polja po površini izvora.

VINCE smole metalizovane sa obe strane slojem zlata. Ukupna debljina metalizovanih folija kretala se od 20-30 $\mu gr/cm^2$.

Pre nakapavanja rastvora iz pipete na podlogu, podloga je tretirana insulinom 40 IU koji je pored odlika kvasećeg sredstva poslužio za dobro definisanje površine izvora. Izvori su neposredno posle pripremanja sušeni na sobnoj temperaturi.

Aktivnost ovako dobijenih izvora merena je na BGK-4 /2/ preko $4\pi(A,X)-\gamma$ koincidentnih merenja.

Svi korekcioni faktori kao i ostali potrebni podaci za izračunavanje apsolutne aktivnosti pojedinačnih izvora - R_{di} /3,4/ prepariranih od osnovnog i razblaženog rastvora su u tabeli III.

Statističke relativne i apsolutne greške, $r_M(\%)$ i $\sigma_{di}(S^{-1}mg^{-1})$, za merenje izvora date su u tabeli IV, a sistematske greške za sve korekcione faktore, kao i ukupna greška za pojedine izvore, navedene su u tabeli V.

Tabela VI prikazuje specifičnu aktivnost rastvora dobijenu preko vrednosti za pojedine izvore R_{di} za osnovni rastvor Q_{SdO}, razblaženi rastvor Q_{SdR}, kao i konačnu vrednost specifične aktivnosti Q_S dobijene na način opisan u /3/ upustvima BHPM.

Kod merenja pojedinačnih izvora prepariranih, bilo od osnovnog bilo od razblaženog rastvora, gama efikasnost - ε_γ kretala se od 6,68% do 7,15%, a ukupna brojačka efikasnost na detekciju KX+Auger zračenja od ε_{XA} 31,53% do 40,53%. Ovo ukazuje da je stabilnost gama grane bila zadovoljavajuća. Prilično ujednačene vrednosti za ε_{XA} pokazuju da upotrebljena metoda preparacije izvora, korišćenjem insulina kao kvasećeg sredstva i sporim sušenjem na sobnoj temperaturi, daje homogene radioaktivne izvore.

Statističko rasturanje rezultata od prosečno 15 nezavisnih merenja pojedinačnih izvora od srednje vrednosti M za osnovni rastvor iznosi maksimalno do 0,05%, a za razblaženi rastvor maksimalno do 0,14% (tabela IV). Statističke greške za seriju izvora napravljenih od osnovnog i razblaženog rastvora iznose 0,59% i 0,46% respektivno.

U statističkim greškama za pojedinačne izvore ogleda se stabilnost rada aparature, dok statistička greška za seriju izvora uključuje u sebi pored stabilnosti rada aparature i greške nastale pri preparaciji izvora. Stoga je razumljivo da je napr. za osnovni rastvor r_M = 0,05%, a σ_{SdO} = 0,59%. Ovo je takodje i uslovljeno malim brojem izvora u seriji.

Analizirajući sistematske greške u odredjivanju pojedinačnih korekcionih faktora može se zaključiti da najveća sistematska greška potiče od odmeravanja mase radioaktivnog rastvora r_m koja samim tim najviše doprinosi ukupnoj sistematskoj greški pojedinačnih izvora r_{RdiT}.

Logično je da je r_M za seriju izvora osnovnog rastvora veće nego li za seriju izvora razblaženog rastvora pošto se u prvom slučaju radilo o merenju manjih masa.

Iz tabele Vi vidi se da je specifična aktivnost rastvora ^{54}Mn odredjena u ovom radu sa statističkom greškom 0,16%, a ukupnom greškom Δ = 0,65%, dobijenom kombinacijom statističke i sistematske greške na način predložen od Weiss-a ($\Delta = r_{sT} + 3\sigma$),/5/.

Analizirajući dobijene rezultate za specifičnu aktivnost rastvora ^{54}Mn u LMR - Saclay i OMRI - IBK može se konstatovati da se dobro slažu i da odstupanje rezultata OMRI-IBK u odnosu na dobijene u LMR - Saclay iznosi 0,21%.

TABELA I.

Podaci za izračunavanje Rs izvora BIPM E_5 ^{54}Mn

Metoda	M	Kr	1+Ke	D	λ	Rs (s^{-1})
A - γ	983643	1,00381	1,04127	1,00028	4,9132	4657,68
A,X-γ	996523	1,00350	1,00859	1,00043	4,7604	4756,16
X-γ	988284	1,00410	1,034529	1,00019	4,9301	4728,14

TABELA II.

Statističke greške

Metoda	$r_{M(\%)}$	$\sigma(s^{-1})$
A - γ	0,31	14,44
A,X - γ	0,13	6,18
X - γ	0,06	2,84

Sistematske greške

Metoda	$r_{Kr(\%)}$	$r_{Ke(\%)}$	$r_{D(\%)}$	$r_{t(\%)}$	$r_{s(\%)}$	$r_{\lambda(\%)}$	$r_{sT(\%)}$
A - γ	0,0053	0,404	0,0012		0,404	0,99	1,08
A,X - γ	0,0047	0,034	0,0018		0,034	0,99	0,99
X - γ	0,0058	0,135	0,00077		0,135	0,99	1,00

TABELA III.

Podaci za izračunavanje R_{di} izvora ^{54}Mn

a. Osnovni rastvor

Oznaka izvora	Kr	1 + Ke	D	λ	m(mg)	M	R_{di} ($s^{-1}mg^{-1}$)
OR/1	1,01647	1,00224	1,00181	2,37711	9,092	5270590	1395,116
OR/2	1,01396	1,00777	1,00113	2,38766	7,284	4145009	1365,474
OR/3	1,01341	1,00108	1,00132	2,40357	7,253	4097560	1375,831

b. Razblaženi rastvor

Oznaka izvora	Kr	1 + Ke	D	λ	m(mg)	M	R_{di} ($s^{-1}mg^{-1}$)
RR/1	1,00880	1,00631	1,00074	2,40890	30,342	2320487	1374,709
RR/2	1,01003	1,00597	1,00101	2,43033	36,915	2842416	1398,191
RR/3	1,01093	1,00709	1,00088	2,41424	39,134	3006820	1385,817
RR/4	1,00603	1,00569	1,00053	2,44653	18,416	1424975	1410,019
RR/5	1,00969	1,00823	1,00078	2,52357	35,034	2625949	1409,958

TABELA VI.

Specifična aktivnost rastvora ^{54}Mn

a) Osnovni rastvor

Oznaka izvora	R_{di} $(s^{-1}mg^{-1})$	σ_{di} $(s^{-1}mg^{-1})$	P_{di} $(s^{2}mg^{2})$
OR/1	1395,116	0,698	2,031
OR/2	1365,474	0,451	4,925
OR/3	1375,831	9,647	2,443

$Q_{sd_o} \pm \sigma_{sd_o} = (1374,852 \pm 8,217)\ s^{-1}mg^{-1}$

b) Razblaženi rastvor

Oznaka izvora	R_{di} $(s^{-1}mg^{-1})$	σ_{di} $(s^{-1}mg^{-1})$	P_{di} $(s^{2}mg^{2})$
RR/1	1374,709	0,240	17,374
RR/2	1398,191	0,238	17,598
RR/3	1385,817	0,141	50,554
RR/4	1410,019	0,157	40,513
RR/5	1409,958	0,265	14,241

$Q_{sd_R} \pm \sigma_{sd_R} = (1395,438 \pm 6,525)\ s^{-1}mg^{-1}$

c) Konačna vrednost specifične aktivnosti rastvora ^{54}Mn

Laboratorija	Q_S $(s^{-1}mg^{-1})$	Δ $(s^{-1}mg^{-1})$
OMRI IBK	1387,491	9,018
LMR SACLAY	1384,540	13,845

L I T E R A T U R A

1. Table of Isotopes
   (Sixth Edition)
   C.M. Lederer; J.M. Hollander, I. Perlman

2. Dj. Bek-Uzarov, Lj. Dobrilović, K. Buraei
   Apsolutno merenje izotopa koji se raspadaju elektronskim zahvatom
   Zbornik radova III Jug. Simp. radiološke zaštite:
   "Merenje i instrumentacija u radiološkoj zaštiti",
   Banjaluka, 1967.

3. A. Rytz:
   Cirkularno pismo BIPM laboratorijama učesnicima Međunarodne interkomparacije rastvora ^{60}Co, maja 1967.

4. A. Rytz; CCEMRI 5^{e} session p. 67 (1964)

5. M. Weiss; Compte rendu de la Comparaison internationale d'une solution de ^{54}Mn 1965 - BIPM (1968).

Nr / 3 / 05

APSOLUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI Zn-65

KOINCIDENTNOM METODOM

Dobrilović Lj., Tasić R., Buraei K., Bek-Uzarov Dj.

APSOLUTNO MERENJE RADIOAKTIVNOSTI ^{65}Zn KOINCIDENTNOM METODOM

Lj.Dobrilović, R.Tasić, K.Buraei, Dj.Bek-Dzarov
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

^{65}Zn spada u grupu izotopa koji su interesantni za proučavanje u metrologiji radioaktivnih izotopa, nuklearnoj i atomskoj fizici. Ovaj izotop ima složenu šemu raspada sl. 1. /1/ tako da u osnovno stanje ^{65}Cu prelazi 98% elektronskim zahvatom, a 49% praćena je γ zračenjem od 1115 keV i 1,7% β^+ zračenjem od 325 keV.

Kao posledica elektronskog zahvata ^{65}Zn emituje se karakteristično KX zračenje Cu energije $K_{\alpha 1}$= 8,05 keV, $K_{\alpha 2}$ = 8,03 keV i $K_{\beta 1}$ = 8,9 keV /1/ kao i KAuger elektroni Cu.

Za merenje radioaktivnosti ^{65}Zn mogu se primeniti niz metoda, od kojih koincidentna metoda daje najbolje rezultate /2/. Broj raspada izvora ^{65}Zn odredjen koincidentnom metodom predstavlja broj raspada koji potiču od elektronskog zahvata ($N_{E.C.}$) dok ukupan broj raspada ^{65}Zn proporcionalan je ovoj veličini, a faktor proporcionalnosti zavisan od odnosa β^+ i elektronskog zahvata. Iz ovoga se vidi da tačnost u odredjivanju apsolutne aktivnosti zavisi od tačnosti u odredjivanju $N_{E.C.}$ i odnosa β^+/E.C.

Za odredjivanje N_{EC} KX,A-γ koincidentnom metodom /3/ pored potrebnih korekcija za osnovnu aktivnost, vreme razlaganja koincidencije, mrtvog vremena X,γ i koincidentne grane, radio-

aktivnog raspada, potrebno je odrediti i kompleksnu veličinu K_e zavisnu od šeme raspada i korišćene aparature. Tako za ^{65}Zn $K_e = f(\varepsilon_{X,A}, \varepsilon_\gamma, \varepsilon_c, \varepsilon_{(X,A)\gamma}, \varepsilon_{(X,A)\beta^+}, \varepsilon_{(\gamma)X,A}, \varepsilon_{(\gamma)\beta^+})$ gde je $\varepsilon_{X,A}$ efikasnost detekcije KX,A zračenja u X,A detektoru, ε_γ efikasnost detekcije γ zračenja u gama detektoru, ε_c efikasnost za lažne koincidencije, $\varepsilon_{(X,A)\gamma}$ efikasnost detekcije γ zračenja u X,A detektoru, $\varepsilon_{(X,A)\beta^+}$ efikasnost X,A detektora na pozitronsko zračenje, $\varepsilon_{(\gamma)X,A}$ efikasnost gama detektora na X,A zračenje i $\varepsilon_{(\gamma)\beta^+}$ efikasnost gama detektora na pozitronsko zračenje.

Pri merenjima radioaktivnosti koincidentnom metodom teži se da se izborom detektora, odredjivanjem uslova merenja i metode preparacije izvora postignu što veće vrednosti za $\varepsilon_{X,A}$ i ε_γ a ε_c, $\varepsilon_{(X,A)\gamma}$, $\varepsilon_{(X,A)\beta^+}$, $\varepsilon_{(\gamma)X,A}$, $\varepsilon_{(\gamma)\beta^+}$ smanje, tako da se u pojedinim slučajevima mogu i zanemariti, čime se direktno smanjuje vrednost korekcionog faktora K_e i povećava tačnost merenja.

U ovom radu za merenje ^{65}Zn korišćena je koincidentna aparatura BGK-4 /3/ gde je detektor X,A zračenja bio 4π proporcionalni brojač sa gasnim punjenjem $Ar+CH_4$ (9:1);kao γ detektor dva kristala NaJ(Tl) (100x60 mm) vezane paralelno.

Mrtvo vreme aparature, tj. X,A, gama i koincidentne grane, odredjeno metodom "kratkoživećeg izotopa" /3/ sa In-116 $T_{1/2}$ = 54 min., iznosi: $\tau_X = (6,78 \pm 0,01)$ μs, $\tau_\gamma = (7,2 \pm 0,1)$μs, i $\tau_c = (26,4 \pm 0,5)$μs.

Vreme razlaganja koincidentnog uredjaja, τ_r, odredjeno je metodom dva nezavisna izvora /3/ i iznosi(1,765±0,035) μs.

Ispitani su optimalni uslovi detekcije X,A zračenja u 4π brojaču i nadjeno je da se pri gasnom pritisku od 4 atm i visokom naponu od 3 KV postiže energetska efikasnost detekcije KX zračenja od 90% i rezolucija za KX (8,05 keV) 20% (sl. 2). Korišćenjem gama detektora NaJ(Tl) dobijena je rezolucija za E_γ = 1115 keV od 12,5% (sl.3). Uslovi X grane postavljeni su tako da se detektovalo samo KX,A zračenje u intervalu od 7,25 keV do 8,85 keV a kod γ grane γ zračenje u intervalu od 1040 keV do 1185 keV.

Ovako postavljeni uslovi su u saglasnosti sa prethodnim razmatranjima o veličinama koje odredjuju K_e. Veličine $\varepsilon_{(\gamma)X,A}$ i $\varepsilon_{(\gamma)\beta^+}$ mogu se zanemariti, pošto se KX,A zračenje u potpunosti apsorbuje u gasu i zidovima 4π brojača, a anihilaciono zračenje od 511 keV nastalo interakcijom β^+ sa materijom je eliminisano izborom energetskog intervala za detekciju γ zračenja.

Doprinos pozitronskog zračenja u 4π brojaču u energetskom intervalu od 7,25 do 8,85 keV može se zanemariti zbog malog udela ovoga intervala u odnosu na celokupan β^+ spektar ^{65}Zn /4/.

Za dobijanje veličina $(\varepsilon_X)_\gamma$ i ε_C praćena je promena odbroja u X i koincidentnoj grani korigovanih za osnovnu aktivnost, N'_X i N'_C u funkciji ε_X (sl. 4). Ekstrapolacijom ovih zavisnosti na $\varepsilon_X = 0$ dobija se vrednost za doprinos detektovanog gama zračenja u X,A detektoru i doprinos za lažne koincidencije. Odnos ovih veličina prema ukupnom broju raspada N_{EC} datog izvora predstavlja veličine $\varepsilon_{(X)\gamma}$ i ε_C. Promena ε_X vršena

je u intervalu od 32% do 0,26% i dobijena linearna zavisnost za N_X' i N_C' od ε_X. Na sl. 4. prikazane su ove zavisnosti za niske vrednosti ε_X, kao i ekstrapolisane vrednosti N_{Xo}' i N_{Co}'. Na ovaj način dobijene vrednosti N_{Xo}' i N_{Co}' daju za $\varepsilon_{(X)\gamma}$=0,00043±0,00004 i ε_C = 0,000048±0,000005.

Pri ovako definisanim eksperimentalnim uslovima i odredjenim korekcijama za 4πX,A-γ koincidentnu metodu, izvršeno je apsolutno merenje specifične aktivnosti rastvora ^{65}Zn u okviru uporednih merenja sa LMR-Saclay.

Za dobijanje podataka o specifičnoj aktivnosti rastvora izvršeno je merenje 15 izvora prepariranih od osnovnog rastvora dobijenog od LMR-Saclay. Karakteristike ovoga rastvora bile su: aktivnost 48,8 μCi/g ± 1,5% 24.07.1969 u 12^h hemiski sastav 228 μg/g $ZnCl_2$ u HCl, pH 1,5.

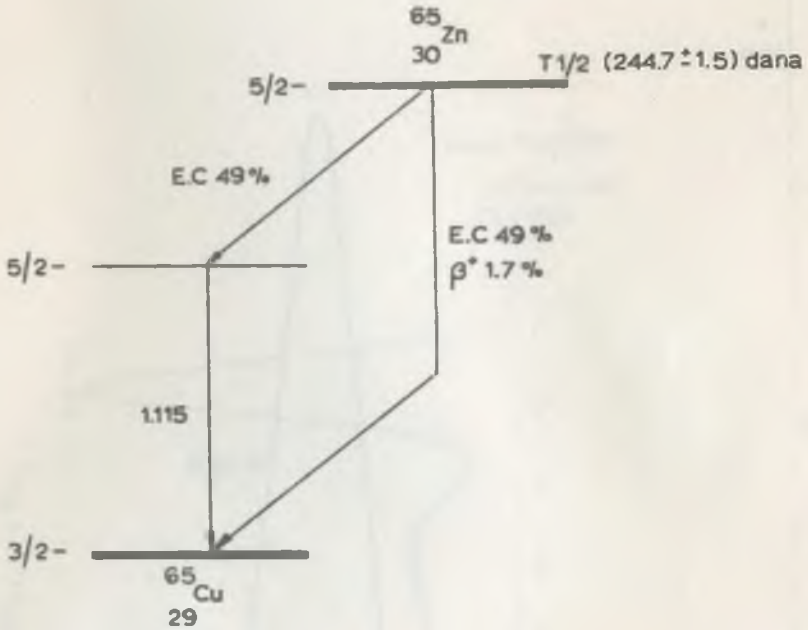
Mase radioaktivnog rastvora, korišćene za pravljenje izvora, odmeravane na mikro vazi Mettler M-5 kretale su se od 15-20 mgr.

Kod preparacije izvora inzulin (40IJ 1:20) je korišćen kao kvaseće sredstvo.

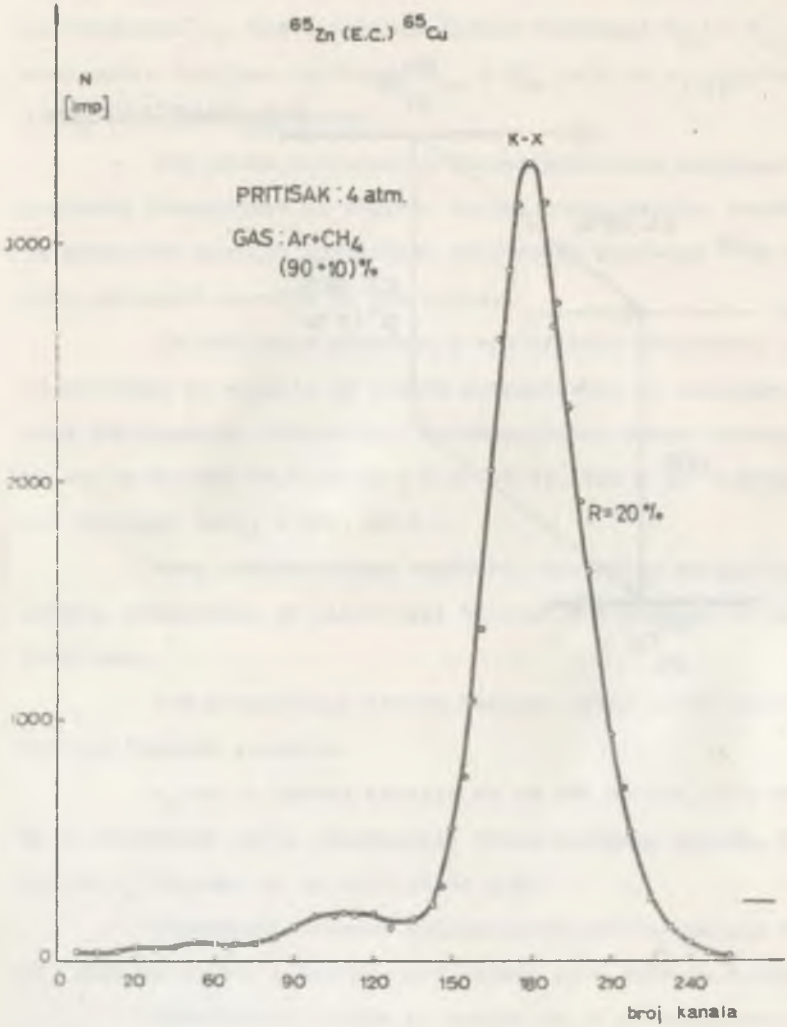
ε_X za 15 izvora kretalo se od 48% do 55%, što ukazuje da je korišćeni način preparacije davao homogene izvore. Vrednosti za ε_γ kretale su se od 3,1% do 3,6%.

Statističke greške pojedinačnih izvora kretale su se od 0,04% do 0,06%, a sistematske greške od 0,225% do 0,283%.

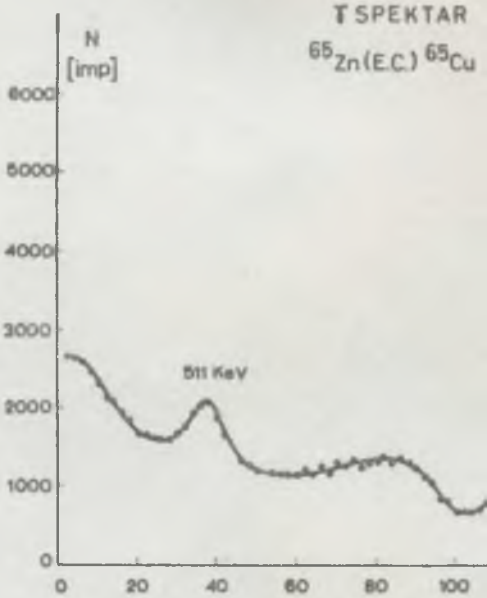
Statistička greška za seriju od 15 izvora iznosila je 0,49%. Dobijena vrednost za specifičnu aktivnost rastvora ^{65}Zn u našoj laboratoriji odstupa od rezultata LMR-Saclay za 0,87%.



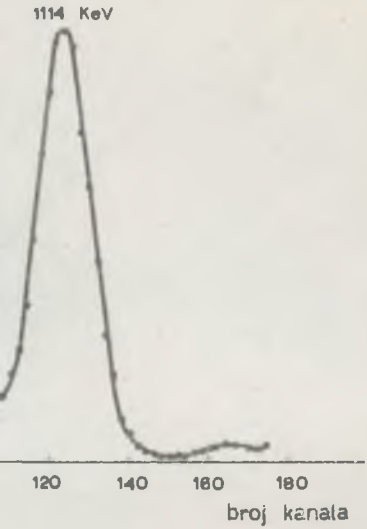
S1.1

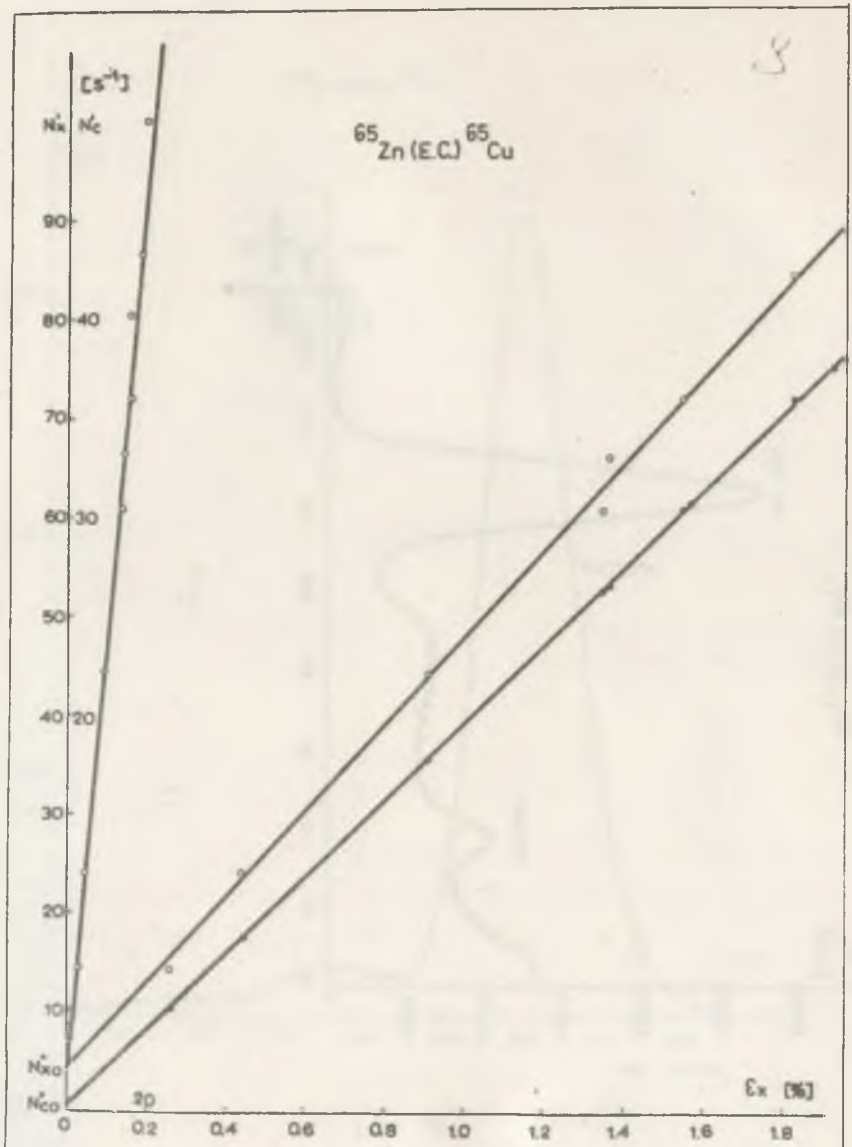

^{65}Zn (E.C.) ^{65}Cu
N
[imp]
K-X
PRITISAK : 4 atm.
GAS : Ar+CH4
(90+10)%
R=20 %
3000
2000
1000
0
0
20
60
90
120
150
180
210
240
broj kanala

Sl. 2


γ SPEKTAR
$^{65}Zn(E.C.)\,^{65}Cu$
N
[imp]
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
511 KeV
0
20
40
60
80
100

Sl. 3


1114 KeV
120
140
160
180
broj kanala


[s⁻¹]
N'x
N'c
65Zn (E.C.) 65Cu
90
80
40
70
60
30
50
40
20
30
20
10
N'xo
N'co
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
εx [%]

Sl. 4

L I T E R A T U R A

1. C.M. Lederer, J.M. Hollander, I.Perlman; Table of Isotopes (Sixth Edition)
   John Wiley and sons, INC, New York - London - Sydney.

2. J. Legrand: Rapport CEA-R 2813 (1965)

3. Dj.Bek-Uzarov i dr.: Zbornik radova III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka pp.346-352, (1967)

4. P. Avignon; Anales de Physique Tom 1 pp. 31-38 (1956)

FILM-DOZIMETAR I NAČIN PRIMANJA DOZE NA RADNOM MJESTU

H.Cerovac, R.Hufnus i Z.Benčak

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

O dobrim i lošim stranama mjerenja primljenih doza radnika izloženih zračenju ima mnogo podataka u literaturi koji su u zajednici s vlastitim iskustvima imali i odjeka na našim dosadašnjim simpozijima (1, 2, 3).

Sigurno je da će neke metode mjerenja primljenih ličnih doza (npr. pomoću termo-luminiscencije) koje još nisu dostigle svoj konačni tehnički i ekonomski optimum, tražiti mogućnost da na radnim mjestima zauzmu ono mjesto, koje danas zauzima mjerenje tih doza pomoću ličnih film-dozimetara. Moramo zato oprezno vagnuti sve dobre i loše strane svih metoda na pojedinim radnim mjestima. Željeli bi ovdje, više kao putokaz za jedan dio odmjeravanja izložiti jednu važnu prednost filma za svaku službu zaštite. Radi kratkoće i sigurnijih zaključaka, ograničit ćemo se samo na područje dijagnostičke primjene rendgenskih zraka (energije 50-90 kV). Danas na takvim poslovima radi oko 70% radnika izloženih zračenju.

Većina tih radnika izloženo je dozama koje ne prelaze 20% MDD, pa nije potrebna hitna intervencija službi zaštite samih ustanova, odnosno republičkih inspekcija i centara zaštite. No, vjerujem, da se u svakom našem centru prilikom određivanja doza nađe postotak filmova ozračenih dozama čiji se raspon doze kreće od onih vrlo blizu MDD pa do onih koje ih znatno premašuju.

Za službu zaštite sigurno je najvažnije pitanje da li su te doze primljene za vrijeme rada pa makar grubom nepažnjom, ili je isključena mogućnost da je radnik primio takvu dozu.

Želimo na nekoliko ekstremnih slučajeva pokazati da se ako je ta doza izmjerena filmom može sigurno pokazati da ta doza nije primljena prilikom rada, sve da je pri tome radnik napravio pogrešku koja graniči sa krajnjom nepažnjom, nego namjernim izlaganjem filma u direktnom snopu rendgen aparata. Primjere ozračenih filmova dajemo na slikama od 1 - 4. Doze na tim filmovima su od 800 - 1200 mR. Sa tih slika sigurno možemo utvrditi:

a/ Filtarska analiza nam daje podatke, da su zračeni u direktnom snopu rendgen cijevi čiji radni napon cijevi možemo utvrditi u granicama 65 ± 5 kV;

b/ Uz 65 kV i 2 mA (ili ako je ekspozicija oko 100 mA sek) i 1 m udaljenosti od fokusa taj je morao biti izložen u slučaju dijaskopije oko 0,5 - 1,5 min u direktnom snopu;

c/ Nije moguće postići oštrinu rubova filtara kakva je na slici, ako kazeta s filmom nije bila kroz cijelo vrijeme ekspozicije u jednakoj geometriji prema fokusu cijevi.

To nam je dovoljno da sigurno zaključimo da su ti filmovi mogli biti zračeni u direktnom snopu samo namjerno. Dozvoljavamo samo slučaj da je radnik neodgovorno prilikom snimanja pridržavao pacijenta ili kazetu sa filmom, ali bi u tom slučaju taj radnik trebao pokazati i film na kojem je vidljiv snimak kazete s film-dozimetrom.

No za većinu praktičnih slučajeva u zaštiti nama i nisu potrebni tako adekvatni dokazi. Poznavajući uobičajene tehnike rada i dozimetrijske karakteristike radnog mjesta film će nam gotovo uvijek u slučaju značajnih doza dati i podatak da li se radi o stvarno primljenoj dozi koja se nije mogla izbjeći, dozi primljenoj uslijed grube nepažnje, te ili dozi uslijed namjernog izlaganja filma.

Literatura

1. Marian Sterle, Sredstva lične dozimetrije. Merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizirajućeg zračenja. Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, 1967. Banja Luka.

2. Slobodan Ignjatović, Analiza film dozimetrijske kontrole u medicinskim ustanovama u SRS. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti II. 1969. Baško Polje.

3. Hrvoje Cerovac, Kontrola primljenih doza radnika izloženih ionizirajućem zračenju. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, vol. 19 (1968) 315.

S1.1

S1.2

S1.3

S1.4

PX 846 TX

Nr /3/07

STANDARD POTREBAN KOD RTG. MERENJA SADRŽAJA Ca U KOSTIMA

Hrovat I.

STANDARD POTREBAN KOD RTG. MERENJA SADRŽAJA Ca U KOSTIMA

Hrovat I.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Nr/3/07

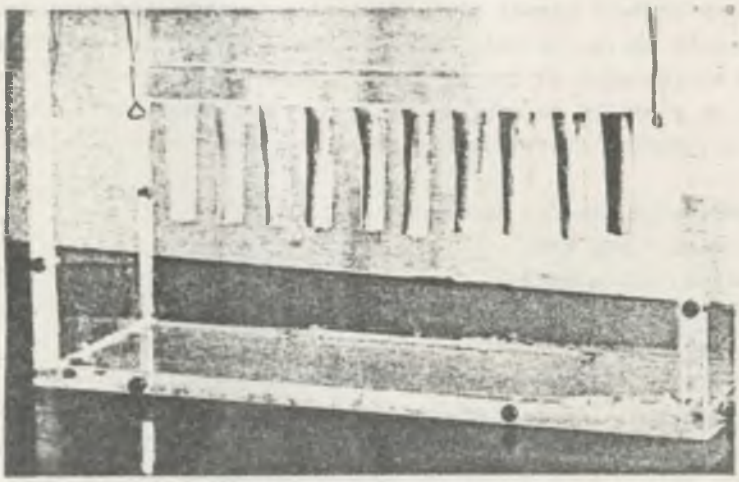
Merenje sadržaja kalcijuma u kostima pomoću rentgenskog snimanja poznati je postupak, u literaturi već mnogo puta opisan. Literatura redovno navodi klin od aluminijuma kao komparativnu kalibracionu skalu. Na ovoj skali odgovara aluminijum debeline 1,3o mm ekvivalentu od 1oo mg Ca/cm^3. Naravno ova vrednost važi samo za slikanja sa naponom na rentgenskoj cevi od 7o kV. I ostali podaci u literaturi su veoma manjkavi jer autori ne navode

- usmeravanje visokog napona na rtg. cevi
- filtraciju rtg cevi
- debelinu sloja vode
- gamu filma
- kvalitet solne folije.

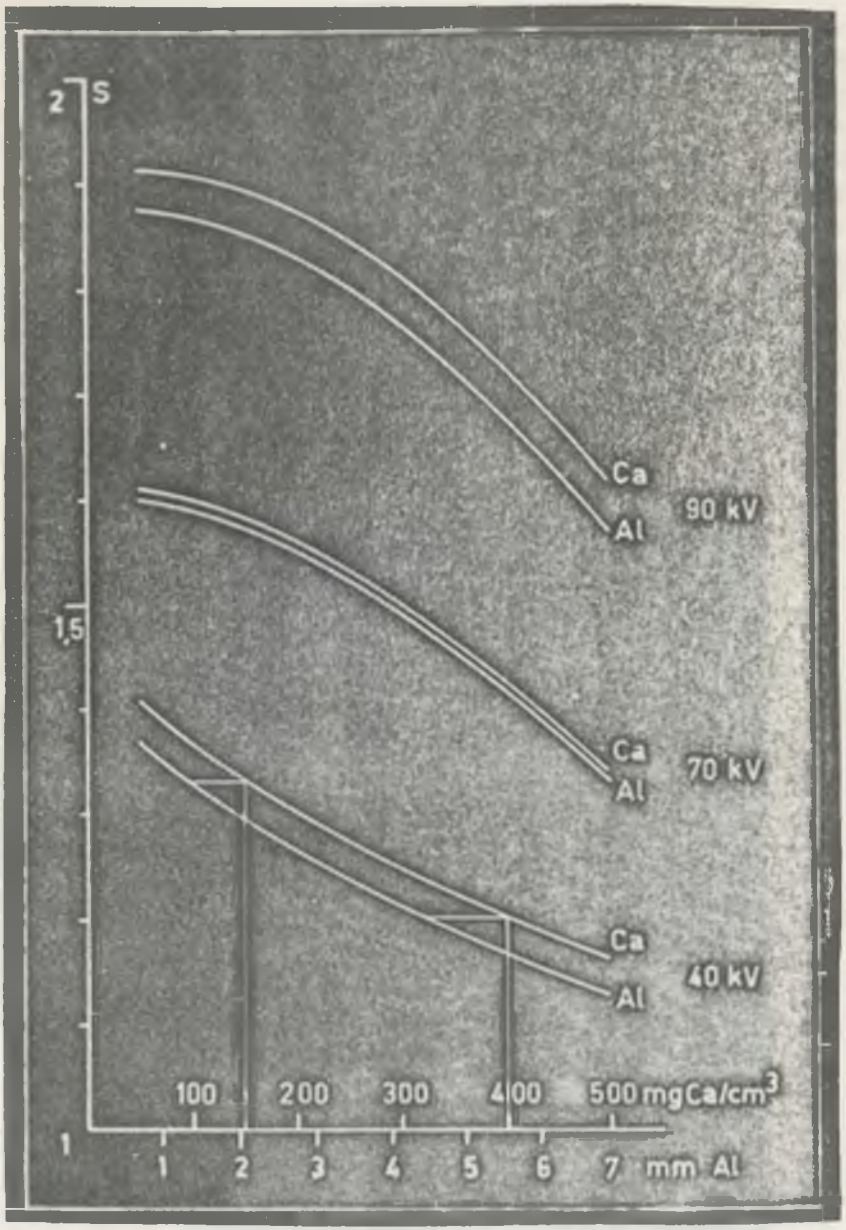
Jer su filmovi slikani kod nas po uputstvu iz literature imali vanredno mali kontrast mi smo sami izveli nekoliko eksperimentalnih merenja pomoću kojih smo dobili ne samo kvantitativne vrednosti sadržaja Ca u kostima nego i optimalne uslove rada. Teškoća kod rada po literaturnim podacima je bila u tome što kod napona 7o kV kontrast nije bio dovoljan, a kod rada sa nižim naponima gde je kontrast bio dovoljan rezultati merenja nisu se slagali sa vrednostima navedenima u literaturi.

Izradili smo seriju modela kosti oblike prirodne kosti. Umetno izradjena kost imala je kao bazu dvokomponentnu masu Araldit firme CIBA. Aralditu je bio dodat kalcijum oksid proračunan na sadržaj čistog kalcijuma. Izradili smo osam modela kostiju sa sledećim sadržajem kalcijuma: 5o, 1oo, 15o, 2oo, 25o, 3oo, 4oo, i 5oo mg Ca/cm^3. Volumen modela kostiju iznosio je 16 cm^3.

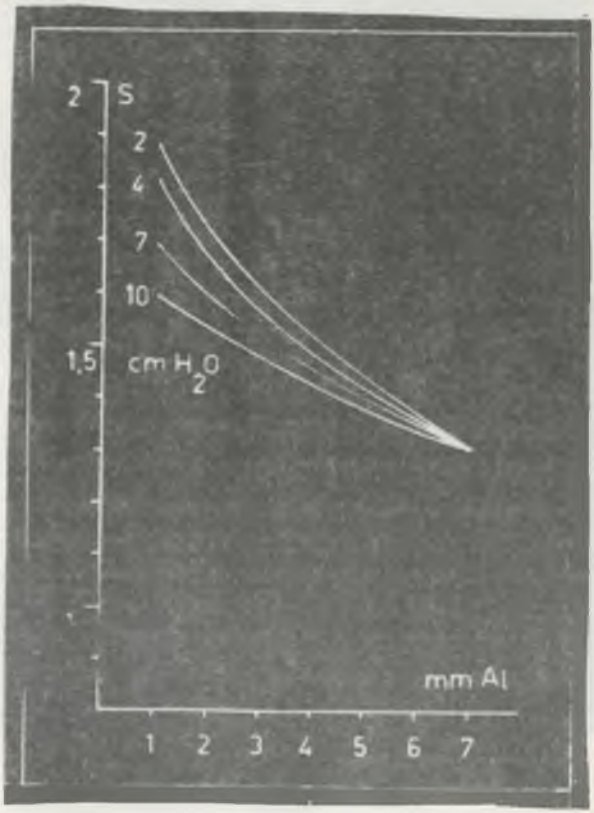
Modela kostiju sa sadržajem 600 mg Ca/cm^3 nismo mogli izraditi (premda bi bio veoma interesantan) jer je zbog gustoće mase bilo nemoguće tu masu ljevati u model. Mješavina araldita i kalcijum oksida se je homogeno otvrdila. Voda na nju nije imala nikakvog uticaja. Izlučenje kalcijum oksida iz modela bilo je minimalno i to samo na površini. Ovim osnim modelima dodali smo prirodnu kost sa normalnim sadržajem kalcijuma i model kosti iz čistog araldita bez kalcijuma. Slika 1. prikazuje izradjen standard.



Ovaj standard bio je zajedno sa aluminjum klinom (debeline 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 mm) eksponiran i slikan kroz 10 cm debeli sloj vode. Energija zračenja iznosila je 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 keV, filtracija 1 mm Cu, četiriventilno usmeravanje visokog napona. Ove smo uslove namjerno izabrali zato da je njihova reprodukcija moguća u svakom rentgenskom kabinetu, iako bi rezultati rada sa monohramatskim retgenskim svetlom (literatura 1.) dali eksaktnije rezultate.


2
S
1,5
1
Ca
Al
90 kV
Ca
Al
70 kV
Ca
Al
40 kV
100
200
300
400
500 mgCa/cm³
1
2
3
4
5
6
7 mm Al

U želji da bi dobili jednaka osnovna zacrnjenja filma morali smo dozu ekspozicije kod svake energije rtg. zračenja menjati odgovarajuće energetskoj zavisnosti osetljivosti filma. Tabela 1. prikazuje nam krive zavisnosti sadržaja kalcijuma u kostima i zacrnjenja filma za energije 4o, 7o, 9o keV. Vidimo dobro slaganje u literaturi navedenih podataka kod kriva za energiju 7o keV. Iz tabele jasno vidimo zašto je rad kod energije 4o keV optimalan. Kod većih energija kontrast je kod malog sadržaja kalcijuma minimalan. Jer je kod kriva za kalcijum i aluminijum kod slikanja sa energijom od 4o keV prilična diskrepanca s obzirom na u literaturi navedene podatke o kvantitativnom merenju sadržaja kalcijuma moramo te podatke množiti sa faktorom 3,75.



Istovremeno smo si postavili pitanje u kolikoj meri djeluje debelina sloja vode na kontrast slike. Na tabeli 2. vidimo krive zacrnjenja aluminijum klina eksponirane i slikane kroz 2, 4, 7 i lo cm debeli sloj vode. Kontrastnost slike se povećava sa tanjim slojem vode.

ZAKLJUČAK

Eksperimenti su pokazali potrebu po standardizaciji ovih merenja. Za uniformno obradjivanje rezultata (rezultati koje daje ovaj naš rad zadovoljavaju samo naše potrebe i uslove rada) morali bi propisati sledeće parametre:

- kvalitet rentgenskog zračenja
- kvalitet filma i folije
- debelinu sloja vode.

LITERATURA

1. W. Fromhold, G. Schoknecht: Messung der Absorption mit monochromatischer Röntgenstrahlung, IXth International Congres of Radiology, München 1959.
2. E. C. Petri: Der Röntgenfilm, VEB Fotokinoverlag Halle (Salle) 1965.
3. K. Becker: Filmdosimetrie, Springer, Berlin 1962

Nr. / 3 / 08

MJERENJE FILTRACIJE CIJEVI DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA

Cerovac H., Benčak Z., Hufnus R.

MJERENJE FILTRACIJE CIJEVI DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA

Hrvoje Cerovac, Zlatko Benčak i Robert Hufnus

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti Z a g r e b

Metodu za određivanje radnog napona rendgenske cijevi i filtracije te cijevi izloženu u radu K.G. Winkletro i S.G. Levina (1) uz male preinake željeli smo prilagoditi za terenske uvjete rada i nešto pojednostaviti.

Bit te ideje je da za određenu filtraciju i za određeni radni napon postoji samo jedan određeni par vrijednosti definiranih sa:

$$R_1 = \frac{D_{Al}}{Do} \qquad R_2 = \frac{D_{Cu}}{D_{Al}}$$

gdje je Do doza u nekoj tački u korisnom snopu cijevi (2) a D_{Al} i D_{Cu} doze u toj tački nakon prolaska kroz aluminijski odnosno bakarni filtar.

Želimo dati vrijednost za R_1 i R_2, za interval najčešćih radnih napona i filtracija.

Mjerenje smo vršili u korisnom snopu instrumentom Victoreen model 666 sa komorom do tri rendgena, te aluminijskim filtrom od 1 mm i bakrenim filtrom od 0,10 mm. Mjerenja su vršena pod uvjetima uskog snopa (2) podešenog tako da širina snopa nije prelazila širinu komore.

Vrijednosti za R_1 i R_2

Napon cijevi u kV	Filtracija u mm aluminija					
	1 mm		1,5 mm		2,0 mm	
	R_1	R_2	R_1	R_2	R_1	R_2
60	0,550	0,272	0,625	0,322	0,661	0,535
70	0,580	0,500	0,685	0,700	0,690	0,565
80	0,600	0,545	0,668	0,416	0,709	0,608

Kod ovako izvedenih mjerenja pogreška za R_1 i R_2 iznosi do 10% što znači da se filtracija određuje tačno na ± 0,05 mm al, odnosno visoki napon sa ± 2 kV.

Literatura

1. K.G. Winkler, S.G. Levin, Health Physics 12,(1966), 345
2. Code of Practice for the Protection of Persons exposed to ionizing radiations, Supplemen, 76, London, Her Majestyś Stationery Office, 1957.

Nr/3/09

UTICAJ TEMPERATURNOG GRADIJENTA NA TERMOLUMINISCENTNI ODGOVOR

D. Petrović

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

Uvod:

Problem merenja doze od različitih zračenja bio je predmet višegodišnjih ispitivanja. Posebno interesantno poglavlje je ispitivanje termoluminiscentnih (TL.) materijala, a naročito litijum fluorida aktiviranog manganom (LiF:Mn) (1).

Kristalna struktura ovih materijala, sa greškama koje nastaju pri odredjenim tehnološkim postupcima i dopingovanim primesama (srebro, mangan, i dr.) predstavlja odličan materijal za konzervaciju efekata zračenja. Prilikom zagrevanja ovi efekti se otpuštaju u vidu fotona svetlosti, koji su direktno srazmerni količini zračenja.

U odnosu na temperaturu grejanja fotoni (iste talasne dužine) se oslobadjaju na raznim temperaturama. Do 100°C izlazi I pik, bez većeg značaja, do 150°C II pik i oko 200°C III pik, tzv. termoluminiscentni pik (TL-pik). Celokupna kriva se naziva krivom sjaja (glow - curve).

Visina i površina III pika su dozimetarske merljive vrednosti.

U našim merenjima mi smo ispitivali uticaj temperature grejanja odnosno regenerisanje na visini i površinu III pika.

Endres, G.W.R. (2) je dao težinski odnos praška

LiF:Mn i emitovane svetlosti. Sve do 100 mg je ovaj odnos linearan. Ako uzmemo emitovanu svetlost po mg praška onda je odnos linearan do 50 mg. Mi smo u našim merenjima radili sa 30 mg.

Cameron i saradnici (3) su proučavali energetsku zavisnost TL. odgovora i to za X zrake različitih energija kao za beta i gama zrake.

Linearnost LiF:Mn ide do oko 1.000 R za X-zrake od 25-662 KeV. Za doze veće od 1.000 R nastaje izvesna preosetljivost LiF:Mn. Ova preosetljivost ostaje i posle regenerisanja. U našim ispitivanjima mi smo obratili posebnu pažnju na ovaj fenomen.

Ponovno korišćenje LiF:Mn - regenerisanje praška bilo je predmet ispitivanja mnogih autora. Tako Zimmerman i saradnici (4) preporučuju za prašak LiF:Mn TLD-100 (proizvodnje CON-RAD-tip N) uslove regenerisanja 400°C i vreme od 1 h.e hladjenje na temperaturi sobnoj za vreme od 5 min.

Byarnard i Jones (5) preporučuju temperaturu regenerisanje 300° i vreme 17 h a zatim 80° i za vreme od 6 h (ovaj drugi tretman je radi uklanjanja I i II pika).

Ponašanje "potencijalnih jama", direktno odgovornih za osetljivost LiF:Mn je bio predmet ispitivanje Claffy-a i saradnika (6).

Problem osetljivosti je veoma važan i dosta ispitivan. Naročito je zanimljiv pri radu sa malim dozama (reda mR).

Potencijalna jama (piege-franc.) je poznata u teoriji kristala i detaljno obradjena. Njihova prisutnost i energija je vezana za pojavu termoluminiscencije a njihov broj je vezan za osetljivost.

Cameron i saradnici (3) su dali broj jame u svim materijalima sa relacijom:

$$n = n_0 \exp. \left[- st \exp. (- E/kT)\right]$$

gde je:

n - broj potencijalnih jama u vremenu t,
n_0 - početni broj potencijalnih jama,
E - energija (potencijalne) jame,
S - faktor frekvence,
T - apsolutna temperatura (u ^{0}K)
t - vreme
K - Boltzmann-ova konstanta

Energija jame se odredjuje po metodi Randall-a i Wilkina-a (7) po gornjoj jednačini.

I. Ispitivanje prisustva "potencijalnih jama" / osetljivost/ u LiF:Mn proizvedene po sistemu C.E.A /le Commisariat d Energie Atomique - France/.

1. Metoda rada:

Za ovo je uzet prašak LiF:Mn, dobro regenerisan predhodno i stavljan u peć na temperaturi od 25^0 - 480^{0}C za vreme od 15 min. Posle ovoga tretmana prašak je meren na analitičkim terazijama, zračen sa 2 R (sa izvorom Sr-9o).

Korišćeno je programirano grejanje 3 x 5 sec.

2. Rezultati merenja:

Krive na grafiku 1 nam pokazuju varijacije pikova u funkciji temperature.

Maksimumi 3-eg pika su na oko 100°C i 480°C, a izmedju ovih temperatura 3-ći pik ima minimum na oko 300°C.

Na grafiku 2 i 3 imamo ponovljena merenja za prašak LiF:Mn sistem C.E.A. i uporedjivan sa praškom tip 7 proizvodnje CON RAD. Vidimo identično ponašanje ovih pikova u oba slučaja. Postoji razlika kod pika 7 što pokazuje da je ovaj prašak stabilniji u ovoj temperaturnoj oblasti.

Rearanžman pikova na ovim graficima, posle 1-og i 2-og grejanja, nam ukazuje na ponašanje praška u aparatu za vreme grejanja i čitanja.

Posebno ako posmatramo crteže 1 i 2 pikova kod 1-og i 2-og čitanja (prašak tip 7, regenerisan na 32o°C za vreme od o,5 h i 2 h) imamo u prvom slučaju povećanje 2-og pika, a u drugom njegovo smanjivanje što je neobjašnjivo posmatrajući odvojeno dd prethodnih grafika.

3. Zaključak

Imajući u vidu sve ove rezultate možemo razumeti ponašanje praška LiF:Mn tj. njegove karakteristike koje direktno čitamo sa prethodnih grafika u zavisnosti od temperature regenerisanja. S druge strane želeći odredjene karakteristike I, II i III pika mi možemo odabrati odredjenu temperaturu.

Ovi grafici ne važe u slučaju LiF: Mn koji je prethodno ozračen jakom dozom. Pod jakom dozom smatramo doze koje proizvode nelinearnost LiF:Mn, tj. doze koje proiz-

vode u Li F:Mn nove "potencijalne jame". Ove doze u izvesnim slučajevima počinju već kod 4oo R. Sa faktorom sigurnosti uzimamo za ovu dozu 100 R.

Iz ovih rezultata možemo izvući grafik 4 za tip C.E.A i grafika 5 za tip 7 koji nam ukazuju na promenu pozicije pika u odnosu na početak grejanja kod različitih temperatura regenerisanje za tip C.E.A., što nije evidentno za tip 7.

Ovi prethodni grafici nam ukazuju jednu novu mogućnost da iz odnosa I i II pika i njihovih pozicija zaključimo i temperaturu koja je postignuta u samom aparatu, koji je inače vrlo teško kontrolisati.

S druge strane imamo problem kako se LiF:Mn ponaša na odredjenoj temperaturi regenerisanja za različite dužine vremena, prethodno ozračen "jakom dozom".

Ovaj problem je obuhvaćen narednim ispitivanjima.

II. Ispitivanje regenerisanja praška LiF:Mn koji je ozračen jakom dozom

1. Metod rada:

Ovaj deo ispitivanja je nastavak prethodne studije uticaja temperature na osetljivost LiF:Mn. Uzet je interval temperature od oko 25o - 6oo°C, sa vremenom regenerisanja 5 min, 15 min, 3o min, 6o min, 4 h i 24 h. Za ovo je korišćena kvarcna cev koja je grejana sa spiralom žicom a temperatura u cevi je automatski regulisana i kontrolisana sa termoelementom.

Grejanje u čitaču je bilo regulisano 3 x 5 sec. (grafik 6). Čitanje je bilo pod normalnim uslovima - sobni vazduh.

Prašak je ozračen "jakom dozom" od 1200 R sa izvorom Co-6o od 25 Cu sa brzinom doze od 28 R/h. Posle ovoga prašak je regenerisan pod raznim uslovima prethodno datim. Zatim je prašak ozračen sa 2oo R i čitan.*

2. Rezultati merenja:

Na sledećim graficima (7, 8 za tip C.E.A., 9, 10 za tip N, 11,12 za tip 7) dati su tokovi krivih u funkciji visine pika i njihovih površina za različita vremena regenerisanja. Svaka kriva odgovara odredjenoj temperaturi.

Merenja su vršena sa praškom LiF:Mn tipa C.E.A. tip N i tip 7 (proizvodnje CON-RAD).

Za prašak LiF:Mn tipa C.E.A. (grafik 7,8) i tip N (grafik 9,1o) tok krivih u funkciji visine pikova je vrlo stabilan sem za temperaturu regenerisanja od oko 364°C kada imamo konstantan pad visine pika (osetljivosti) celim tokom krive.

Iste temperature regenerisanja za krive merenja u funkciji površine imaju isti tok ali strmije promene. U ovom slučaju imamo veliki uticaj radjanja I i II pika.

3. Zaključak:

Iz ovih rezultata možemo reći da prašak tipa

---

* Odgovor neozračenog LiF:Mn na 200 R je dat na grafiku kao referentna vrednost.

C.E.A. i tip N imaju pri temperaturi regenerisanja od oko 36o C sledeće:

- konstantan pad III pika (TL) u funkciji vremena regenerisanja (gr. 7),

- pad celokupne površine (integralno merenje) uprkos radjanju I i II pika (gr. 8),

- veoma naglu promenu osetljivosti (strmi pad krive), (gr. 7, 8),

- na grafiku 4 vidimo za ovu temperaturu minimum pozicije pika (rastojanje).

Uticaj grejanja na odgovor LiF:Mn je ovim obuhvaćen pa ćemo u daljim ispitivanjima pokušati da rasvetlimo ovaj niz rezultata.

Pri ovome moramo uzeti u obzir grafik 13 koji nam daje visinu III pika pri I grejanju i pri drugom grejanju visinu I, II i III pika u odnosu na intenzitet grejanja u čitaču. Konstantan uspon ovih visina nagoveštava nam da je intenzitet grejanja u čitaču možda nedovoljan (preporučena vrednost je o,68 A.C. Amper-a).

Ako posmatramo osetljivost LiF:Mn posle ozračivanja sa 1200 R tj. njegov T.L. odgovor pre ozračivanja sa 1200 R (So) na dozu od 2oo R i TL odgovor posle regenerisanja na istu dozu (S) onda nam ovaj odnos $\frac{S}{So}$ daje uvid u promenu osetljivost (Za $\frac{S}{So} = 1$ nema promena).

Na grafiku 14 je dat ovakav prikaz rezultata. Vidimo da za temperature preko 480°C imamo konstantnu osetljivost, a za niže temperature imamo velike promene osetljivosti. Medjutim posle doze od 1.200 R nemamo prvobitnu osetljivost LiF:Mn.
Naime S/So je za tip C.E.A. = o,7, za N = o;8 a za tip 7 = 1,45.

Sledeći grafik 15 daje nam uvid u promenu visine III pika u odnosu na temperaturu regenerisanja. Svaka kriva odgovara odredjenom vremenu regenerisanja na datoj temperaturi.

Vidimo da na visinu III pika uglavnom utiče temperatura dok vreme ima aditivnu ulogu.

Maksimum visine III pika (maksimum osetljivosti tj. najveći odgovor za 200 R) imamo za temperature oko 460°C medjutim, je ovde i najveća moguća greška (velika strmina krive) dok je posle 500°C osetljivost manja ali konstantna (vidi prethodni grafik 15).

Iz ovih dosadašnjih rezultata uzećemo kao jednu referentnu vrednost a to je regenerisanje LiF: Mn na temperaturi od 500 C. Sa ovom temperaturom regenerisan je prašak prethodno ozračen sa dozom od: 100,200,400 i 1200 R.

Na grafiku 16 imamo ove rezultate. Možemo reći da je promena u osetljivosti tolerantna i da se može korigovati vremenom regenerisanja.

Ovim dosadašnjim rezultatima nalazimo da je temperatura regenerisana od 500 C najinteresantnija za tažnost rezultata, dok bi temperatura od oko 360 C bila najinteresantnija za "male doze" - zbog maksimuma osetljivosti za tip C.E.A. Dok je za tip N ovaj maksimum oko 200 C (grafik 14).

Literatura

1. Schulman, J.H. Vienna,
3-7 October 1966, SM-78/1

2. Endres, G.W.R.: Thermoluminescent dosimetry studies at Hanford, Battlle Memorial Institute, Pacific Northwest Laboratory Richland, Washington CONF-650637-1

3. Cameron, J.R.; Deward, L; Wagner, J. Wilson C; Doppke, K; Zimmerman, D: Nonlinearity of thermoluminescence as a function of dose for LiF (TLD-loo)

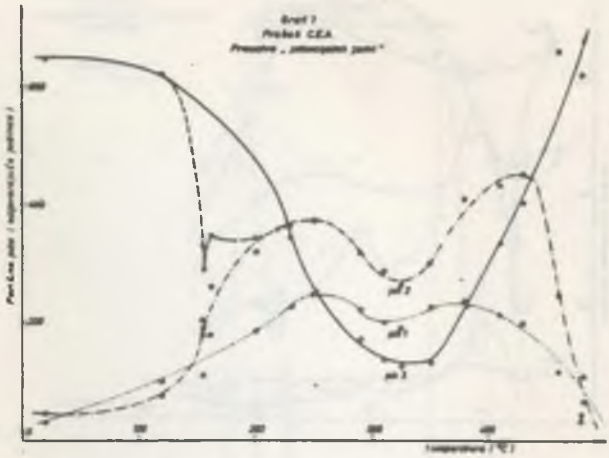
4. Zimmorman, D.W.; Rhyner G.R; and Cameron, J.R.: Health Phys. V. 12, p. 525-521 (1966)

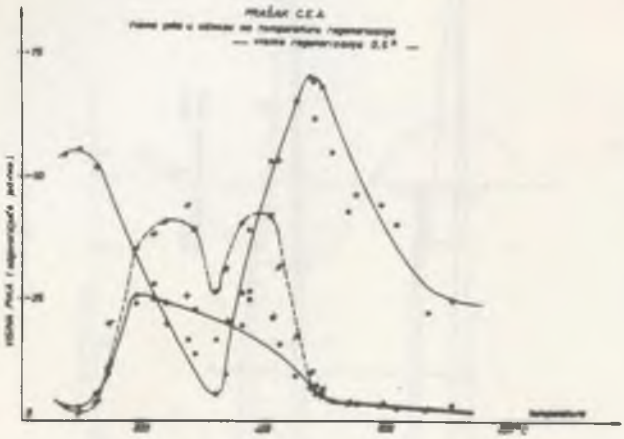
5. Bjarngard, B.E.; and Jones, D: Vienna, 3-7 October 1966; SM-78/24

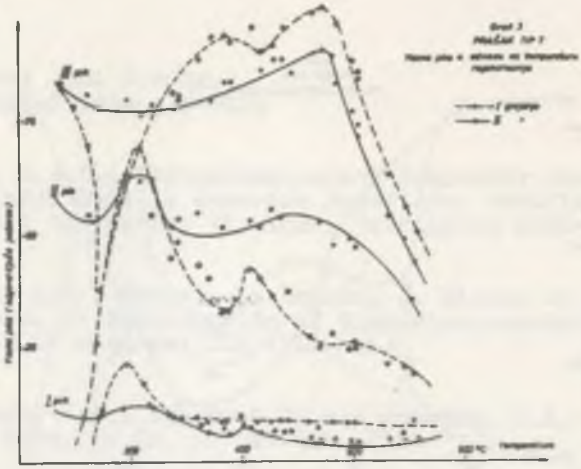
6. Claffy, E.W; Luminescence dosimetry by Frank H. Attix 74-85, april 1967, U.S. Atomic Energy Commision.

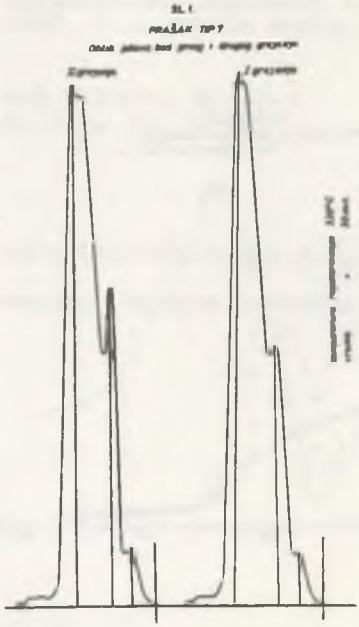
7. Randall J.T. and Wilkins, M.H.F.; Proc. R.Soc. A. 184, 365 (1945)

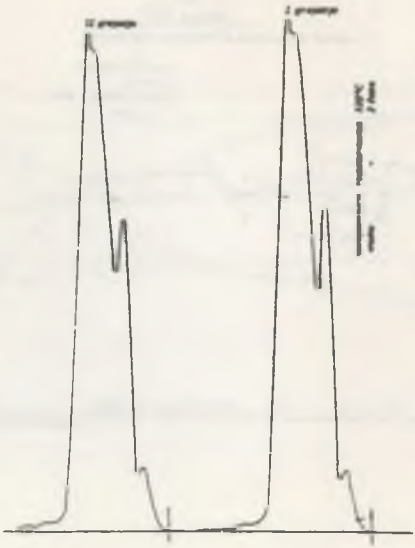
Ovaj rad je uradjen u laboratorijama S.T.E.P.-a u okviru Francusko-jugoslovenske tehnicke saradnje.

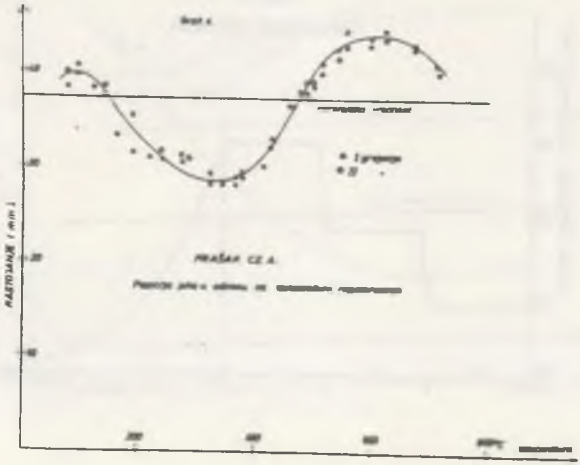


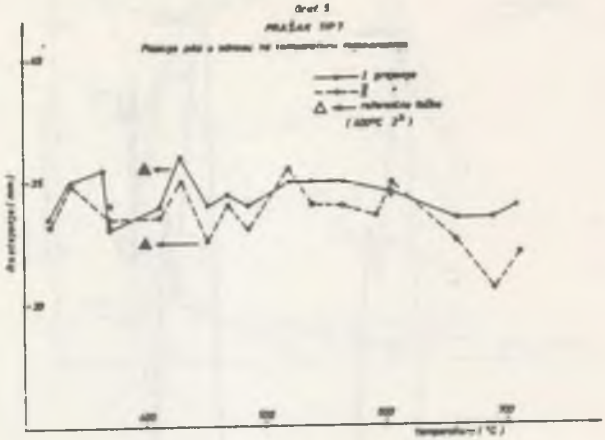




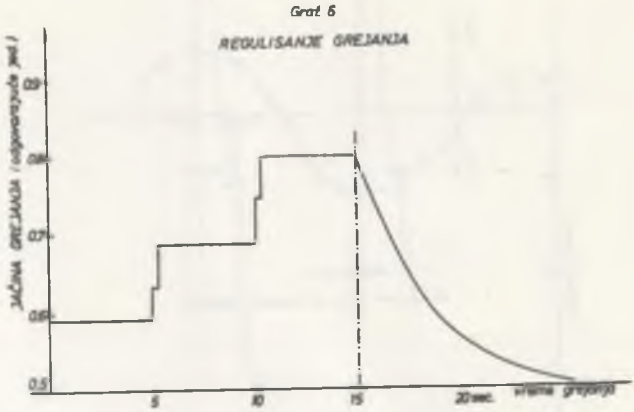




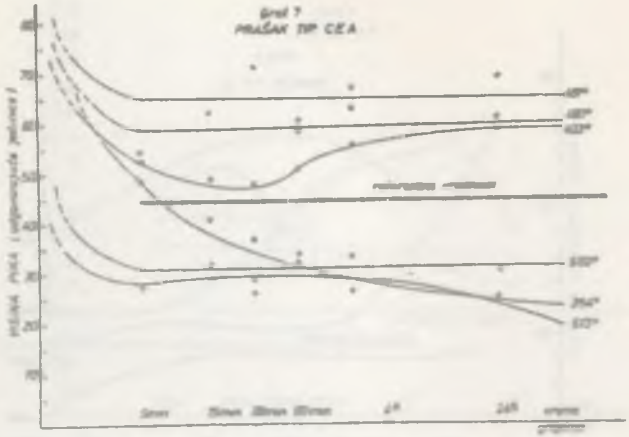


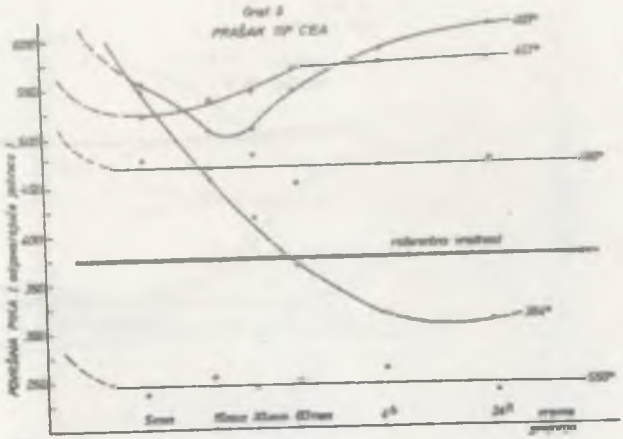


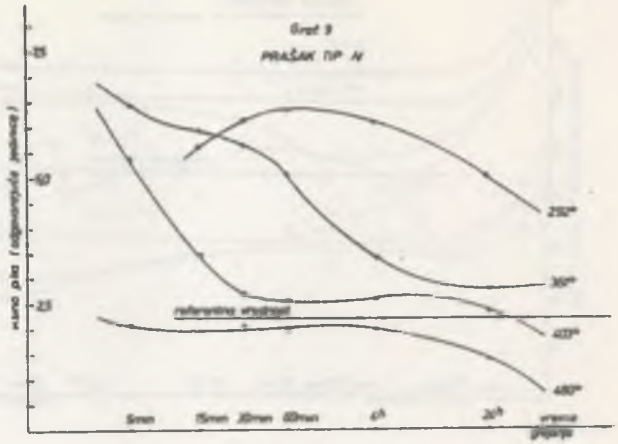
Grafik 5

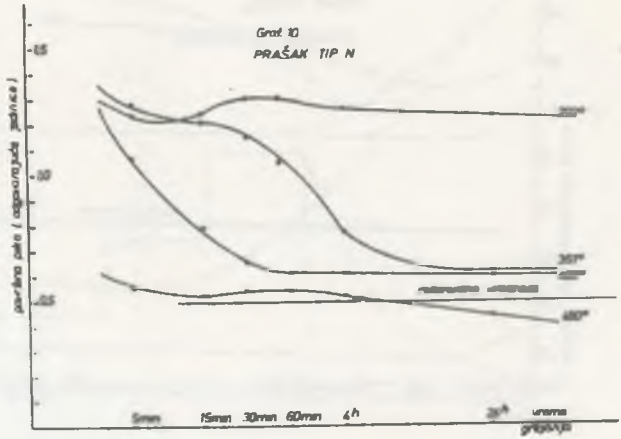


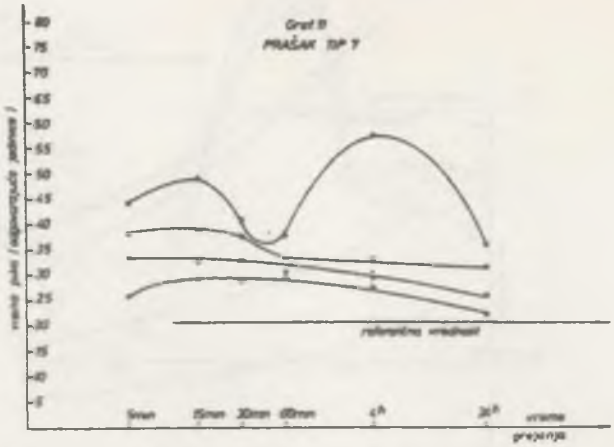
Grafik 6

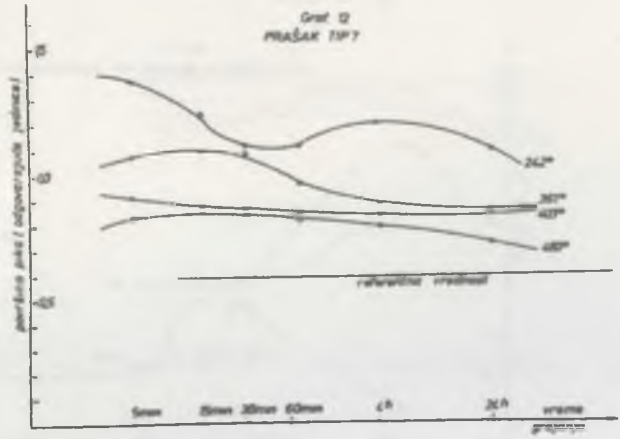

Graf 7
PRAŠAK TIP CEA

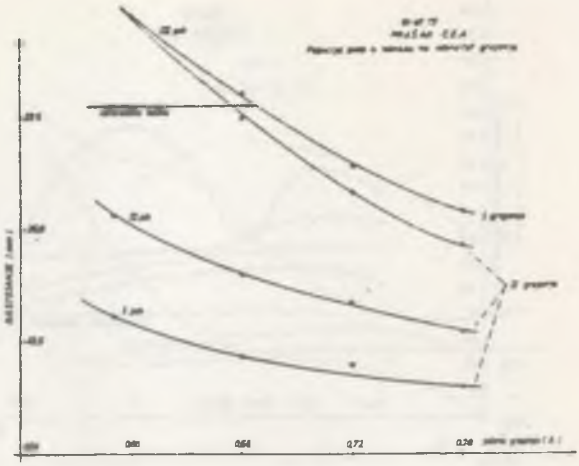

Graf 8
PRAŠAK TIP CEA

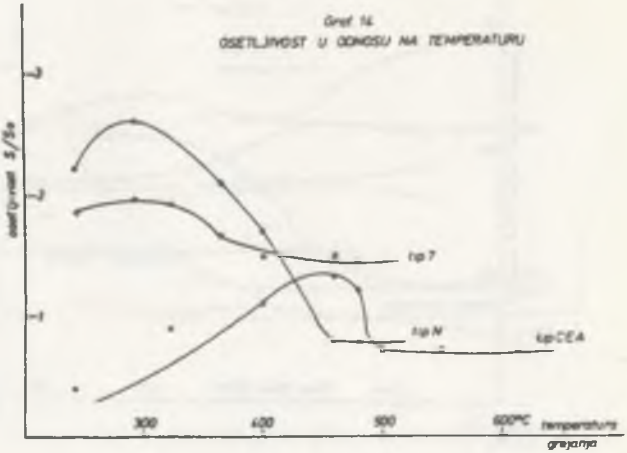

Graf 9
PRAŠAK TIP N
.15
.10
.05
252°
360°
423°
480°
referentna vrednost
5min
15min
30min
60min
4h
24h
vreme grejanja

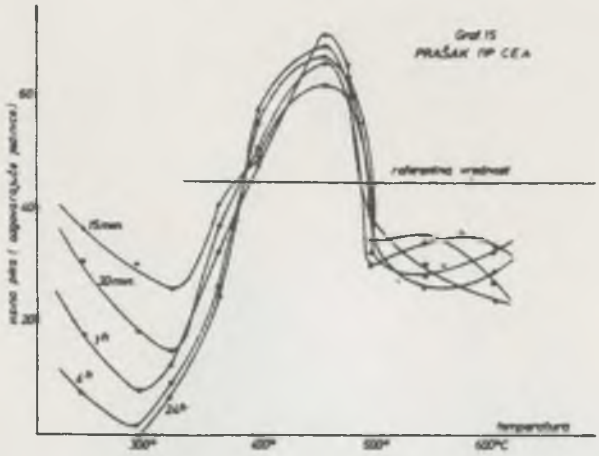

Graf 10
PRAŠAK TIP N
.15
.10
.05
252°
360°
423°
480°
referentna vrednost
5min
15min
30min
60min
4h
24h
vreme grejanja

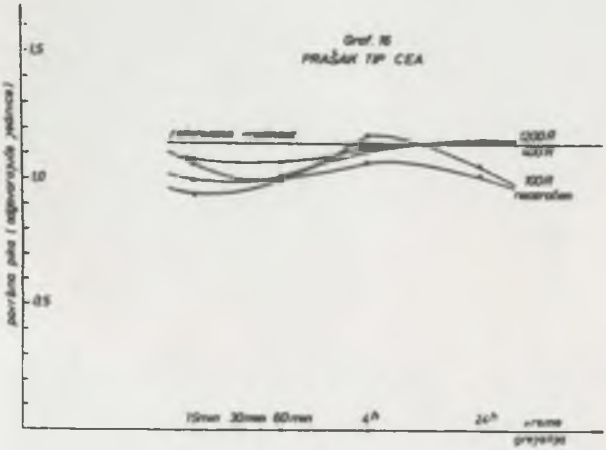

Graf 11
PRAŠAK TIP 7
referentne vrednosti
vreme
prepirnja


Graf 12
PRAŠAK TIP 7
referentne vrednosti
vreme


0,64
0,72
0,80


Graf 14.
OSETLJIVOST U ODNOSU NA TEMPERATURU
tip 7
tip N
tip CEA
300
400
500
600°C
temperatura grejanja


Graf 15
PRAŠAK TIP CEA
referentna vrednost
15min
30min
1h
4h
24h
temperatura
300°
400°
500°
600°C


Graf 16
PRAŠAK TIP CEA
referentna vrednost
1.5
1.0
0.5
15min
30min
60min
4h
24h
vreme
grejanja

Institut "Jožef Stefan
Ljubljana, Jamova 39

D.Uran, D.Sušnik

Nr/3/10

Termoluminiscentni dozimetri TLD-08

Kalcijev fluorid največkrat uporabljajo v dozimetriji zaradi njegove visoke občutljivosti in širokega področja linearnosti. Mnogi avtorji so podrobneje obdelali dozimeterske lastnosti tako glede občutljivosti, obstojnosti doze proti fadingu in veliki linearnosti. Zaradi visoke občutljivosti lahko uporabljamo dozimeter najhnih izmer, da dobimo točkovni detektor.

Za potrebe množične osebne dozimetrije se je izkazala termolumniscenca kot najzanesljivejše sredstvo. Sodelavci IJS smo si zadali nalogo, da proizvedemo dozimeter iz trdne snovi, katerega lastnosti bodo reproducibilne pri proizvodnji in, ki ne bo menjal lastnosti med shranjevanjem, segrevanjem pri meritvi in, ki bo ponovno uporaben po meritvi. Material naj ima torej dovolj visoko trdnost in odpornost proti toplotnim udarom in ustrezne dozimeterske lastnosti. Vrsta poizkusov je prinesla zanesljiv postopek in model TLD-08 ustreza zahtevanim pogojem.

Oglejmo si konstrukcijo dozimeterske značke! Pod prozornim pokrovom je v ohišju privijačena napisna ploščica z oznako serije in tekočo številko. Dozimeter je vložen v središču značke v svinčeni filter lončaste oblike. Ohišje dozimetra je iz temne plastične snovi, ki ne sme prepuščati svetlobe, ker ta kvari rezultate meritev.

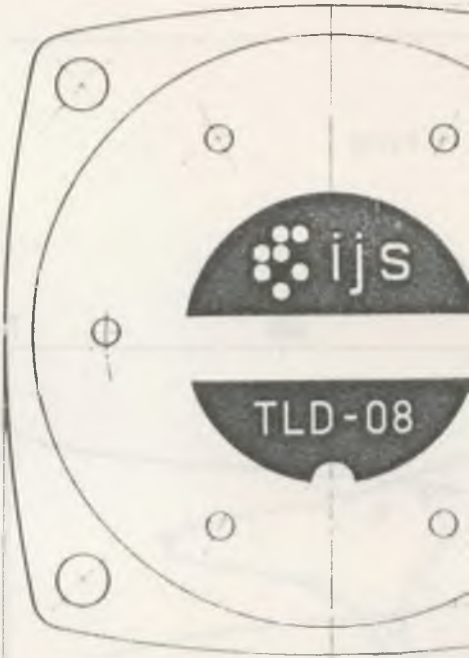
Značka na sliki 1 je štiripolne hipereliptične oblike z zunanjimi merami 24X24 mm. Aktivni TL dozimeter je valjčasta ploščica s premerom 8 mm in debeline 1,6 mm. Uporabljamo okrog 200 mg kalcijevega fluorida za dozimeter. Radioaktivne doze s čitalnikom ČTLD 7008. Področje uporabe, ki smo ga raziskali je od doze 1 R do 999 R, kar dosežemo z maksimalnim odstopom vzorca ± 20% pri tem, ko je srednji kvadratični pogrešek 7,15%.

Tablete merimo po metodi vršne vrednosti. Tipično sevalno karakteristiko TL dozimetra vidimo na sliki 2, ki jo dobimo kot analogni zapis časovne funkcije intenzivnosti svetlobe. Registri-

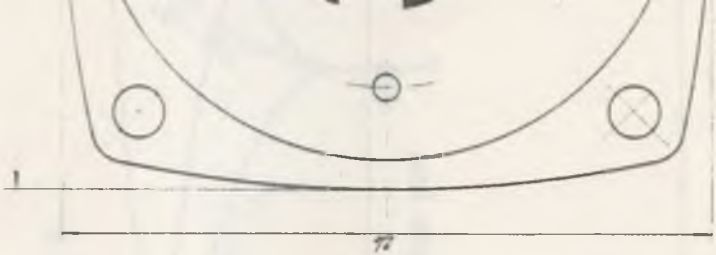
ramo tok fotopomnoževalke. Odnos med časom in temperaturo si posebej merimo s termomostičkom in tipalnim uporom, ki podaja temperaturo na površini tablete. Merili smo z laboratorijskim TL čitalnikom ČTLD - 01.

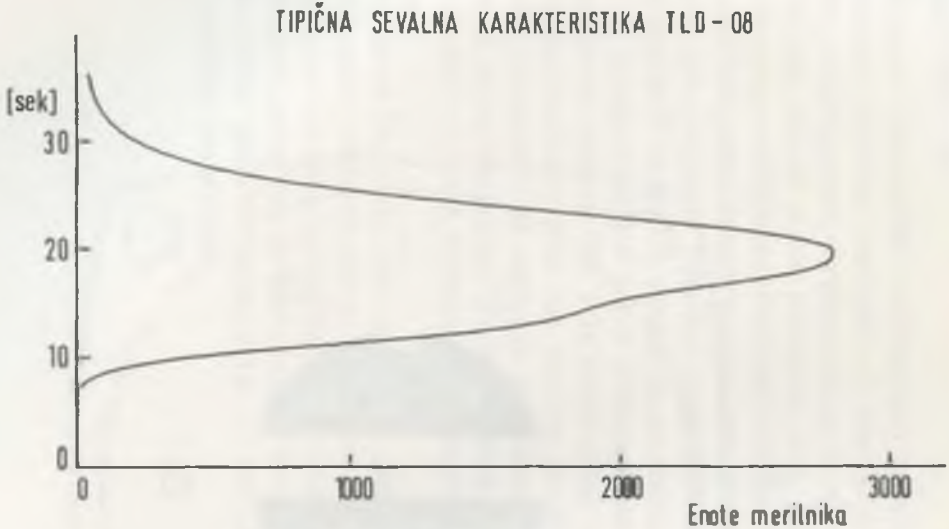
Kalcijev fluorid kot dozimeterski material ima znano energijsko odvisnost. Najvišji odstopek od nominalne 1,25 MeV 60 Kobalt) energijske občutljivosti nastopa okrog 50 KeV. Meritve so potrdile, da ima tableta TLD-08 enake lastnosti, kot jih daje literatura. Pri konstrukciji dozimeterske značke smo upoštevali te lastnosti in smo izdelali nekaj izvedb filtrov. Na sliki 3 vidimo vpliv filtracije pri kritičnem področju okrog 100 KeV za filtra Pb 6 in Pb 8 pri kotih 0° in 90° z ozirom na os dozimeterskega valja. Upadanje TL intenzivnosti s časom (fading) nastopa pri znatno višji temperaturi okolice (80°) le prvih nekaj ur. Zato je praktično nepotrebno merjenje prej kot dve uri po obsevanju. Zaradi natančnejših rezultatov pa umerjamo dozimetre z ozirom na merilni rezultat 24 ur po obsevanju. Čitalnik ČTLD-08 ima vgrajen poseben program gretja, ki pred definitivno meritvijo kompenzira pojav fadinga.

Dozimetri te vrste odgovarjajo mnogim vrstam uporabe; tako za personalno zaščito kot za medicinske in biološke raziskave. S primerno adaptacijo čitalnike je možno meriti doze v milirentgenskem področju. Za obsevanja z znanimi energijami izvora pa lahko odpade uporaba energijskega filtra in imamo dozimetre z zelo uporabno geometrijo.

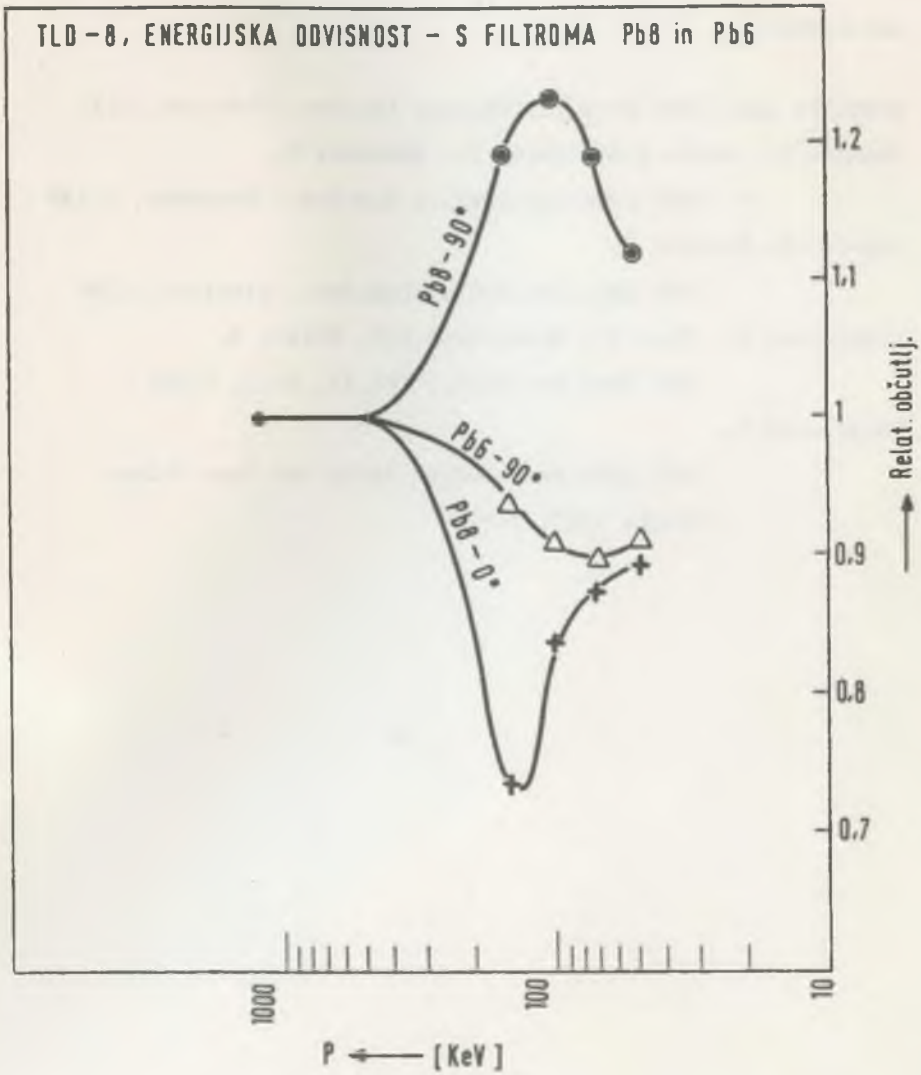


Slika 1


1
72


TIPIČNA SEVALNA KARAKTERISTIKA TLD-08
[sek]
30
20
10
0
0
1000
2000
3000
Enote merilnika

Slika 2


TLD-8, ENERGIJSKA ODVISNOST - S FILTROMA Pb8 in Pb6
Pb8-90°
Pb6-90°
Pb8-0°
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
Relat. občutlj.
1000
100
10
P ← [KeV]

Vpliv pogojev sinteze na lastnosti termoluminiscentnih prahov na bazi CaF_2

D.Sušnik, D.Kolar, D.Uran

Uvod

Delovanje termoluminiscenčnih dozimetrov na podlagi CaF_2 dopiranega z manganom je posledica ionskih defektov kristala CaF_2, ki ima del Ca^{2+} ionov zamenjanih z Mn^{2+} ioni. Zaradi vpliva dodatkov oziroma nečistoč nastanejo v kristalu CaF_2 tik pod prevodnim in tik nad valenčnim pasom dodatni energetski nivoji. Ionizirajoče sevanje izbije elektrone iz valenčnega pasu v prevodni pas, ti elektroni lahko potujejo po prevodnem pasu, dokler se ne vrnejo na normalni energetski nivo ali pa se ujamejo na nivoje pod prevodnim pasom, ki so nastali zaradi defektov kristalne rešetke. Elektronske luknje se ujamejo na nivoje nad valenčnim pasom. Pozneje, po obsevanju, lahko dvignemo ujete elektrone s pomočjo termične energije v prevodni pas, od koder se rekombinirajo z elektronsko luknjo in pri tem oddajo energijo v obliki svetlobe. Količina oddane svetlobe je proporcionalna dozi sevanja [1,2,7].

Obsevan CaF_2 dopiran z o,1 m/o mangana oddaja med ugrevanjem svetlobo pri 8o°C, 12o - 15o°C in 24o - 26o°C [1]. Naraven obsevan CaF_2 emitira svetlobo v več stopnjah: 1. pod 1oo°C, 2. pri 15o°C, 3. pri 275 - 3oo°C, 4. pri 35o°C, 5. in 6. nad 5oo°C [3]. Nižje temperaturni maksimumi oddajanja svetlobe imajo precejšen fading že pri sobni temperaturi, zato niso primerni za merjenje doze sevanja. Višje

temperaturni piki, nad 25o°C, imajo v prvih 16 urah pri sobni temperaturi 6 - 1o % fadinga, potem je ta proces počasen, le par % na mesec [1]. Sintetični CaF_2:Mn ima en sam maksimum oddajanja svetlobe pri 26o - 28o°C, če je količina dodanega mangana dovolj velika. Razni avtorji navajajo, da je potrebno dodati h CaF_2 vsaj 3 - 6 m/o MnF_2. Če je mangana manj, dobimo tudi nižje temperaturne pike [4,5,6,].

Termoluminiscentni prah CaF_2:Mn se pripravi s koprecipitacijo raztopine $CaCl_2$ + $MnCl_2$ z NH_4F oziroma iz vodne suspenzije $CaCO_3$ + $MnCO_3$ z HF. Oborino fluoridov se žari v inertni atmosferi pri 85o - 12oo°C [5,7]. Pri tem nastane trdna raztopina CaF_2 - MnF_2 [7].

Preparacija TL praškov

2,5 M raztopino 98,5 m/o Ca^{2+} in 1,5 m/o Mn^{2+} klorida smo obarjali s 1oo % prebitka 8 M raztopine NH_4F. Oborino fluoridov CaF_2 in MnF_2 smo filtrirali in posušili pri 1oo°C. Posušene fluoride z ostanki matične lužnice NH_4F, NH_4Cl in H_2O smo stisnili v brikete ø 3o mm in žarili v cevni peči v atmosferi argona 1 uro pri 65o - 115o°C. Po žganju smo tablete zdrobili v vibracijskem mlinu in presejali prah CaF_2:Mn skozi sito o,1 mm. TL praške, ki so bili žgani pri 75o - 115o°C smo oprali z vrelo HCl 1 : 1, dekantirali in sprali z vodo ter posušili pri 25o°C.

Rezultati in diskusija

Vzorce po 15o mg TL praška CaF_2:Mn smo obsevali s Co^{6o}, normalna doza obsevanja je bila 2o R in merili termoluminiscenco v odvisnosti od časa oziroma temperature praška.

Diagrami oddane svetlobe v odvisnosti temperature TL praška (diagram 1) kažejo pri praških, ki so bili žgani pri 65o - 75o°C nižje temperaturne maksimume oddajanja svetlobe. Sled nižje temperaturnega pika se pojavi tudi pri praških žganih na 85o°C, dočim kažejo praški žgani od 95o - 115o°C en sam maksimum oddajanja svetlobe.

Da bi dobili TL prah z enim maksimumom oddajanja svetlobe tudi pri nižji temperaturi sinteze praška, smo dodali oborini fluoridov Na_2O kot vodno steklo ali Na_2CO_3 in žgali TL prah pri 65o°C. Z dodatkom najmanj o,5 % Na_2O smo dobili praške, ki so imeli en maksimum oddajanja svetlobe.

Med merjenjem se TL praški v aparaturi za merjenje termoluminiscence segrejejo na 3oo - 35o°C. Pri tem so praški, ki so bili sintetizirani pri 65o - 7oo°C, že po prvem ogrevanju močno oksidirali in so bili po treh ogrevanjih neuporabni za meritve. Praški žgani pri 85o - 115o°C so bili stabilni na zraku do 4oo°C.

Ves MnF_2, ki smo ga oborili skupaj s CaF_2, ne gre med žganjem v trdno raztopino. V žganem prašku ostane še precej prostega MnF_2, ki duši termoluminiscenco praška. Zato smo TL praške po sintezi oprali z vročo HCl, v kateri je MnF_2 bolj topen kot CaF_2. Rezultati kemijske analize TL praškov so v tabeli 1.

Tabela 1

Vsebnost Mn^{2+} v TL praških CaF_2:Mn

Prah	Temp.žganja TL praška (°C)	Obdelava TL praška	Vsebnost Mn^{2+} (m/o)	Višina TL pika pri 2o R (rel.enota)
14	4oo	-	1,1	-
27	85o	opran v HCl	o,6	87o
27A	85o	-	o,9	22o
27B	9oo	opran v HCl	o,7	43o
27C	9oo	-	o,8	6o
27D	95o	opran v HCl	o,6	35o
27E	95o	-	1,1	9o
25	95o	opran v HCl	o,5	37o
26	95o	opran v HCl	o,5	35o
Količina dodanega Mn^{2+}			1,5	

Iz tabele je razvidno, da se vgradi v rešetko le o,5 - o,7 m/o MnF_2. Okoli o,5 m/o MnF_2 izpari iz praška že pri ugrevanju do 4oo°C. Do te temperature presublimira tudi NH_4Cl, (le-ta je ostanek matične lužnice) in verjetno odsublimira Mn kot $MnCl_2$.

Čeprav navajajo razni avtorji, da so dodali TL praškom do 6 m/o Mn^{2+}in dosegli najboljše rezultate, to je občutljivost praška z 3,5 m/o Mn^{2+}, pa na žalost ne navajajo kemične analize po končani sintezi tega praška. Prebiten MnF_2 duši termoluminiscenco in je po pranju v HCl občitljivost TL praškov narasla za cca 3 krat.

Občutljivost TL praškov pada z naraščanjem temperature žganja praška do 95o°C in je nato konstantna ter neodvisna od temperature žganja praška (diagram 2).

Sklep

S koprecipitacijo fluoridov 98,5 m/o Ca^{2+} in 1,5 m/o Mn^{2+} in žganjem oborine fluoridov pri 650°C dobimo TL prah, ki ima en maksimum oddajanja svetlobe le, če dodamo oborini fluoridov pred žganjem o,5 % Na_2O. Tak prah je občutljiv na kisik in med merjenjem oksidira, ter je po treh merjenjih neuporaben za nadaljne meritve. Z naraščajočo temperaturo sinteze praškov do 950°C postaja prah manj občutljiv proti oksidaciji, vendar je reproducibilnost posameznih šarž slaba. Količina oddane svetlobe pri isti dozi sevanja pada s temperaturo sinteze praška.

TL prah, ki smo ga sintetizirali iz oborine CaF_2 - MnF_2 pri 950 - 1150°C ima en maksimum oddajanja svetlobe. Višina pikov TL krivulj posameznih šarž praška je reproducibilna in neodvisna od temperature sinteze praška. Prah je stabilen na zraku do temperature 400°C.

Literatura

1. H.Adler, Zur Thermolumineszenz der Seltenen Erden in CaF_2, Acta Physica Austriaca, 12, 4, 357-399, 1959

2. J.H.Schulman, Survey of Luminiscence Dosimetry, Proc. of Int. Conf. on Luminiscence Dosimetry, Stanford University, Stanford, California June 21-23, 1965

3. R.Schayes et al, Thermoluminiscent Properties of Natural Calcium Fluoride, Proc. of Intern. Conf.

4. M.Frank, L. Herforth, Zur Thermolumineszenzdozimetrie mit CaF_2:Mn, Kerenergie 5, 3, 173-176 (1962)

5. T.Niewiodomski, Doping methods and some thermoluminiscent and dosimetric properties of LiF:Cu, Ag and CaF_2:Mn, Nukleonika 12, 4, 281-3o1 (1967)

6. R.J.Ginther, R.D.Kirk, The Thermoluminiscence of CaF_2:Mn, J. Electrochem. Soc. 1o4, 365-369 (1957)

7. R.C.Palmer, E.F.Blase, V.Poirier, A Coprecipitation Technique for the Preparation of Thermoluminiscent, Manganese Activated Calcium Fluoride (CaF_2:Mn) for use in Radiation Dosimetry, Int. J. Appl. Radiat. Isotop., 16, 11, 737-745 (1965)

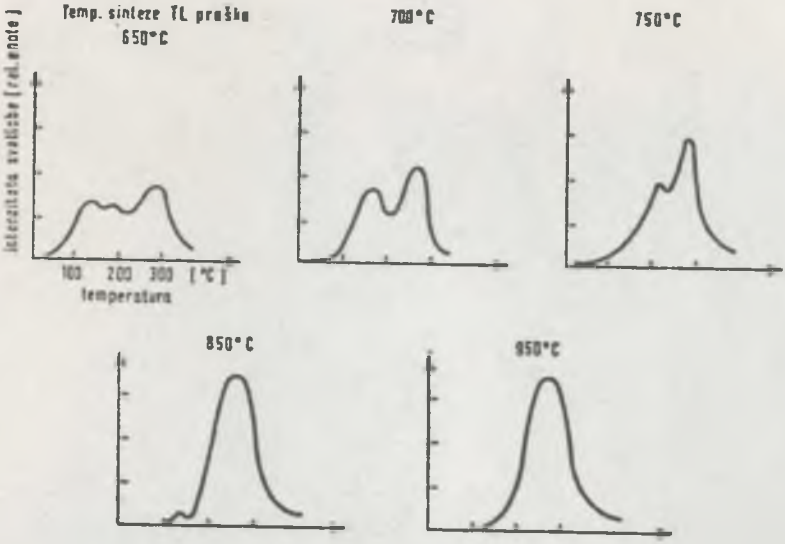


Diagram 1: Oblika sevalne krivulje v odvisnosti od temperature sinteze TL praška

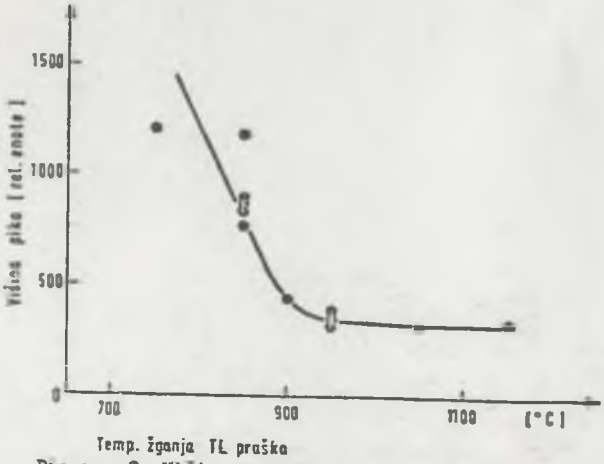


Diagram:2: Višina maksimuma sevalne krivulje po dozi 2o R v odvisnosti od temperature sinteze praška

ODREDJIVANJE DOZA NEUTRONA POMOĆU AKTIVACIONIH DETEKTORA

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

U v o d

Aktivacioni detektori su jedno od najčešće korišćenih sredstava za odredjivanje individualno primljenih doza neutrona i topografije neutronskog zračenja oko nuklearnih postrojenja u slučaju akcidenta. Njihova glavna prednost u odnosu na druga dozimetrijska sredstva je neosetljivost na gama zračenje, jednostavnost, širok opseg doza koje mogu da se mere istim dozimetrom, niska cena.

Odredjivanje doza neutrona pomoću aktivacionih detektora vrši se na sledeći način: na osnovu relativnih aktivnosti niza detektora,različito osetljivih na odredjene energetske oblasti neutrona, vrši se aproksimacija spektra. Za tako definisani spektar, fluks neutrona se dobija preko izmerene aktivnosti detektora, a zatim se doza odredjuje pomoću konverzionih faktora.

Za odredjivanje doza neutrona u svetu se koriste razne kombinacije aktivacionih detektora i različite metode aproksi-

macije neutronskih spektara[1][2]. Mada je do danas objavljen veći broj radova koji tretiraju problem korišćenja aktivacionih detektora u neutronskoj dozimetriji i mada postoji izvesno iskustvo u primeni aktivacionih detektora u akcidentalnoj dozimetriji, ipak još uvak ne postoji dozimetrijski sistem i metoda interpretacije koja bi bila preporučena kao najpodesnija za ličnu neutronsku dozimetriju oko nuklearnih postrojenja.

U ovom radu je dat prikaz akcidentalnog neutronskog dozimetra i metode koja se u Laboratoriji za zaštitu od zračenja Instituta "Boris Kidrič" koristi za uspostavljanje veze izmedju aktivnosti komponenata dozimetra i doze neutrona.

Aktivacioni detektori

U sastav akcidentalnog neutronskog dozimetra IBK ulaze: dva Cu-detektora i jedan Au-detektor za odredjivanje doza termalnih i epitermalnih neutrona; In-, S- i Mg-detektor za odredjivanje doza brzih neutrona[8]. Neke karakteristike korišćenig detektora date su u tablici 1.

Za svaki detektor ispitani su uslovi pod kojima može da se vrši merenje traženog izotopa u prisustvu drugih radioaktivnih izotopa, koji mogu da nastanu kao rezultat reakcije sa neutronima. Tako je na pr. zaključeno da In-detektor treba da se nalazi u apsorberu In+Cd, da bi se smanjio uticaj od aktivacije sa termalnim i epitermalnim neutronima i time omogućilo merenje In^{115m} u prisustvu In^{116m}. Za druge detektore je definisano minimalno vreme koje treba da protekne od kraja ozračivanja

Tablica 1

Neke karakteristike korišćenih aktivacionih detektora

Detektor	Debljina (mg/cm^2)	Indukovana reakcija	Merena aktivnost	Apsorber
Au	17	$Au^{197}(n,\gamma)Au^{198}$	β , γ	Cd
Cu	48	$Cu^{63}(n,\gamma)Cu^{64}$	β , γ	Cd
Cu	48	$Cu^{63}(n,\gamma)Cu^{64}$	β , γ	-
In	33	$In^{115}(n,n')In^{115m}$	γ	Cd+In
S	635	$S^{32}(n,p)P^{32}$	β	-
Mg	350	$Mg^{24}(n,p)Na^{24}$	γ	-

do početka merenja, kako bi se raspali kratkoživeći izotopi. Za S-detektor ono iznosi 24h, za β -merenje Cu-detektora - 1h, za In-detektor - 9h[3][4][5].

Merenje beta aktivnosti Cu- i Au-detektora vrši se sa beta scintilacionim brojačem čija je efikasnost detekcije odredjena ozračivanjem odgovarajućih detektora u poznatom fluksu termalnih neutrona. Efikasnost detekcije ovog brojača na P-32, koji se indukuje u S-detektorima, odredjena je po metodi koju je preporučio G.S.Hurst[6].

Merenje gama aktivnosti detektora vrši se merenjem intenziteta odgovarajućeg fotopika pomoću NaJ(Tl) kristala s jarmom koji je vezan za 400-kanalni amplitudski analizator. Efika snost detekcije ovog brojačkog kompleta je odredjena pomoću odgovarajućih gama standarda.

Pretpostavke o spektru neutrona

Aktivacioni detektori su namenjeni uglavnom za odredjivanje fluksa i doze neutrona na nuklearnim postrojenjima, gde neutroni nastaju fisijom. Polazeći od ove činjenice, uzeto je da se spektar neutrona može podeliti na:

- termalnu oblast, u kojoj se neutroni pokoravaju Maxwell-ovoj raspodeli i imaju najverovatniju energiju 0,025 eV,
- epitermalnu oblast, u kojoj se spektar neutrona može predstaviti funkcijom oblika 1/E; za donju granicu ove oblasti uzeta je vrednost 0,6eV, a za gornju granicu 0,1MeV,
- oblast brzih neutrona, u kojoj se spektar neutrona može predstaviti funkcijom oblika $E^{1/2}e^{-\beta E}$, gde je E - energija neutrona, a β - parametar koji uzima u obzir deformaciju čistog fisionog spektra. Kao gornja granica ove oblasti uzeta je vrednost 14 MeV.

Polazeći od ove podele spektra, integralni fluks koji treba odrediti pomoću aktivacionih detektora je zbir integralnih flukseva od termalnih, epitermalnih i brzih neutrona.

Uspostavljanje veze izmedju aktivnosti detektora i integralnog fluksa neutrona

Polazeći od činjenice da su ozračivanja u dosadašnjim akcidentima bila kratkotrajna, pri uspostavljanju veze izmedju aktivnosti detektora i fluksa neutrona, uzeto je da je vreme

ozračivanja mnogo kraće od poluživota radioizotopa koji se formira u detektoru. Druga pretpostavka je da je fluks u toku ozračivanja konstantan.

Odredjivanje integralnog fluksa termalnih i epitermalnih neutrona

Integralni fluks termalnih neutrona odredjuje se na osnovu izmerenih aktivnosti bakarnih detektora. Uspostavljanje veze izmedju aktivnosti bakarnih detektora i integralnog fluksa termalnih neutrona vrši se pomoću relacije

$$\varphi_{th}\tau = \Phi_{th} = \frac{A_{tot} - A_{Cd}}{\lambda\, \sigma_o n G_{th}} \qquad n/cm^2$$

gde je

φ_{th} - fluks termalnih neutrona ($n.cm^{-2}s^{-1}$)

τ - vreme ozračivanja (s)

Φ_{th} - integralni fluks termalnih neutrona ($n.cm^{-2}$)

A_{tot} - izmerena aktivnost nepokrivenog Cu-detektora na kraju ozračivanja ($dez.min^{-1}$)

A_{Cd} - izmerena aktivnost Cu-detektora u Cd-apsorberu na kraju ozračivanja ($dez.min^{-1}$)

λ - radioaktivna konstanta ($9,02.10^{-4} min^{-1}$)

σ_o - efikasni presek za termalne neutrone ($2,2.10^{-24} cm^2$)

n - broj atoma Cu-63 u Cu-detektoru

G_{th} - faktor "samozaklanjanja" za termalne neutrone.

Za korišćena Cu-detektore prečnika 1 cm i debljine 48 mg/cm^2 (G_{th}=1,0)

$$\Phi_{th} = 2{,}044.10^6 (A_{tot} - A_{Cd})_{Cu} \quad n/cm^2$$

Integralni fluks epitermalnih neutrona odredjuje se na osnovu aktivnosti Cu- i Au-detektora smeštenih u Cd-apsorber debljine 1 mm, primenom jednačine

$$\varphi_{int}\,\tau = \Phi_{int} = \frac{A}{\lambda\, n.I.G_{int}} \quad n/cm^2$$

gde je

φ_{int} - fluks epitermalnih neutrona ($n.cm^{-2}s^{-1}$)

τ - vreme ozračivanja (s^{-1})

Φ_{int} - integralni fluks epitermalnih neutrona ($n.cm^{-2}$)

A - izmerena aktivnost detektora na kraju ozračivanja ($dez.min^{-1}$)

λ - radioaktivna konstanta ($\lambda_{Au} = 1{,}785.10^{-4} min^{-1}$; $\lambda_{Cu} = 9{,}017.10^{-4} min^{-1}$)

n - broj atoma u detektoru

I - rezonantni integral ($I_{Au} = 1550.10^{-24} cm^2$; $I_{Cu} = 4{,}4.10^{-24} cm^2$)

G_{th} - faktor"samozaklanjanja"za epitermalne neutrone.

Za korišćene Au-detektore, prečnika 1 cm i debljine 17 mg/cm^2 ($G_{epi} = 0{,}55$)

$$\Phi_{int} = 1{,}610.10^5 . A_{Au} \quad n/cm^2$$

a za Cu-detektore prečnika 1 cm i debljine 48 mg/cm^2

$$\Phi_{int} = 1{,}175.10^6 . A_{Cu} \quad n/cm^2.$$

Ako se spektar epitermalnih neutrona pokorava zakonu 1/E, pomoću oba detektora dobiće se u granicama greške iste vrednosti

integralnog fluksa. Medjutim, ako se spektar ne pokorava zakonu 1/E, dobijene vrednosti integralnih flukseva će se razlikovati zbog različitih rezonantnih energija za korišćene reakcije u Au- i Cu-detektorima (E_{res}= 4,9 eV i E_{res} = 580 eV respektivno). Mada je time povećana greška u proceni fluksa, u ovom slučaju se uzima da je vrednost epitermalnog fluksa srednja vrednost flukseva dobijenih Cu i Au-detektorima.

Odredjivanje integralnog fluksa brzih neutrona

Kao što je ranije rečeno, prilikom odredjivanja integralnog fluksa brzih neutrona pretpostavlja se da se njihov spektar može predstaviti funkcijom oblika

$$\varphi_f(E) = m.e^{-\beta E}E^{1/2}$$

m je faktor normalizacije odabran tako da je zadovoljen uslov $m\int_{0,1}^{\infty} e^{-\beta E}.E^{1/2}.dE = 1$; parametar β, koji uzima u obzir deformaciju fisionog fluksa, odredjuje se na osnovu relativnih aktivnosti In- i Mg- ili In- i S-detektora, primenom metode spektralnih indeksa[7]. Kada se, na osnovu eksperimentalno dobijenih relativnih aktivnosti detektora, odredi parametar β, pomoću računski odredjenih krivih, prikazanih na grafiku 1, integralni fluks brzih neutrona se odredjuje pomoću standardne formule iz aktivnosti bilo kojeg detektora

$$\varphi_f \cdot t = \Phi_f = \frac{A_i}{\lambda_i . \sigma_i(\beta) . n_i} \quad n/cm^2$$

gde je

A - izmerena aktivnost detektora (dez.min^{-1})

φ_f - fluks brzih neutrona (n.$cm^{-2}s^{-1}$)

t - vreme ozračivanja (s^{-1})

Φ_f - integralni fluks brzih neutrona ($n.cm^{-2}$)

λ_i - radioaktivna konstanta ($\lambda_{In} = 2,567.10^{-3}$, $\lambda_S = 3,368.10^{-5}$, $\lambda_{Mg} = 7,717.10^{-4}$ min^{-1})

n_i - broj atoma u detektoru

σ_i - srednji efikasni prekes za korišćenu reakciju, koji odgovara izmerenoj vrednosti parametra β (grafik 2).

Naša ranija ispitivanja su pokazala da se najbolja aproksimacija spektra, odnosno najpreciznija vrednost parametra β može dobiti ako se njegovo odredjivanje vrši iz relativnih aktivnosti In- i Mg-detektora. Medjutim, zbog relativno male osetljivosti magnezijuma na neutrone, u slučaju ozračivanja akcidentalnog dozimetra dozama nižim od 50 rad, bolje je koristiti kombinaciju In-S, kojom takolje treba da se dobiju dobre aproksimacije spektra.

Dalja analiza rezultata dobijenih akcidentalnim neutronskim dozimetrom je pokazala da je indijum najmanje osetljiv detektor na promene oblika spektra, tako da se njegova aktivnost koristi kao referentna pri uspostavljanju veze izmedju aktivnosti detektora i integralnog fluksa neutrona[8].

In-detektori, koji ulaze u sastav našeg akcidentalnog neutronskog dozimetra, imaju prečnik 20 mm i debljinu 33 mg/cm^2, pa je

$$\Phi_f = 7,368.10^{-19} \frac{\lambda_{In}}{\sigma(\beta)} \qquad n/cm^2$$

Uspostavljanje veze izmedju integralnog fluksa i apsorbovane doze neutrona

Pri uspostavljanju veze izmedju integralnog fluksa i doze neutrona u slučaju akcidenta, u svetu se doza izražava na različite načine: kao površinska doza, kerma, doza prvog ili višestrukog sudara, pri čemu se uzima,ili se ne uzima u obzir doza od gama zračenja nastalog $H^1(n,\gamma)$ reakcijom[9][10][11].

Mi smo usvojili da doza, dobijena na osnovu podataka sa akcidentalnog neutronskog dozimetra, bude izražena kao doza prvog sudara, koja uključuje samo apsorbovanu energiju od jezgara uzmaka i produkata $N^{14}(n,p)C^{14}$ reakcije.

Veza izmedju doze prvog sudara i integralnog fluksa neutrona odredjena je za svaku napred definisanu energetsku oblast posebno.

Za termalne neutrone usvojena je vrednost

$$D_{n1} = 2{,}04.10^{-11}\ \mathrm{rad.n^{-1}.cm^{2}}$$

Za epitermalne neutrone doza prvog sudara je odredjena numeričkom integracijom jednačine

$$D_{n2} = k \int_{0{,}6\ 10^{-6}}^{0{,}1} \frac{D(E)}{E}\, dE$$

gde je k - faktor kojim se vrši normiranje fluksa epitermalnih neutrona, a D(E) - doza prvog sudara za neutrone energije E. Dobijeno je

$$D_{n2} = 6{,}41.10^{-11}\ \mathrm{rad.n^{-1}.cm^{2}}$$

Za brze neutrone doza prvog sudara je izračunata numeričkom integracijom jednačine

$$D_{n3} = m \int_{0,1}^{1,4} D_n(E).e^{-\beta E}.\ E^{1/2}.dE = D_{n3}(\beta) \quad \text{rad}$$

za različite vrednosti parametra β . Dobijene vrednosti prikazane su na grafiku 3.

Polazeći od ovih korelacija, dobija se veza izmedju integralnog fluksa i totalne doze neutrona:

$$D_{tot}(n) = \Phi_{th}.D_{n1} + \Phi_{int}.D_{n2} + \Phi_f.D_{n3} =$$

$$= 2,04.10^{-11}.\Phi_{th} + 6,41.10^{-11}.\Phi_{int} +$$

$$+ D_{n3}.\Phi_f \quad \text{rad}$$

Za akcidentalni neutronski dozimetar IBK uspostavljena veza izmedju totalne doze neutrona direktno je korelirana sa aktivnošću pojedinih aktivacionih detektora. Ova korelacija glasi

$$D_{tot}(n) = (4,170.A_{tot}(Cu) + 0,516.A_{Cd}(Au) - 0,405.A_{Cd}(Cu)).10^{-5} +$$
$$+ 7,368.10^{-19}\ A(In).D_{n3}/\sigma_{In}(\beta) \quad \text{rad}$$

$A_{tot}(Cu)$, $A_{Cd}(Cu)$, $A_{Cd}(Au)$ i $A(In)$ su izmerene aktivnosti nepokrivenih odnosno pokrivenih detektora sa Cd apsorberom, obračunate na kraj ozračivanja. $\sigma_{In}(\beta)$ i $D_f(\beta)$ su srednji efikasni presek za $In^{115}(n,n')In^{115m}$ reakciju sa fisionim neutronima čiji spektar odgovara parametru β i doza po neutronu koja odgovara istom parametru β . Ove vrednosti se dobijaju sa odgovarajućih grafika (2 i 3) na osnovu relativnih aktivnosti In i Mg, odnosno In i S detektora.

Z a k l j u č a k

Opisanom metodom može se uspostaviti veza izmedju aktivnosti detektora i bilo koje doze neutrona. S obzirom da do danas ne postoji opšte prihvaćena jedinica kojom treba izražavati rezultate dobijene akcidentalnim dozimetrom, mi smo kao jedinicu usvojili dozu prvog sudara izraženu u radima.

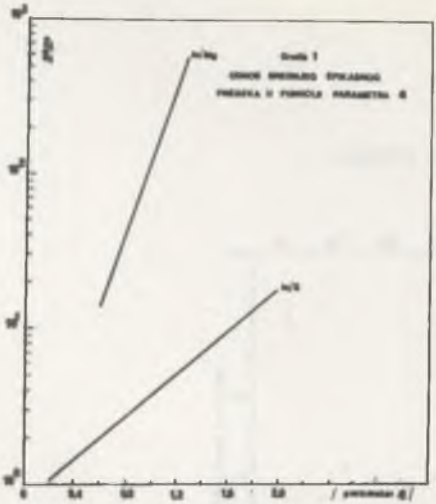
Dosadašnja iskustva, stečena komparacijom naših rezultata sa rezultatima koji se dobijaju drugim dozimetrijskim sistemima[13], ukazuju da se navedenom kombinacijom detektora i primenom opisane metode dobijaju dobri podaci o dozi neutrona, tj. da je u slučaju direktnog homogenog ozračivanja moguće odrediti dozu sa greškom manjom od 25%, što je u saglasnosti sa preporukama IAEA[2].

Naša dalja ispitivanja na polju akcidentalne neutronske dozimetrije odnosiće se na:

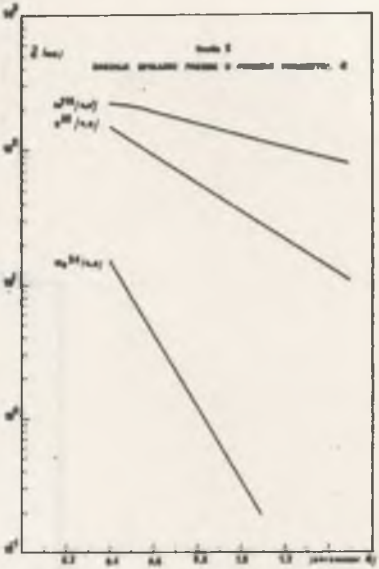
- ispitivanje pokazivanja dozimetra u jako deformisanim fisionim fluksevima,
- odredjivanje korekcije zbog orijentacije ozračene osobe u polju zračenja,
- uspostavljanje korelacije izmedju apsorbovane doze i pokazivanja dozimetra u slučaju parcijalnih ozračivanja.

L i t e r a t u r a

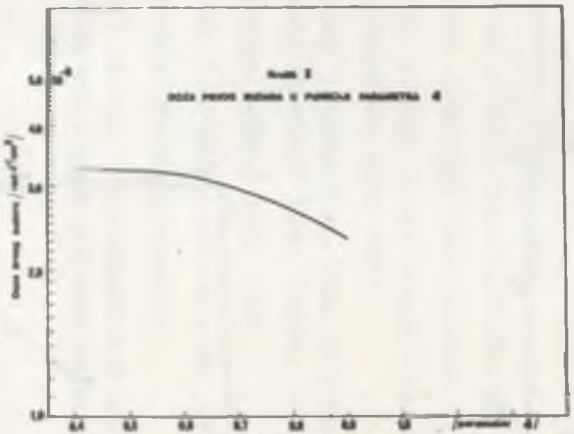
1. Proc. Symp. "Personnel Dosimetry for Radiation Accidents" IAEA, Vienna, 1965
2. Proc. of a Panel "Nuclear Accident Dosimetry Systems" IAEA Vienna, 1970
3. I.Mirić, M.Prokić, P.Mirić, IBK-527, 1967
4. I.Mirić, M.Prokić, P.Mirić, IBK-646, 1968
5. N.P.Baumann, DP-817, 1963
6. G.S.Hurst et al., Rev.Sci.Instr. 27, No.3, 153 (1956)
7. M.Bricka, G.Soudain, Radioprotection 1, 15, (1966)
8. I.Mirić, P.Mirić, D.Veličković, 2nd International Congress IRPA, Brighton, May, 1970
9. P.Candes, J.Lamberieux, Proc of a Panel "Nuclear Accident Dosimetry Systems" IAEA, Vienna, 1970 str. 25
10. J.A.Dennis, AERE-R 4365, 1964
11. N.Adams, J.A.Dennis, AERE-R 6008, 1969
12. J.A.Dennis, privatno saoštenje
13. P.Mirić et al., "Interkomparacija akcidentalnih dozimetara za neutronsko i gama zračenje na uredjaju CRAC" (u štampi)



Grafik 1.



Grafik 2.



Grafik 3.

UTICAJ NEUTRONA RAZLIČITIH ENERGIJA NA TAČNOST ODREDJIVANJA GAMA DOZE POMOĆU DOZIMETRIJSKOG FILMA

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

U V O D

U sklopu akcidentalnog dozimetra u IBK, Kodak-RM film se koristi za odredjivanje gama doza. Ovaj tip filma ima opseg doza od 50 mR do 800 R.

Osetljivost filma je, kao i za većinu dozimetara funkcija energije i vrste zračenja, pa se nastoji da se uspostavi veza izmedju osetljivosti filma na datu vrstu zračenja, sa osetljivošću filma na gama zračenje Co^{60} ili Ra^{226}.

Poseban problem predstavlja odredjivanje osetljivosti dozimetrijskog filma na neutrone. Razlog je u tome što je film mnogo osetljiviji na gama zračenje nego na neutrone, tako da gama zračenje "maskira" dejstvo neutrona.

Dejstvo neutrona na različite tipove Du Pont i Eastman Kodak filmove, detaljno su ispitali autori M.Ehrlich[1], R.J. Smith and R.F.Benck[2], kao i T.T.Mercer and R.Golden[3]. Medjutim, ne postoje literaturni podaci o uticaju neutrona na Kodak -RM film. U ovom radu odredjen je uticaj termalnih, epitermalnih i fisionih neutrona na ovaj tip dozimetrijskog filma.

Osetljivost dozimetrijskih filmova uglavnom zavisi od energije neutrona, veličine i količine nerazvijenog zrna AgBr,

i to na takav način da osetljivost raste sa porastom energije neutrona i količine AgBr, a opada sa porastom zrna AgBr.

1.1. Sastav Kodak - RM filma

Kodak-RM film se sastoji od celuloidne baze na koju je sa obe strane nanesena emulzija koja sadrži želatin i AgBr. Različita količina, kao i veličina zrna AgBr uslovljava da se osetljivost emulzije s jedne i druge strane razlikuje za faktor 100. Opseg doza koje se mogu meriti ovim filmom, kreću se od 50 mR do 800 R.

U tabeli 1. dati su hemijski sastav emulzije i srednji dijametar nerazvijenog zrna AgBr.

Tabela 1.

Srednja veličina nerazvijenog zrna AgBr(μ)		Hemijski sastav filma	Debljina (mg/cm^2) pojedinih komponenata Kodak-RM filma	
Osetljivija emulzija	Manje osetljiva emul.		Osetljivija emulzija	Manje osetljiva emulzija
1,26	0,2	AgBr	2,30	0,70
		Ag	1,51	0,42
		želatin (C,H,N,O,S)	1,09	1,26
		baza(CHO) celuloid acetat	24,65	

1.2. Interakcija neutronskog zračenja sa fotomaterijalom

U interakciji termalnih neutrona s filmom, jezgra Ag i Br zahvataju termalne neutrone i kao rezultat ovih (n, gama) nuklearnih reakcija nastaju radioaktivni izotopi koji se raspadaju emitujući beta i gama zračenje.

Pored ovih reakcija, u manjoj meri doprinos zacrnjenju filma daju (n,p) reakcije sa ugljenikom i azotom. Najveći doprinos zacrnjenju filma potiče od raspada Ag^{108} i Ag^{110} nastalih reakcijama $Ag^{107}(n,gama)Ag^{108}$ i $Ag^{109}(n,gama)Ag^{110}$, što znači da emulzije sa većom količinom Ag, imaju veću osetljivost na termalne neutrone. T.T. Mercer and R.Golden[3] posle opsežnog teorijskog razmatranja, postavili su jednačinu:

$$Dth\ (beta) = 0,52 \cdot t_{Ag} \cdot F_{th} \cdot 10^{-10} \quad /rad/ \ldots \quad (1)$$

koja predstavlja dozu predatu emulziji filma od aktiviranog srebra i funkcija je količine srebra u emulziji filma i fluksa termalnih neutrona.

U interakciji fotomaterijala sa epitermalnim neutronima ($0,5\ eV < E < 10\ KeV$) zacrnjenje filma potiče od aktiviranja Ag^{109} rezonantnim zahvatom neutrona energije $En = 5,2\ eV$. Rezonantni integral ima vrednost od 1160 b.

T.T.Mercer and R.Golden[3] su teorijski i eksperimentalno odredili uticaj epitermalnih neutrona na film, i pokazali da se srednja doza u dvoslojnoj emulziji može proceniti pomoću jednačine

$$D_{eth}(beta) = 1,57 \cdot t_{Ag} \cdot F_{th} \cdot 10^{-10}/(0,98\overline{CdR} - 1) \quad /rad/ \ldots\ldots \quad (2)$$

tj. da je doza funkcija sadržaja srebra u emulziji filma, fluksa termalnih neutrona i Cd odnosa.

Interakcija filma sa brzim neutronima (10 KeV < E < 20 MeV) uglavnom se vrši preko (n,p) elastičnog rasejanja na vodoniku. Protoni uzmaka i najviših energija imaju manji domet od kombinovane debljine filma i papirnog omotača, što znači da u emulziji filma postoji protonska ravnoteža.

Na putu kroz emulziju, protoni uzmaka će pogoditi zrna AgBr, dajući na taj način odredjeno zacrnjenje. Ukoliko duž svog puta proton pogodi veći broj zrna AgBr, odnosno ukoliko su zrna manjih dimenzija, zacrnjenje će biti veće i film osetljiviji na brze neutrone.

1.3. Eksperimentalni rezultati

1.3.1. Odredjivanje osetljivosti Kodak-RM filma na termalne neutrone

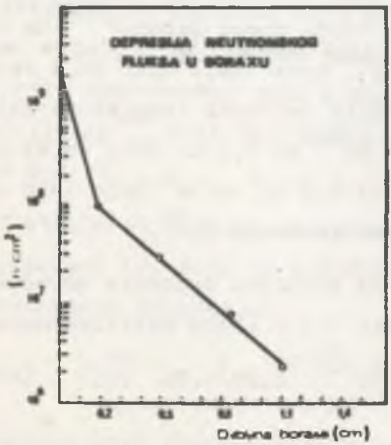
Za eksperimentalno odredjivanje osetljivosti Kodak-RM filmova na termalne neutrone korišćena je TK reaktora RA[4]. Integralni fluksevi koji su korišćeni u eksperimentu uzimali su vrednosti od $1 \cdot 10^9$ - $2,8 \cdot 10^{10}$ n/cm^2. Od odnos, izmeren pomoću In folija na mestu eksperimenta (izlaz iz TK) bio je zanemarljiv (1 %). Doza gama zračenja koje prati neutronski fluks imala je vrednost od 3,5 R/h.

Filmovi su bili ozračeni u kasetama koje se koriste za kontrolu osoblja u IBK[8] i pokazivali su dozu

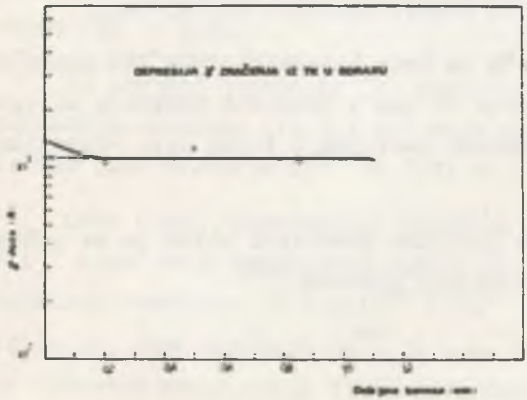
$$D_{n+gama} = D_{gama} + K_{th} \cdot D_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

koja predstavlja superpoziciju efekata od termalnih neutrona i gama zračenja na filmsku emulziju.

Da bi se odredilo zacrnjenje filma koje potiče samo od pratećeg gama zračenja (D_{gama}), filmovi su pakovani u apsorbere od boraksa debljine 0,85 cm koji dovoljno apsorbuje neutronski



Slika 1. Depresija neutronskog fluksa u boraksu



Slika 2. Depresija gama zračenja iz TK u boraksu

fluks (slika 1) a ne izaziva osetnu depresiju gama zračenja (slika 2).

Fluks termalnih neutrona odredjen je pomoću indijumskih folija. Koristeći podatke za "dozu prvog sudara"[5] da fluks termalnih neutrona od $4,54 \cdot 10^{10}$ n/cm^2 daje dozu od 1 rad, dobijeno je da doza od 1 rad termalnih neutrona izaziva na filmu isto zacrnjenje kao gama zračenje Co^{60} od 7,3 R. Ili, to bi značilo da fluks termalnih neutrona od $6,2 \cdot 10^9$ n/cm^2 daje isto zacrnjenje na Kodak-RM filmu kao 1 R gama zračenja Co^{60}.

Osetljivost filmova na termalne neutrone odredjena je i računskim putem po jednačini (1) u nešto modifikovanom obliku:

$$D_{th}(\text{gama}) = 0,52 . t_{Ag} . F_{th} \cdot 10^{-10} . 1,35/0,93 \ (R). \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Pošto se aktivirano srebro raspada emitujući beta zračenje, dozu iz jednačine (1) potrebno je korigovati za faktor koji pokazuje koliko je puta film osetljiviji na beta zračenje od 2,17 MeV, nego na gama zračenje.

Proračun osetljivosti po gornjoj jednačini dao je vrednost, 6,6 R/rad koja je niža od eksperimentalno odredjene.

Razlika rezultata se može objasniti time što zacrnjenju filma doprinosi aktivirani Br kao i produkti reakcija na ugljeniku i azotu, čiji doprinosi zacrnjenju filma nisu obuhvaćeni ovom jednačinom.

Eksperimentalno dobijene vrednosti slažu se sa podacima za druge tipove dozimetrijskih filmova[1,2].

1.3.2. Odredjivanje osetljivosti Kodak-RM filmova na epitermalne neutrone

Epitermalni neutroni koji uvek prate fluks termalnih neutrona, delujući na filmsku emulziju daće veći prinos Ag^{110}, odnosno veću apsorbovanu dozu u emulziji filma nego termalni neutroni jer Ag^{109} vrši rezonantni zahvat epitermalnih neutrona energije 5,2 eV.

Osetljivost filmova na epitermalne neutrone proračunata je po jednačini (2) koja je modifikovana na indentičan način kao u prethodnom poglavlju:

$$D_{eth(gama)} = 1,57 \cdot t_{Ag} \cdot F_{th} \cdot 10^{-10} \cdot 1,35/0,93\ (0,98\overline{CdR} - 1) \quad /R/ \ldots (5)$$

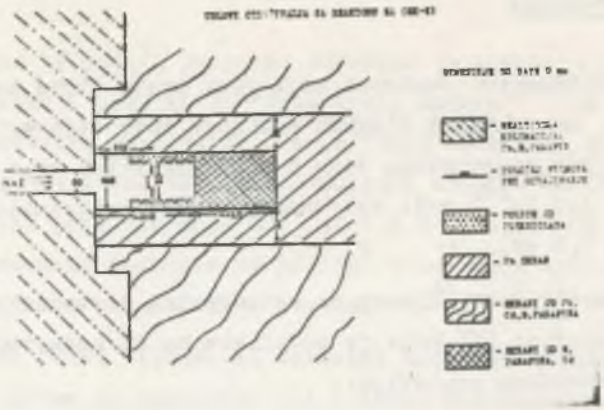
gde je:

- t_{Ag}, težina srebra u emulziji filma (tablica 1)
- F_{th}, fluks termalnih neutrona, $4,54 \cdot 10^{10}$ n/cm^2/rad
- $\overline{CdR}$, kadmijumski odnos 3,66.

$\overline{CdR}$ je odredjen pomoću Au folija i Cd apsorbera debljine 0,07 cm[6], na izlazu kanala HK-E, reaktora RA, Vinča (slika 3)i dobijena je vrednost $\overline{CdR}$ = 3,66.

Po gornjoj jednačini (5) dobijeno je da doza od 1 rad epitermalnih neutrona (od 5,2 eV) daje ekvivalentno zacrnjenje filma kao gama zračenje Co^{60} od 7,73 R.

Kako fluks epitermalnih neutrona energije 5 eV, od $5,8 \cdot 10^{11}$ n/cm^2 daje dozu prvog sudara od 1 rad[5], tada će fluks epitermalnih neutrona od $7,5 \cdot 10^{10}$ n/cm^2 dati zacrnjenje filmske emulzije kao gama zračenje Co^{60} od 1 R. Ovaj rezultat pokazuje da je fluks-na osetljivost filma na epitermalne neutrone (od 5 eV) vrlo niska.



Slika 3. Uslovi ozračivanja na reaktoru RA (HK-E)

1.3.3. Odredjivanje osetljivosti Kodak-RM filmova na fisione neutrone

Za eksperimentalno odredjivanje osetljivosti filmova na fisione neutrone korišćen je fluks neutrona na ulazu HK-E reaktora RA(slika 3).

Eksperimentalni uslovi su bili prilično nepovoljni: fluks fisionih neutrona na mestu ozračivanja bio je praćen veoma jakim fluksevima termalnih i epitermalnih neutrona, kao i intenzivnim gama zračenjem. Zacrnjenje filma je, prema tome predstavljalo superpoziciju efekata svih ovih vrsta zračenja:

$$Df = D_{gama} + K_{th} \cdot D_{th} + K_{eth} \cdot D_{eth} + K_{fis} \cdot D_{fis} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Fluksevi termalnih i epitermalnih neutrona mereni su pomoću Au folija, odnosno pomoću Au folija u Cd apsorberu debljine 0,07 cm[6], dok je fluks fisionih neutrona odredjen sa S pastilama[7].

Filmovi su ozračivani u standardnim kasetama koje se koriste pri kontroli osoblja u IBK[8]: 1.- pri nominalnoj snazi reaktora od 6,5 MW i 2.- na snazi od 1 MW.

Srednje vrednosti integralnih flukseva na snazi od 6,5 MW i 1 MW bile su:

6,5 MW: $F_{th} = 1,5 \cdot 10^{11}$ n/cm^2
$F_{eth} = 3,7 \cdot 10^{9}$ n/cm^2
$F_{fis} = 2,2 \cdot 10^{10}$ n/cm^2

1 MW: $F_{th} = 2,6 \cdot 10^{10}$ n/cm^2
$F_{eth} = 6,3 \cdot 10^{8}$ n/cm^2
$F_{fis} = 2,9 \cdot 10^{9}$ n/cm^2.

Odnosi flukseva za nominalnu snagu od 6,5 MW i 1 MW nisu proporcionalni: za termalne neutrone odnos flukseva iznosio je 5,5, za epitermalne oko 6, dok se za fisione neutrone kretao preko 7,5. Odnos gama zračenja za dve različite snage reaktora odredjen je pomoću grafitne jonizacione komore i Ionex-a i iznosio je 5,4.

Ako se doze odredjene pomoću zacrnjenja filmova za dve različite snage RA napišu prema jednačini (6), dobiće se:

$$\text{za 6,5 MW:} \quad D_{1f}/R/ = D_{gama} + K_{th} \cdot D_{1th} + K_{eth} \cdot D_{1eth} + K_{fis} \cdot D_{1fis}$$

$$\text{za 1 MW:} \quad D_{2f}/R/ = D_{gama}/5,4 + K_{th} \cdot D_{2th} + K_{eth} \cdot D_{2eth} + K_{fis} \cdot D_{2fis} \qquad (7)$$

gde su:

- D_{1f} i D_{2f} su srednje vrednosti doza koje odgovaraju zacrnjenjima filmova ozračenih na snazi RA od 6,5 MW, odnosno 1 MW
- D_{1th}, D_{1eth}, D_{1fis}, D_{2th}, D_{2eth}, D_{2fis} su vrednosti doza odredjenih već opisanom metodom uz korišćenje relacija za dozu prvog sudara tkivnoekvivalentnog materijala[5]

- K_{th} i K_{eth} su već odredjeni korekcioni faktori koji pokazuju osetljivost Kodak-RM filmova na termalne i epitermalne neutrone.

Vrednost za faktor K_{fis} koji daje osetljivost filmske emulzije na fisione neutrone iznosi oko 0,037 R/rad. Ili, ako se zna da fluks fisionih neutrona od $3,6 \cdot 10^8$ n/cm^2 daje dozu prvog sudara u tkvivnoekvivalentnom materijalu od 1 rad, tada će fluks fisionih neutrona od $9,7 \cdot 10^9$ n/cm^2 dati isto zacrnjenje na Kodak-RM filmu kao 1 R gama zračenja Co^{60}.

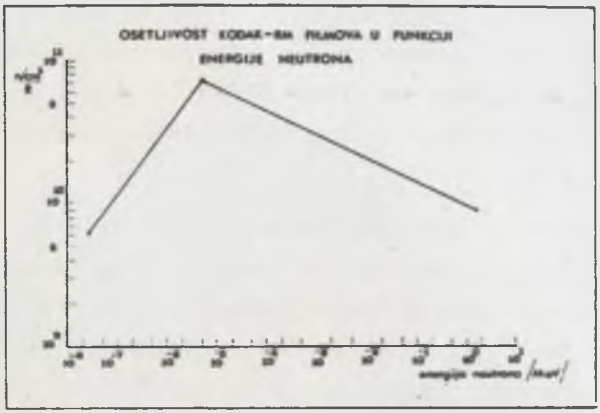
Dozna osetljivost filmova na brze neutrone je mala, medjutim, fluksna osetljivost filmova je istog reda veličine kao na termalne neutrone.

Prema zapažanjima M.Ehrlich[1] da osetljivost filmova na brze neutrone zavisi od dimenzije zrna AgBr, rezultat koji je dobijen za Kodak-RM film odgovara veličini zrna AgBr ovog tipa filma.

1.4. Analiza rezultata

Dozna osetljivost Kodak-RM filmova na fisione neutrone je za dva reda veličine niža od osetljivosti na termalne i epitermalne neutrone. Medjutim, fluksna osetljivost filmova je istog reda veličine na termalne i fisione neutrone, dok je na epitermalne neutrone od 5 eV (sa kojima film najviše reaguje) za red veličine niža (slika 4).

Za tačno merenje gama doze u mešovitom (n,gama) polju zračenja, neophodno je poznavanje neutronskog fluksa. Za veličine neutronskih flukseva i gama zračenja na horizontalnim kanalima reaktora RA, doza koju pokazuje film je, kao što je napomenuto



Slika 4. Osetljivost Kodak-RM filmova u funkciji energije neutrona

zbirna doza od svih prisutnih komponenata.

Od ukupne doze, 73,5 % poticalo je od gama zračenja, 24,2 % poticalo je od termalnih neutrona, 2,25 % od fisionih neutrona i svega 0,05 %, znači zanemarljiv %, poticao je od epitermalnih neutrona energije 5 eV.

Ako pretpostavimo da su fluksevi termalnih, epitermalnih i fisionih neutrona jednaki, procenat doze koji pripada pojedinim komponentama neutronskog fluksa bio bi:

58,2 % potiče od F_{th}
4,5 % potiče od F_{eth}
37,3 % potiče od F_{fis}.

Z A K L J U Č A K

Osetljivost filmova na neutrone različitih energija dobija svoj puni smisao u okolini nuklearnih postrojenja, gde visoki neutronski filuksevi mogu da prouzrokuju veliku grešku u proceni gama doze.

Rezultati su pokazali da su Kodak-RM filmovi fluksno osetljiviji na termalne i fisione neutrone nego na epitermalne. Da bi se dobila tačna gama doza u mešovitom (n,gama) polju zračenja, neophodno je izvršiti korekciju doza koju pokazuju filmovi zbog njihove osetljivosti na termalne i fisione neutrone. U našem eksperimentu, ta korekcija je iznosila 26,5 %.

Bibliografija

1. M.Ehrlich; Health Physics 4, No 2,113,(1960).
2. R.J.Smith and R.F.Benck; Health Physics 9, No 5, 473 (1963)
3. T.T.Mercer and R.Golden; Health Physics 9, No 2, 167 (1963)
4. M.Prokić; Zbornik radova sa IV jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, (1969)
5. H.Blatz,; Radiation Hygiene Handbook, Mc Grow Hill Book Company, Inc New York (1959)
6. I.Mirić, P.Mirić, M.Prokić, P.Marković; IBK-364 (1965)
7. I.Mirić, M.Prokić, et al; IBK-646 (1968)
8. I.Mirić, P.Mirić, P.Marković; IBK-94(1964).

PE 840/70

KOMPARACIJA PODATAKA DOBIJENIH AKTIVACIONIM DETEKTORIMA I FIZIOLOŠKIM RASTVOROM U CILJU PROCENE APSORBOVANE DOZE NEUTRONA

I.Mirić, Ž.Ubović, M. Trajković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Uvod

Odredjivanje apsorbovane doze neutrona na osnovu radioaktivnosti ^{24}Na nastalog $^{23}Na(n,\gamma)$ reakcijom u telu ozračene osobe,predstavlja jedan od najstarijih načina odredjivanja apsorbovane doze u slučaju akcidenta(1). Ova metoda se i danas koristi u akcidentalnoj dozimetriji za selekciju ozračenih osoba, procenu orijentacije ozračene osobe u odnosu na pravac snopa zračenja i procenu apsorbovane doze neutrona za osobe koje u slučaju akcidenta nisu imale odgovarajuća dozimetrijska sredstva. Pri tome se većinom predvidja da se selekcija ozračenih osoba vrši merenjem radioaktivnosti ^{24}Na u celom telu (pomoću monitora zračenja ili whole body countera), a da se za procenu apsorbovane doze koriste uzorci krvi ili krvnog seruma koji se mere gama scintilacionim brojačem.

Pri proceni apsorbovane doze neutrona na osnovu indukovane aktivnosti ^{24}Na koriste se sledeće činjenice:

- Sadržaj natrijuma u telu je pod normalnim fiziološkim uslovima nepromenljiv. On čini oko 0,15% telesne težine, što prema podacima ICRP[2] iznosi 105 gr u telu standardnog čoveka (novija ispitivanja su pokazala da su navedene vrednosti oko 1,4 puta veće od eksperimentalno dobijenih[3]). Ova činjenica omogućava uspostavljanje veze izmedju aktivnosti ^{24}Na i integralnog fluksa neutrona.
- Raspodela natrijuma u telu je kompleksna i zavisi od relativne količine mekog tkiva, krvnih sudova i drugih komponenata u različitim delovima tela. Medjutim, može se uzeti da je natrijum relativno ravnomerno rasporedjen u telu čoveka, a cirkulacijom krvi dolazi do njegovog potpunog mešanja posle relativno kratkog vremena koje iznosi 10-20 min. Iz toga sledi da će nastali ^{24}Na biti ravnomerno rasporedjen po celom organizmu, a specifična aktivnost krvi biće srazmerna srednjoj apsorbovanoj dozi.
- $^{23}Na(n,\gamma)^{24}Na$ reakcija nastaje sa primarnim termalnim ili sa termalizovanim neutronima u telu čoveka. Efikasni presek za reakciju sa termalnim neutronima iznosi (534±5) mb.

Za uspostavljanje veze izmedju aktivnosti ^{24}Na i totalnog fluksa neutrona u većini slučajeva koristi se relacija koju su dali G.S.Hurst i R.H.Ritchie[4] čija je jedna varijanta:

$$A = \frac{\Sigma_{Na}}{\Sigma_{tot}} \cdot \frac{S}{V} \lambda \int \xi(E).\phi(E).dE \qquad (1)$$

gde je

A - aktivnost ^{24}Na po $mg^{23}Na$ (μCi $^{24}Na/mg^{23}Na$)

S - projekcija fantoma na pravac normalan na snop (cm^2)

W - ukupna količina ^{23}Na u fantomu (gr)

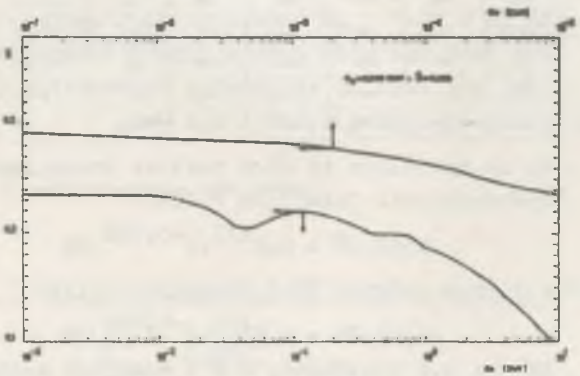
λ - radioaktivna konstanta ($3,468.10^{-10}$ uCi/atom ^{24}Na)

$\emptyset(E)$- diferencijalni fluks neutrona ($n.cm^{-2}$)

$\xi(E)$- verovatnoća za zahvat neutrona energije E (Sl.1)

ΣNa - makroskopski efikasni presek za $^{23}Na(n,\gamma)$ reakciju sa termalnim neutronima (cm^{-1})

Σ_{tot}- ukupni tkivni makroskopski presek za termalne neutrone (cm^{-1})



U ovom radu je odredjena aktivacija ^{24}Na u fiziološkom rastvoru koji je ozračen neutronskim spektrima koji se dobijaju u aluminijumskoj zaštiti vertikalnog kanala (VK-5), na izlazu iz horizontalnog kanala (HK-E) i u termalnoj koloni (TK) reaktora RA. Teorijske vrednosti su eksperimentalno proverene merenjem aktivacije ^{24}Na u fantomu napunjenom rastvorom NaCl (koncentracije 1,5 mg ^{23}Na/ml rastvora).

Odredjivanje aktivacije Na u fiziološkom rastvoru

Procena spektra i odredjivanje integralnog fluksa i doze prvog sudara termalnih, epitermalnih i brzih neutrona u VK-5, na izlazu iz HK-E i u TK reaktora RA vršeni su akcidentalnim neutronskim dozimetrom IBK[5]. Rezultati dobijeni pomoću ovog dozimetra pokazali su:

- da se na svim mestima spektar termalnih neutrona pokorava Maxwell-ovoj raspodeli,
- da se u VK-5 i na izlazu iz HK-E spektar epitermalnih neutrona može aproksimirati funkcijom oblika 1/E, pri čemu su za granice epitermalne oblasti uzete vrednosti 0,6eV i 0,1 MeV,
- da se na izlazu iz HK-E spektar brzih neutrona može aproksimirati funkcijom oblika

$$f(E).dE = m.E^{1/2}.e^{-0,75E}.dE$$

a u svim tačkama VK-5 funkcijom oblika

$$f(E).dE = n.E^{1/2}.e^{-0,78E}.dE$$

gde su m,n konstante, a E - energija neutrona,
- da se u TK fluks epitermalnih i brzih neutrona može zanemariti,
- da fluksevi i brzine doza neutrona u pojedinim tačkama imaju vrednosti prikazane u tablici 1.

Za ovako definisane energetske spektre neutrona, Hurst-Ritchie-eva jednačina za aktivaciju ^{24}Na u fiziološkom rastvoru može da se aproksimira izrazom

$$A = k(\xi_1\phi_1 + \xi_2\phi_2 + \xi_3\phi_3) \qquad (2)$$

gde je

$$k = \frac{\Sigma_{Na}.S.\lambda}{\Sigma_{tot}.W}$$

a

ξ_1, ξ_2, ξ_3 - srednja verovatnoća zahvata termalnih, epitermalnih, odnosno brzih neutrona,

$\emptyset_1$, $\emptyset_2$, $\emptyset_3$ - srednji integralni fluks termalnih, epitermalnih, odnosno brzih neutrona ($n.cm^{-2}$)

Tablica 1

ENERGETSKA RASPODELA FLUKSA I DOZE NEUTRONA NA RA

Mesto ozračivanja	Fluks neutrona $/n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}/$ 10^9			Doza $/mrad \cdot sec^{-1}/$		
	Φ_{th}	Φ_{epi}	Φ_f	D_{th}	D_{epi}	D_f
VK-5 (1)	298	4,12	2,09	8080	284	5858
VK-5 (2)	81,6	0,78	0,51	1245	58	1430
VK-5 (3)	39,2	0,47	0,234	600	38	655
HK-E	2,94	0,16	0,295	60	6,4	828
TK	$1,34 \cdot 10^{-2}$	—	—	$2,73 \cdot 10^{-1}$	—	—

Objašnjenja:
th - termalni, epi - epitermalni, f - brzi neutroni.

Za termalne neutrone usvojena je vrednost[6]

$$\xi_1 = 0,295.$$

ξ_2 i ξ_3 odredjeni su numeričkom integracijom izraza

$$\int_a^b \xi(E).f(E).dE$$

gde je $\int_a^b f(E).dE = 1$, a $\xi(E)$ funkcija oblika prikazanog na sl.1. Dobijeno je

$$\xi_2 = 0,220$$

$$\xi_3 = 0,117$$

Vrednosti $\xi_1.\emptyset_1$, $\xi_2\emptyset_2$, $\xi_3.\emptyset_3$ u jednačini (2) daju srazmeru aktivacije fiziološkog rastvora termalnim, epitermalnim, odno-

sno brzim neutronima. Za izmerene spektre na reaktoru RA njihovi odnosi prikazani su u tablici 2. Kao što se iz tablice vidi,

Tablica 2

ODNOSI AKTIVACIJA BRZIH, EPITERMALNIH I TERMALNIH NEUTRONA

Položaj	Odnosi aktivacija			Odnosi doza		
	A_f	A_{epi}	A_{th}	D_f	D_{epi}	D_{th}
VK-5 /1/	1	3.7	360	1	0,045	1,035
VK-5 /2/	1	2.9	300	1	0,035	0,870
VK-5 /3/	1	3,8	423	1	0,046	1,221
HKE	1	0,6	25	1	0,006	0,073

teorijska analiza pokazuje da će aktivacija fiziološkog rastvora brzim i epitermalnim neutronima biti mala u poredjenju sa aktivacijom primarnim termalnim neutronima. Ako se uporede odnosi doza termalnih i brzih neutrona (kolona 3), dobija se da je na izlazu iz HK-E odnos doza 1:1, a da je u VK-5 ovaj odnos i do 1:14.

Eksperimentalna provera Hurst-Ritchie-eve jednačine

Da bi se dobio podatak koliko se izračunate vrednosti aktivacije fiziološkog rastvora slažu sa eksperimentalnim, izvršeno je ozračivanje rastvora NaCl u TK i u tri ranije definisane tačke VK-5 reaktora RA. Koncentracija natrijuma u fantomu iznosila je 1,5 mg/ml rastvora NaCl.

U TK ozračen je fantom prečnika 18 cm, visine 21,5 cm integralnim fluksom termalnih neutrona $\emptyset_{th} = 4,63.10^{11} n.cm^{-2}$. U VK-5 zbog eksperimentalnih uslova, bilo je moguće ozračiti samo kružni segment fantoma debljine 25 cm, prečnika 10 cm. U ovom slučaju integralni fluksevi su bili:

u tački 1. - $\emptyset_{tot} = 1,09.10^{15}$ $n.cm^{-2}$

u tački 2. - $\emptyset_{tot} = 2,24.10^{14} n.cm^{-2}$

u tački 3. - $\emptyset_{tot} = 1,43.10^{14} n.cm^{-2}$

i imali su spektralnu raspodelu prikazanu u tablici 1.

Izmerene aktivnosti fiziološkog rastvora uporedo sa teorijski predvidjenim vrednostima date su u tablici 3. Kao što se iz tablice vidi, dobijeno je slaganje u granicama 25% što se, s obzirom na uslove ozračivanja, može smatrati potpuno zadovoljavajućim.

Tablica 3

TEORIJSKI I EKSPERIMENTALNO
ODREĐENE AKTIVACIJE FIZIOLOŠKOG RASTVORA

Mesto ozračivanja	Aktivnost rastvora (μCi Na^{24}/mg Na^{23})		$\frac{B-A}{B} \cdot 100$
	Izmerena (A)	Izračunata (B)	(K)
TK	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	9,1
VK-5 (1)	11,7	12,0	2,5
VK-5 (2)	2,6	3,3	21,2
VK-5 (3)	1,6	1,4	14,3

Z a k l j u č a k

Preliminarni rezultati dobijeni za aktivaciju fiziološkog rastvora neutronima ukazuju da je prilikom procene apsorbovane doze na osnovu aktivnosti krvnog seruma neophodno poznavati odnos termalnog fluksa prema brzom, jer je u protivnom moguće izvesti pogrešne zaključke o vrednosti apsorbovane doze neutrona. Ovu činjenicu treba posebno imati u vidu kada dodje do ozračivanja ljudi u neposrednoj okolini termalnih reaktora, gde odnos fluksa termalnih neutrona prema brzim može da se odnosi i kao 100:1.

Naša dalja ispitivanja u ovoj oblasti odnosiće se na aktivaciju fiziološkog rastvora neutronskim spektrima gde je dominantna aktivacija od brzih neutrona i na komparaciju dobijenih rezultata sa do danas poznatim teorijama.

R e f e c e n c e

1. G.S.Hurst, R.H.Ritchie; ORNL - 2748, Part A, 1959
2. Recommandations of the ICRP, Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, Pergamon Press,(1959)
3. J.Anderson et al.; Lancet II, 1201 (1964)
4. G.S.Hurst et al.; Health Physics 2, 121 (1959)
5. I.Mirić, P.Mirić, D.Veličković;"Odredjivanje doze neutrona pomoću aktivacionih detektora" (u štampi)
6. J.A.Dennis; privatno saopštenje (1970)

ODREDJIVANJE DOZA ZRAČENJA OD ^{241}Am-Be NEUTRONSKOG IZVORA POMOĆU FILM-DOZIMETRA

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

U V O D

Sva lica koja dolaze u dodir sa izvorima zračenja, kontrolišu se film-dozimetrom. Pošto film-dozimetar ima nisku osetljivost na brze neutrone, u ovom radu dat je posredan način za odredjivanje neutronske doze pri ozračivanju film-dozimetra sa ^{241}Am-Be izvorom.

Ako neutronski izvor emituje prateće gama zračenje, kao što je slučaj sa ^{241}Am-Be, ^{226}Ra-Be, i dr., film-dozimetar će pokazivati samo dozu koja potiče od gama zračenja. Pošto svakoj vrednosti gama doze odgovara odredjena veličina neutronske doze, izvršen je niz merenja koji je dao traženu zavisnost.

Za Kodak-RM film eksperimentalno /1/ je odredjena osetljivost na brze neutrone i dobijeno je da fluks od $9,7 \cdot 10^9$ n/cm^2 daje isto zacrnjenje kao 1 R gama zračenja ^{60}Co. Ova relacija pokazuje da su fluksevi neutronskih izvora obično suviše niski da bi izazvali dovoljno zacrnjenje u emulziji filma.

1.1. Osobine film- dozimetra

Kao film-dozimetar u IBK koristi se Kodak-RM film u Al kaseti koja sadrži filtre od Sn i Cd, debljine 0,6 mm. Na taj

način su na površini filma definisana tri polja koja omogućavaju registrovanje doza od različitih vrsta i energije zračenja.

Kodak-RM film ima dve vrste emulzije koje su nanesene sa jedne, odnosno druge strane celuloidne baze. Različita količina, kao i veličina zrna AgBr uslovljava da se osetljivost emulzije s jedne i druge strane razlikuje za faktor 100. Opseg doza koji je na ovaj način obuhvaćen sa obe emulzije iznosi od 50 mR do 800 R.

Pod uticajem zračenja, u fotografskoj emulziji se javlja zacrnjenje koje je nastalo procesom jonizacije u filmu. Dozimetrijski film je u osnovi neka vrsta jonizacione komore sa dva osnovna nedostatka: nije vazduhu ekvivalentna, i pokazuje zavisnost od vrste i energije zračenja.

1.2. Reagovanje filma na zračenje niskih energija

^{241}Am emituje gama zračenje energije 59,6 KeV. Filmska emulzija je jako osetljiva na gama zračenje tako niskih energija.

Za gama zračenje ispod 200 KeV, najveći deo zacrnjenja potiče od sekundarnih elektrona koji su nastali u emulziji filma, dok za zračenje viših energija najveći deo zacrnjenja potiče od sekundarnih elektrona stvorenih izvan filma.

Kriva energetske zavisnosti je funkcija niza faktora, kao što su napr: debljina emulzije, količina AgBr, vrednosti masenih apsorpcionih koeficijenata AgBr i vazduha, kao i od materijala u okolini filma.

Iz ovih razloga, u opsegu energija zračenja od 10 KeV - 100 KeV u film-dozimetriji nije moguće samo filtrima postići

energetski nezavisnu osetljivost, nego se procena doze vrši uz pomoć korekcionih faktora koji su odredjeni sa odgovarajućim apsorberima.

Proizvod korekcionog faktora i doze koju pokazuje prazno polje na filmu, daje pravu dozu gama zračenja. Za energije niže od 100 KeV, korekcioni faktor za kombinovanu emulziju Kodak-RM filma ima vrednost k=0,05, dok je za manje osetljivu emulziju taj faktor k=0,058. Ove vrednosti du dobijene eksperimentalno u okviru dosadašnjih radova i slažu se sa literaturnim podacima /2/.

1.3. Osobine ^{241}Am-Be izvora

^{241}Am-Be /3/ neutronski izvor ima vreme poluraspada od $T_{1/2}$= 460 godina. Srednja energija neutrona iznosi oko 4 MeV. Pored neutronskog zračenja koje je rezultat reakcije $^{9}Be+\alpha \rightarrow {}^{12}C+n$, ^{241}Am emituje gama zračenje energije 59,6 KeV (40 %). Neutronski fluks ^{241}Am-Be izvora sa kojim je ovaj eksperimenat izvršen, imao je vrednost $2,9\cdot10^{6}$ n/sec.

Neutronske doze izmerene su pomoću Neutron Dose Rate Meter (NDRM) koji ima za detektor BF_3 proporcionalni brojač visoke osetljivosti. Osetljivost ovog neutronskog detektora je 2,5 mrem/h, dok je na gama zračenje ispod 200 R/h, neosetljiv.

Izmerene vrednosti doza su uporedjene sa računskim vrednostima dobijenim preko konverzionog faktora od $4,3\cdot10^{-5}$ mrem/n/cm^2, datog u instrukcijama za merenje sa NDRM.

Gama zračenje je izmereno pomoću Victoreen komora.

1.4. Eksperimentalni rezultati

Osoba koja je ozračena sa ^{241}Am-Be izvorom, primi odgova-

rajuću dozu od gama i neutronskog zračenja. Kako film ne registruje neutronsku dozu, a svakoj vrednosti gama doze odgovara odredjena veličina neutronske doze, izvršena su merenja koja su dala traženu zavisnost.

Filmovi su ozračivani različito vreme i na različitim rastojanjima od ^{241}Am-Be izvora. Za svako rastojanje, gama doza je izmerena pomoću Victoreen komore i uporedjena sa pokazivanjem filma. Takodje je za svako rastojanje neutronska doza izmerena pomoću NDRM i uporedjena sa računski odredjenim vrednostima za dozu i fluks neutrona.

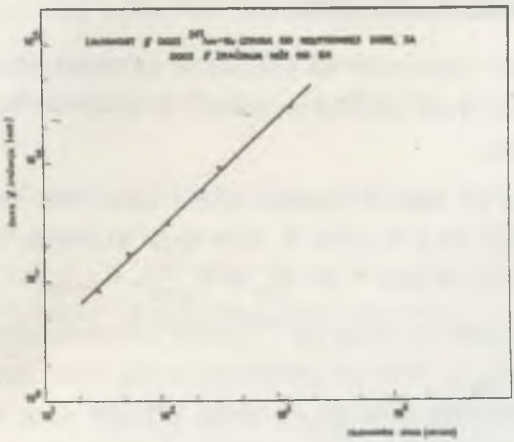
Rezultati dati u tabeli 1 i grafikonu 1, predstavljaju gama doze koje odgovaraju zacrnjenju obe emulzije filma, tj. dozama nižim od 6 R, dok su u tabeli 2 i na grafikonu 2 date gama doze za neosetljiviju emulziju filma, u funkciji neutronskih doza.

Tabela 1.

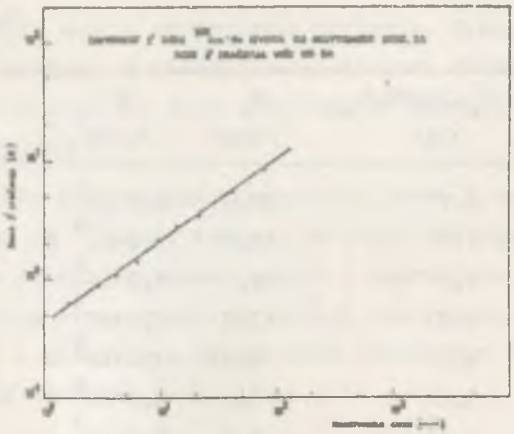
Udaljenost od izvora /cm/	$D_r=0,05\cdot D_{pp}$ /mR/	D_n /mrem/	F /n/cm^2/	D_{pp} /R/
14,5	300	1360	$3,18\cdot10^7$	6,00
25	115	456	$1,06\cdot10^7$	2,30
30	95	320	$7,4\cdot10^6$	1,90
35	60	230	$5,4\cdot10^6$	1,20
50	21	114	$2,6\cdot10^6$	0,62
75	17,5	53	$1,2\cdot10^6$	0,35
100	8,5	29	$6,6\cdot10^5$	0,17

Tabela 2.

Vreme ozračivanje/h/	$D_r=0,058 \cdot D_{pp}$ /R/	D_n /rem/	F /n/cm^2/	D_{pp} /R/
240	8,7	76,8	$1,8 \cdot 10^9$	150
"	5,5	40,8	$9,6 \cdot 10^8$	95
"	3,5	21,5	$4,9 \cdot 10^8$	60
"	2,8	13,7	$3,3 \cdot 10^8$	48
"	2,1	9,6	$2,2 \cdot 10^8$	37
72	1,4	6,4	$1,5 \cdot 10^8$	25
"	1,16	4,1	$9,6 \cdot 10^7$	20
"	0,93	2,9	$6,6 \cdot 10^7$	16
"	0,64	1,6	$3,7 \cdot 10^7$	11



Grafikon 1. Zavisnost gama doze ^{241}Am-Be izvora od neutronske doze, za doze gama zračenja niže od 6 R.



Grafikon 2. Zavisnost gama doze ^{241}Am-Be izvora od neutronske doze, za doze gama zračenja više od 6 R.

1.5. Analiza rezultata

Dobijeni rezultati su poslužili za konstruisanje krive zavisnosti gama doze odredjene pomoću film-dozimetra i prave neutronske doze.

Kao što je napred rečeno, prava gama doza dobija se kao proizvod korekcionog faktora i doze koja odgovara zacrnjenju na praznom polju filma: $k \cdot D_{pp} = D_{gama}$.

Ako je film ozračen sa ^{241}Am-Be izvorom, pokazao dozu od 100 mR ($k \cdot D_{pp}$), tada sa grafikona 1 toj vrednosti gama doze odgovara neutronska doza od 400 mrem. Ukupna doza koju bi primila osoba kontrolisana ovim film-dozimetrom bi iznosila: D_n=400 mrem i D_{gama}= 100 mR.

1.6. Razdvajanje doza u mešovitom polju zračenja

U praksi je čest slučaj da je osoba kontrolisana film-dozimetrom izložena zračenju gama emitera kao što su ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra, i dr., istovremeno sa neutronskim (^{241}Am-Be)izvorom .

U ovom slučaju, doza koja potiče od gama zračenja ^{241}Am-Be izvora, odredjuje se pomoću jednačine:

$$D_{\gamma}\ /Am/ = (D_{pp} - D_{Sn}) \cdot 0{,}05\ /8/ \quad /R/,$$

gde je:

D_{pp} - doza koja odgovara zacrnjenju filma na praznom polju i predstavlja zbirnu dozu od obe komponente gama zračenja,

D_{Sn} - doza koja odgovara zacrnjenju filma na površini pod Sn filtrom i daje dozu od "tvrdog" gama zračenja.

Ukupna gama doza predstavlja zbir doze koja odgovara površini pod Sn filtrom ("tvrda" komponenta) i doze koja je obračunata po gornjoj jednačini (gama zračenje ^{241}Am-Be).

Na već opisan način, neutronska doza se za gama dozu obračunatu po gornjoj jednačini, pročita sa jednog od grafikona (gr.1 i gr.2).

Razdvajanje i odredjivanje veličine doza u mešovitom polju zračenja ovoga tipa moguće je samo ako su energije zračenja gama emitera $E_{gama} > 200$ KeV, da bi se pomoću Sn filtra razdvojile "tvrda" i "meka" komponenta gama zračenja.

Z A K L J U Č A K

Poznavanjem gama doze registrovane pomoću film-dozimetra moguće je odrediti odgovarajuću neutronsku dozu, pod uslovom da

se poznaje neutronski fluks datog ^{241}Am-Be izvora.

Opisanom metodom mogu se odrediti vrednosti neutronske doze i u slučaju ako je film-dozimetar bio izložen gama zračenju nekog drugog gama emitera, $E_{gama} > 200$ KeV.

Po sličnom postupku bi se odredjivale neutronske doze i za svaki drugi neutronski izvor koji emituje prateće gama zračenje.

Bibliografija

1. M.Prokić; Zbornik radova sa IV jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, (1969).

2. N.Adams.M.J. Heard and P.D.Holt, AERE-R-4669 (1965)

3. Personnel Dosimetry Systems for External Radiation Exposures, Technical Reports Series No.109, IAEA (1970).

Nr/4/02

TEHNIČNE VARNOSTNE NAPRAVE NUKLEARNIH ELEKTRARN

J.Sušnik

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

Uvod

V začetni fazi izkoriščanja nuklearne energije v miroljubne namene so smatrali, da je osamitev lokacije nuklearne elektrarne glavna zaščita pred posledicami možnih nezgod. Razmere pa so se v tem pogledu precej spremenile. Razlogov za to je več. Eden glavnih so vsekakor obratovalne izkušnje, ki so se medtem več kot podesetorile. Bolje poznamo tako nevarnosti kot tehniške varnostne mere, na katere so provotno gledali precej skeptično. Danes se smatra, da prav tehniške varnostne mere lahko zagotovijo varnost prebivalstva v okolici nuklearne elektrarne in tako povsem nadomestijo izolirano lokacijo.

Zanimivo je, da težnja po postavitvi nuklearnih energetskih objektov v gosto naseljena področja ne izvira zgolj iz ekonomskih razlogov (t.j. težnje po zmanjšanju stroškov prenosa energije z zmanjšanjem oddaljenosti med izvorom in potrošnikom energije), ampak tudi iz povsem zdravstvenih razlogov. Onesnaženost zraka z SO_2, dušikovimi oksidi, dimom, sajami in pepelom v mnogih večjih ali meteorološko neugodno ležečih mestih je namreč velika. Zato skušajo vse večjim potrebam po energiji zadostiti ob čim manjšem povečanju onesnaženosti zraka in vode. To pa je dosegljivo prav s primerno projektiranimi, grajenimi, zaščitenimi in vodenimi nuklearnimi elektrarnami, oz. nuklearnimi toplarnami.

Tehniške varnostne sisteme lahko razdelimo v tri skupine, (1):

- v tiste, ki preprečujejo nezgode,
- v tiste, ki omejujejo nezgode in
- v tiste, ki omejujejo posledice nezgod.

V prvo skupino spadajo: instrumentarij reaktorja, sistemi regulacijskih palic, sistemi za jemanje vzorcev in merjenje aktivnosti hladila in atmosfere v reaktorski zgradbi, sistemi za detekcijo okvar na gorivnih elementih, sistemi za rokovanje z gorivom, sistemi za zasilno električno napajanje, mehanski zaščitni sistemi ter administrativni postopki in občasni testi naprav, sistemov in delov nuklearne elektrarne med njenim obratovanjem.

V drugo skupino spadajo sistemi za odstranjevanje toplote iz ugasnjenega reaktorja: sistemi za zasilno hlajenje sredice, sistem za naglo varnostno zaustavitev reaktorja, n.pr. sistem za nagel vbrizg absorberja nevtronov v sredico.

V tretji skupini je za zaščito prebivalstva najpomembnejša zgradba, v kateri je reaktor postavljen. Imenujemo jo reaktorska zgradba, zadrževalni hram ali kar s tujko - kontejnment. Iz te skupine so še: sistemi prh v reaktorski zgradbi, sistemi za odstranjevanje joda, sistemi za proizvodnjo pene.

Varnostni sistemi, ki preprečujejo nezgodo

Med obratovanjem reaktorja z meritvami zasledujemo potek in vrednosti vrste parametrov, ki so pomembni za varno obratovanje: temperaturo hladila, tlak hladila, nevtronski fluks in s tem posredno moč reaktorja, hitrost spreminjanja nevtronskega fluksa (periodo reaktorja) in s tem moči reaktorja, itd. Vsi ti in še drugi parametri imajo predpisane največje dopustne obratovalne vrednosti, ki ne smejo biti presežene. V nasprotnem primeru, t.j. kadar so dosežene ali celo presežene, poseben varnostni sistem poskrbi za naglo ugasnitev reaktorja.

Nagla ugasnitev reaktorja se doseže z naglo vstavitvijo palic, ki vsebujejo močan absorber nevtronov, v sredico reaktorja. V nekaterih sistemih se doseže nagla ugasnitev z vbrizgom tekočega absorberja nevtronov v hladilo sredice ali v moderator; v sistemih, kjer sta moderator in hladilo v sredici fizično ločena, pa lahko tudi z izpustom moderatorja iz sredice. Britanski težkovodni reaktorji, ki so hlajeni z lahko vodo, dosežejo naglo ugasnitev z vbrizgom tekočega absorberja nevtronov v posebne cevi, ki vodijo skozi sredico.

Za preprečitev nezgode je izrednega pomena zanesljivo napajanje vseh nujnih potrošnikov z električno energijo. To zagotovimo z naglim preklapljanjem najprej od reaktorjevega generatorja na zunanjo linijo (teh linij je lahko več) in nato, če tako ne vzpostavimo ustreznega električnega napajanja, z dieselovimi električnimi generatorji. Največji med nujnimi potrošniki so vsekakor obtočne črpalke hladila v primarnem hladilnem krogu. Vedno večje gostote moči v novejših energetskih reaktorjih dovoljujejo le kratkotrajen izpad električnega napajanja, če naj gorivni elementi ostanejo nepoškodovani. Dopusten čas izpada je odvisen od kinetične energije hladila in črpalk. Moč nujnih potrošnikov je znatna. 340 MWe težkovodni reaktor Venture ima za napajanje nujnih porabnikov predvidena dva dieselova generatorja moči po 1 500 kW. Moč enega že zadošča za pokritje vseh potreb, dva sta zaradi povečane zanesljivosti napajanja.

Med mehanske zaščitne sisteme štejemo n.pr. uporabo več ventilov za preprečitev puščanja, protipovratne lopute, ki dovoljujejo pretok hladila le v željeni smeri, sisteme za shranjevanje in odlaganje radioaktivnih odpadkov, itd. Pomembno vlogo igrajo tudi administrativni postopki za standardno obratovanje in zapore, ki so vgrajene v instrumentaciji reaktorja. Tako n.pr. ni možen zagon reaktorja, če nimamo zanesljivih podatkov o moči reaktorja, t.j. tedaj, kadar pogostost pulzov merilnika nevtronskega fluksa ni dovolj velika. Seveda morajo biti sistemi

zanesljivi. Prepričani moramo biti, da so informacije, ki jih prejemamo in na podlagi katerih ukrepamo, pravilne. To dosežemo z ustrezno redundanco, t.j. z uporabo večjega števila med seboj neodvisnih sistemov za ispolnitev iste naloge. Ker pa zanesljivost delovanja sistemov sčasoma praviloma slabi, moramo s primerno pogostim testiranjem instrumentarija in naprav skrbeti za vzdrževanje njihove primerno visoke zanesljivosti.

Omeniti moramo še procesorje - digitalne računalnike - s katerimi se je močno povečela stopnja avtomatizacije pogona nuklearne elektrarne. Procesorji so pomembni za varno obratovanje, saj zaradi hitrega reagiranja in sposobnosti analizirati celo goro podatkov (merjenih parametrov) v zelo kratkem času omogočajo pravilno reagiranje tudi v izjemnih primerih. Včasih instrumenti ne dajejo enoličnih podatkov in je operator brez moči. Lahko sicer reaktor naglo ugasne, vendar morda to ni potrebno, tedaj pride do izgubljenih obratovalnih ur, do ekonomske škode. Procesor izboljša proizvodni proces, zanesljivost obratovanja, kar največjo stopnjo izkoriščenosti centrale in pravočasno odkriva nevaren razvoj dogodkov. Znanaje Windscaleska nezgoda (2), v kateri se je v okolico reaktorja sprostilo preko 10 000 Ci J^{131}. Operator je napačno tolmačil merjene parametre. Ob večjem številu mernih mest in obdelavi meritev s procesorjem bi se tej nezgodi lahko izognili.

Sistemi, ki omejujejo nezgode

V to skupino lahko štejemo sisteme za naglo ugasnitev reaktorja, ki naglo znižajo moč reaktorja in s tem znižajo količino toplote, ki bi jo bilo sicer treba odstraniti iz reaktorja. Že po nekaj sekundah pade generacija toplote v gorivnih elementih pod 5% vrednosti na polni moči, kar pa je ob neustreznem hlajenju še vedno dovolj, da pride do talitve gorivnih elementov in pobega aktivnosti v reaktorsko zgradbo.

Sistemi za odvajanje toplote iz sredice

Nekateri smatrajo (3), da je sistem za zasilno hlajenje sredice, ki ima nalogo preprečiti taljenje sredice v nezgodi, tista tehniška varnostna mera, ki najbolj nadomešča osamitev lokacije NE. S primerno izvedbo sistema, ki mora biti preizkušena v praksi, lahko bodisi povsem preprečimo taljenje gorivnih elementov, bodisi vsaj bistveno zmanjšamo število v nezgodi poškodovanih gorivnih elementov in s tem tudi količino v reaktorsko zgradbo sproščenih radioaktivnih snovi.

PWR imajo približmo 2o% bolj obremenjeno gorivo kot BWR, v prvih pride hitreje do talitve gorivnih elementov, še zlasti ker MCA-izlivni nezgodi izteče hladilo iz PWR že v cca 1o sek, ker je inventar hladila manjši kot v BWR in tudi zato, ker je v PWR večje razmerje premera cevi/volumen reaktorske tlačne posode. Tlak pada v BWR najmanj pol minute. Taljenje srajčk in goriva preprečimo v PWR le, če gorivne elemente prekrijemo z vodo najkasneje v 2oo sekundah od nastopa MCA - izlivne nezgode, (4).

Moderni PWR imajo naslednje sisteme za zasilno hlajenje sredice, ki so vsi redundantni:

a) visokotlačni sistem za vbrizgavanje vode, ki obratuje v intervalu tlakov od 11o do 2o atm. Aktivira se, če sta prenizka nivo in tlak vode v ekspanzijski posodi, ki uravnava tlak v primarnem hladilnem krogu. Sistem vbrizgava borirano vodo, ki je shranjena v posebnih tankih. Sistem drži pokrito sredico ob zlomu srednje velikih cevovodov premera 125 do 25o mm.

b) Sistem rezervoarjev pod tlakom plina. Večina teh je predvidena za obratovanje do tlaka 2o atm. V akcijo stopi, če je tlak v rezervoarju večji od tlaka v primarni hladilni zanki. Odpre ga protipovratni ventil. Na razpolago je brez zakasnitve.

c) Sistem za recirkulacijo za odstranjevanje toplote razcepnih produktov in njihovih potomcev. Dela v intervalu nadtlakov od 8 atm navzdol do atmosferskega tlaka. Posreduje, če je nivo vode v reaktorski tlačni posodi nizek, ali če je nizek tlak v primarnem hladilnem krogu.

BWR pa imajo za hlajenje sredice naslednje sisteme:

a) Sistem za avtomatsko znižanje tlaka v hladilnem krogu, ki deluje, če tlak v njem preveč zraste in potem ko z ventili izoliramo primarni krog. Paro tedaj vodimo v kondenzacijsko komoro.

b) Visokotlačno zanko za vbrizgavanje hladila v intervalu nadtlakov približno od 9o do lo atm. Aktivira se ob prenizkem nivoju vode v reaktorski tlačni posodi ali ob previsokem tlaku v reaktorskem delu tesnega hrama.

c) Sistem za zasilno tuširanje sredice. Aktiviran je kot pri b). V sili črpa vodo iz kondenzacijske komore ali iz dna reaktorskega dela tesnega hrama, ki je normalno suh. Dela od nadtlakov 7 oz. 17 atm navzdol.

č) Sistem za preplavljenje sredice. Aktivira se kot pri b), vodo pa črpa v sili kot pri c). Deluje od 15 atm navzdol.

Tehniški varnostni sistemi za omejevanje posledic nezgode

Ti sistemi morajo biti tako učinkoviti, da v hipotetični največji še verjetni nezgodi, MCA, ustrezno zaščitijo prebivalstvo v okolici NE. Prebivalstvo torej ne sme prejeti doz, ki bi bile večje od tistih, za katere se smatra, da so sprejemljive kvečjemu enkrat v življenju posameznika (5).

Največja še verjetna nezgoda, MCA, se v vodnih reaktorjih prične z zlomom cevovoda ali drugega elementa primarnega hladilnega kroga (izvzemši tlačno posodo) na takem mestu, da izteče hladilo v najkrajšem času (orientacijsko lo sekund). V tej

nezgodi se predpostavi zatajitev sistema za zasilno hlajenje sredice, tako računamo s taljenjem znatnega dela gorivnih elementov in s sprostitvijo ogromnih aktivnosti radioaktivnih snovi v notranjost reaktorske zgradbe. Tehniški varnostni sistemi za omejevanje posledic nezgode morajo torej preprečiti razširjenje te aktivnosti v okolico NE. Pri tem nosi najtežje breme zadrževalni hram - zgradba, ki reaktor obdaja.

Zadrževalni hram mora vzdržati velikosti obremenitve ob časovnem poteku, ki nastopi ob obravnavani hipotetični izlivni nezgodi. V tej nezgodi se sprosti akumulirana toplota, toplota iz razpadanja razcepkov in njihovih potomcev in toplota ob reakciji materiala srajčk gorivnih elementov z vodo.

V nadaljnjem bomo pri ocenah sproščenih aktivnosti računali z inventarjem joda 131 v sredici $5,9.10^7$, kar velja za reaktor moči 600 MWe, (6).

Pri enolupinski reaktorski zgradbi z varjeno jekleno lupino so zgradili in v testih preverili, da je puščanje pri maksimalnem tlaku, ki nastopi zaradi izlivne nezgode, 0,1 utežnih % vsebovanega zraka/dan. Pri tolikšnem puščanju ocenimo, da pride v okolico del aktivnosti, ki je manjši ali kvečjemu enak eni stotisočinki ob nezgodi prisotnega inventarja posameznih radioaktivnih izotopov. Pri tem je predpostavljeno, da traja sproščanje v okolico le pol dneva. Ta del aktivnosti, ki se sprosti nekontrolirano - ne skozi dimnik - vsebuje pri 600 MWe reaktorju približno 600 Ci joda 131; glej še (7).

Iz betonske reaktorske zgradbe s puščanjem 0,3% dan, kot se navaja pri reaktorju tipa Venture, (8), pa bi se sicer ob enakih pogojih kot zgoraj sprostilo trikrat več joda, oz. približno 1 800 Ci J^{131}.

Kjer z enojno lupino ne bi dosegli zadovoljivega, dovolj nizkega sproščanja aktivnosti v atmosfero okolice NE, posežemo po dvojni reaktorski zgradbi. Poleg manjšega puščanja je

bistvena prednost dvolupinske reaktorske zgradbe boljši nadzor nad puščanjem in stalno zasledovanje velikosti puščanja. V prostoru med obema lupinama vzdržujemo rahel podtlak glede na atmosferski (zunanji) tlak. Podtlak vzdržujemo bodisi z včrpavanjem v notranji volumen (pod jekleno lupino), bodisi z občasnim sproščanjem atmosfere iz prostora med obema lupinama preko filtrov skozi dimnik v okolico NE.

Po podatkih iz l. 1965 se učinkovitost uporabnih sistemov za odstranjevanje joda iz vmesnega prostora ceni na 95%, z možnostjo razvoja na 99,9%, (1). Zdaj v varnostnih analizah za jod upoštevajo vrednosti redukcijskega faktorja loo, dopuščajo pa možnost, da to znaša looo, kar kaže, da se je učinkovitost filtrov medtem že povečala, (6).

Sedanja generacija evropskih tlačnih lahkovodnih reaktorjev ima dvojni kontejnment s prezračevalnim prostorom med notranjo in zunanjo lupino. Snovi, ki so že pobegnile iz notranjega prostora v prostor med obema lupinama bodisi včrpavamo nazaj v prostor, ki ga oklepa notranja lupina, bodisi jih kontroliramo sproščamo skozi dimnik, potem ko jih najprej vodimo skozi sistem filtrov. Ker namreč prostor med obema lupinama držimo na podtlaku glede na zunanji tlak, vdira zunanji zrak v vmesni prostor in ne narobe.

Vrelni lahkovodni reaktorji pa imajo dušilni (kondenzacijski) kontejnment, ki je tudi obdan z dvema lupinama. Notranja lupina vsebuje suho votlino, v kateri je reaktor in dušilni (kondenzacijski) prostor - vodnjak, ki je delno hapolnjen z vodo. V MCA izlivni nezgodi vdira v vodnjak najprej zrak, nato pa vodna para, ki se v njem takoj kondenzira, tako da je nadtlak v notranji lupini ob koncu izliva le majhen, prav tako puščanje navzven v prostor med lupinama. Ta vmesni prostor vzdržujemo na določenem podtlaku glede na atmosferskega. Pline iz vmesnega prostora lahko včrpavamo v notranjost, v prostor pod notranjo lupino.

Sliki 1 in 2 shematično predstavljata primer tesnega hrama za tlačni (9) in vrelni (1o) lahkovodni reaktor.

V PWR sistemih gradijo dvojne tesne hrame s puščanjem iz notranjega prostora, ki ga obdaja jeklena lupina, o.25 vol %/dan pri maksimalnem nadtlaku, ki nastopi med izlivno nezgodo. Puščanje zunanje jekleno-betonske lupine je večje, do 3o vol%/dan pri rahlem podtlaku cca 1o mm vodnega stebra v vmesnem prostoru, (11).

Izračunali smo v okolico NE sproščene aktivnosti najnevarnejšega radioaktivnega izotopa J^{131}. Pri tem smo se omejili na lahkovodne tlačne reaktorje. Računali smo za 6oo MWe NE in to za različne tesne hrame in sicer za dva enojna: enega betonskega in drugega iz jekla in za dva dvojna: eden od teh ima zelo "zračno", drugi pa desetkrat bolj nepropustno zunanjo lupino. Koeficienti prepustnosti so vzeti iz prakse. Čas intenzivnega (maksimalnega) puščanja smo postavili na 7 do 1o dni. Ta čas je dosti krajši, nekako 1/2 ure do nekaj ur, če svojo nalogo v redu opravi sistem za tuširanje atmosfere v reaktorski zgradbi.

Pri dvojnih kontejnmentih smo upoštevali možnost zadrževanja atmosfere prostora med lupinama, torej možnost brez sprotnega sproščanja čez filtre in dimnik. Ker se medlupinski prpstor po izlivni nezgodi močno segreje, (orientacijsko navedimo vrednost 1oo°C), tlak naraste tako, da moramo to atmosfero krajši čas sicer odčrpavati, vendar v začetku ni kontaminirana. Nekateri sistemi imajo možnost prečrpavanja v prostor pod notranjo lupino. Za tako možnost pa puščanje zunanje lupine ne sme biti veliko, sicer je to prečrpavanje lahko le kratkotrajno. V primeru netesne zunanje lupine (krivulja z α_2 = 3o vol.%/dan), bi se ob izpadu puhal, ki iz medlupinskega prostora sesajo zrak in ga potiskajo čez filtre v dimnik - nekontrolirano sprostile znatne aktivnosti joda 131.

Navedli smo le nekaj zaključkov, ki jih nudi analiza rezultatov podanih v sliki 3. Vrednosti puščanja smo izračunali s pomočjo domačega programa BONI, (9).

V BWR reaktorjih z zgoraj opisanim kontejnmentom dosežejo puščanje iz notranjega prostora, ki ga obdaja jeklena lupina, vrednosti o,2 %/dan in sicer pri maksimalnem nadtlaku, ki se doseže med izlivno nezgodo. To je deklarirana vrednost proizvajalca tudi za zunanjo lupino; pri analizah pa se navajajo količine puščanja, ki kažejo, da so bile privzete neprimerno večje propustnosti, celo do 5% pri podtlaku nekje med 4o in 1oo mm vodnega stebra glede na zunanjo atmosfero. Podatki so redki, zato položaj ni docela jasen. Bistveno pa je to, da atmosfero iz vmesnega prostora med obema jeklenima lupinama, ki je na podtlaku, ob nezgodi preusmerimo v notranjost in da je včrpavanje v notranji prostor možno do 1oo dni. Med obratovanjem NE sicer atmosfero iz tega prostora vodimo čez filtre in jo skozi dimnik sproščamo v okolico, (12).

Puščanje iz BWR z dvojnim tesnim hramom je tako zanemarljivo celo po najhujši izlivni nezgodi. Aktivnost, ki je še v atmosferi reaktorske zgradbe v času več tednov po nezgodi, lahko sprostimo skozi filtre in dimnik v okolico NE ob ugodnih meteoroloških pogojih (smeri vetra, o.p). Omenjena možnost pride prav tudi pri manjših nezgodah, v kateri se v atmosfero reaktorske zgradbe sprostijo manjše količine radioaktivnih snovi.

Puščanje iz zadrževalnega hrama preneha oz. se močno zmanjša, če tlak v notranjem prostoru (enolupinske ali dvolupinske reaktorske zgradbe) naglo znižamo na vrednost, ki vlada v okolici NE. To nalogo ima običajno podvojen sistem prh, ki v primeru potrebe prha notranjost zadrževalnega hrama s hladno vodo tako, da se vodna para kondenzira. Račun prehodnega pojava med izlivno nezgodo pri težkovodnem reaktorju Venture moči 34o MWe je pokazal, (13), da pade tlak na atmosfersko vrednost že po manj kot polurnem tuširanju.

S prhami v reaktorski zgradbi izpiramo tudi prisotne radioaktivne snovi (razen plemenitih plinov). Zlasti pomembno je, izpiranje joda. Ob konservativni predpostavki, da je 1o% vsega joda v organski obliki (metil jodid), smo dobili oceno, da je v atmosferi reaktorske zgradbe po izlivni nezgodi v PWR približno 2% vsega joda: polovica tega je v anorganski, polovica pa v organski obliki. V BWR je v atmosferi kondenzacijske komore o,5% vsega joda in sicer v organski obliki, v reaktorskem prostoru pa približno poldrug procent vsega joda: 1% v organski obliki, pol % v anorganski obliki. Pri tej oceni smo predpostavili, da je spiranje anorganskega joda s tuši v reaktorski zgradbi PWR in BWR znižalo njegovo vsebnost za faktor 1o.

V obeh sistemih, PWR in BWR je v reaktorski zgradbi delež metil jodida, ki je neobčutljiv na tuširanje z vodo, zelo velik. Zato so zlasti za PWR, kjer celo pri dvolupinskem tesnem hramu odčrpavanja zraka preko filtrov v dimnik ne moremo odlagati v nedogled, kot je to v bistvu v BWR, pomembna raziskovanja odstranjevanja metil-jodida z vodnimi prhami, ki ji dodamo posebne dodatke.

Sedanja generacija PWR ima za tuširanje reaktorske zgradbe pripravljeno raztopino natrijevega tiosulfata, n.pr. o,28M H_3BO_3 + o,17M NaOH + o,o63M $Na_2S_2O_3$.

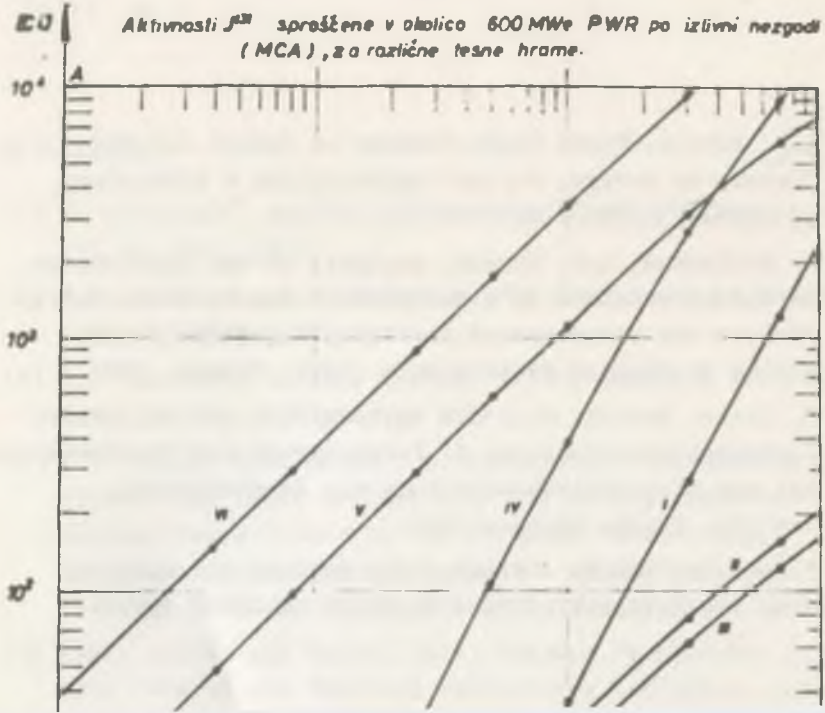
Najnovejše eksperimentalne raziskave kažejo, da je po MCA-izlivni nezgodi v dveurni dozi, ki jo povzroči metil jodid, s primernim tuširanjem možno doseči znižanje vsaj za faktor 2, (14).

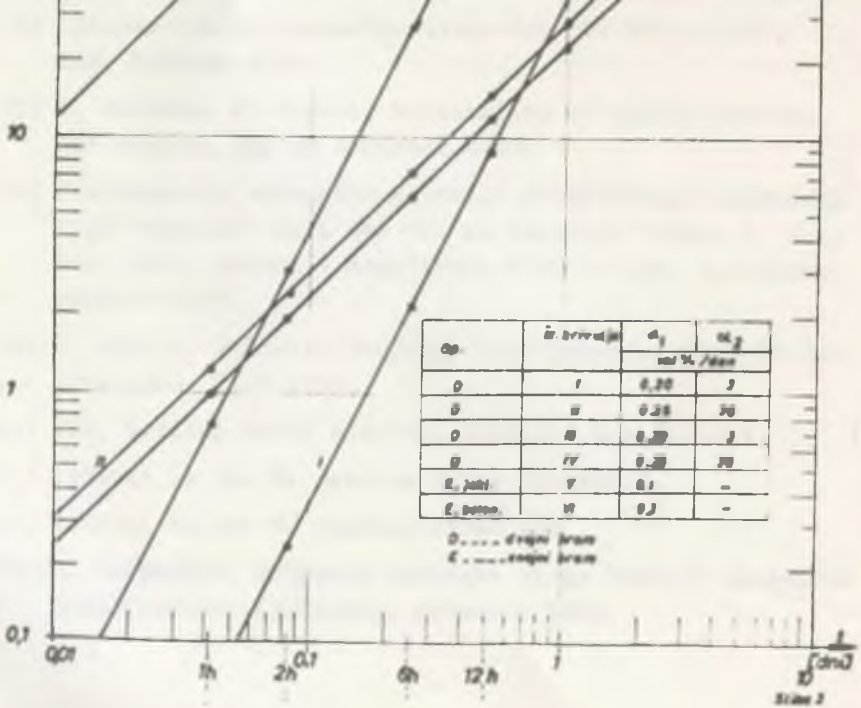
Nadaljnje raziskave v tej smeri so pomembne, saj doslej pri ocenjevanju varnosti odstranjevanja metil jodida s tuširanjem tudi zaradi neraziskanosti doslej sploh niso upoštevali. Glavni povdarek pri ocenjevanju varnosti se daje stalno prisotnim pasivnim tehničnim varnostnim meram: tesnemu hramu in filtriranemu sistemu.

Zaključek

V NE uporabljene tehnične varnostne mere skrbijo za varnost pogonskega osebja in prebivlastva v okolici NE. Morajo pa biti dovolj zanesljive. Opozorjeno je bilo že na resno možnost (15), da ob potrebi ni razpoložljiv celo tak sistem kot je tesna reaktorska zgradba. Posledice ob takem primeru so lahko katastrofalne.

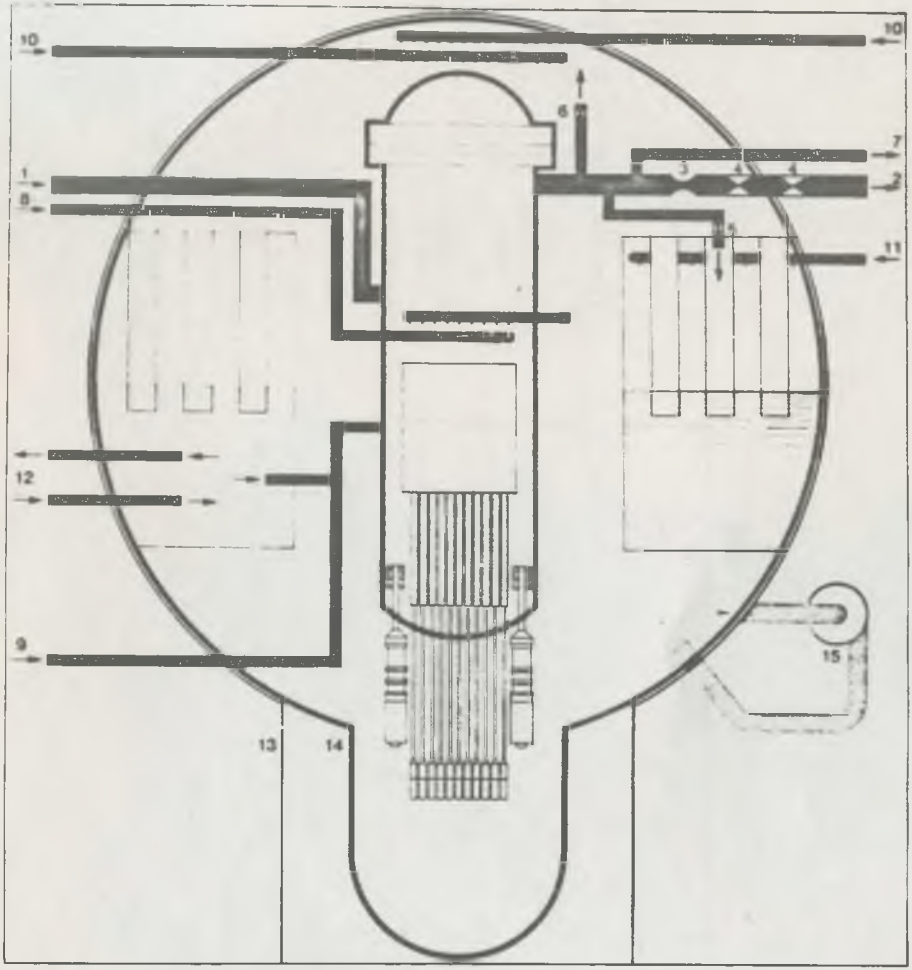
Sistematično analiziranje zanesljivosti varnostnih sistemov NE je zato bistveno (16) in sicer že v fazi prilagajanja potencialnega reaktorja na dano lokacijo. Med gradnjo in med obratovanjem pa moramo skrbeti za primerno pogostno in temeljito testiranje in zbrati ter urejati podatke o okvarljivosti posmeznih komponent (17), s čimer polagamo osnovo za bodoče popolnejše analize.


Aktivnosti J^{131} sproščene v okolico 600 MWe PWR po izlivni nezgodi (MCA), za različne tesne hrame.
A
10^4
10^3
10^2
iii
v
iv
i
ii
ii



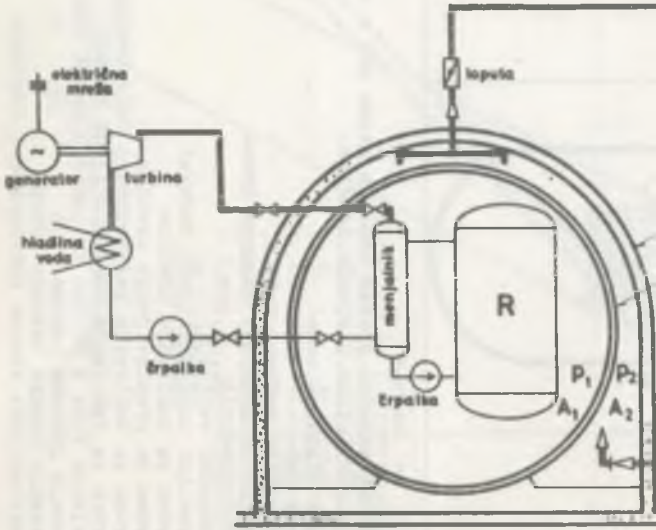
Obj.	Ir. brzvodja	a_1	a_2
		mol % /dan	
D	I	0,20	3
D	II	0,25	30
D	III	0,20	3
D	IV	0,20	20
E, jodni	V	0,1	–
E, perm.	VI	0,3	–

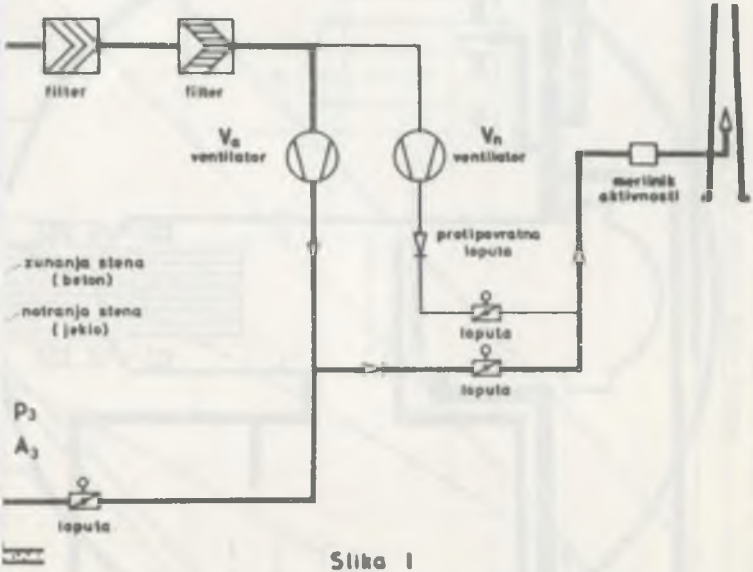
Slika 3



Slika 2. Shematični prikaz tesnega hrama BWR s sistemi za zasilno hlajenje sredice.

1 - dovod hladilne vode
2 - odvod pare
3 - omejevalec pretoka pare
4 - ventili za osamitev tesnega hrama
5 - oddušni ventil
6 - varnostni ventil
7 - k zasilni kondenzacijski turbini
8 - sistem za tuširanje sredice
9 - sistem za preplavljenje sredice
10 - sistem za tuširanje reaktorskega dela tesnega hrama
11 - sistem za tuširanje kondenzacijske komore
12 - hlajenje vode v bazenu in zasilni dotok vode
13 - zunanja jeklena lupina
14 - notranja lupina tesnega hrama
15 - ventilacijski sistem prostora med lupinama


električna mreža
generator
turbina
hladilna voda
črpalka
menjalnik
R
črpalka
lopuža
P_1
A_1
P_2
A_2



Slika 1

SHEMA DVOJNE (DVOLUPINSKE) REAKTORSKE ZGRADBE, PWR

VARNOSTNI FAKTORJI V KONVENCIONALNIH IN NUKLEARNIH NAPRAVAH

J.Vdovič
Institut "J.Stefan",Ljubljana

Pri matematičnem tretiranju varnosti naletimo na štiri grupe problemov:

Matematična definicija varnosti
Varnostna analiza
Varnostna sinteza
Varnostni kriteriji (problem potrebne varnosti).

Pod matematično analizo razumemo naslednji problem: dana je neka naprava, nek sistem (ki se v skrajnem primeru reducira na en sam element), iskana je pripadajoča varnost. Če je slednja zadovoljivo (eksaktno) definirana, je problem enolično rešljiv, kakor če bi bila iskana katerakoli fizikalna lastnost. Pri varnostni sintezi je dana (oziroma zahtevana) neka varnost, iščemo pa napravo (sistem), ki ima tako (ali večjo) varnost. Ta problem ni vedno enolično rešljiv. Zelo često nastopa problem varnostne sinteze v relativni obliki: dan je nek sistem, ki ima premajhno varnost. Treba je sistem tako dopolniti, da bo imel zadovoljivo varnost. Tako formuliran problem je že mnogo lažje rešljiv, vendar še vedno ne enolično, saj so možne razne tehnične in administrativne rešitve.

Odnose med temi problemi smo izčrpno osvetlili v (1). Izčrpno smo tudi diskutirali razne možnosti matematične definicije varnosti, ki je lahko deterministična ali statistična. Posebno pozornost smo posvetili determinističnim definiciji z uporabo varnostnih faktorjev in razdalj.

Tukaj bomo na kratko in brez dokazov navedli glavne rezultate ter jih ilustrirali na primerih iz konvencionalne reaktorske tehnike.

Varnostni faktor se nanaša vedno na nek nezaželen dogodek (n.pr. lom, taljenje, itd). Fenomenološka definicija varnostnega faktorja je: če povečamo obremenitev za varnostni faktor dosežemo nezaželen dogodek. Za matematično formulacijo varnostnega faktorja moramo imeti najprej nek prostor stanja. V tem prostoru stanja mora obstajati neka priviligirana točka (ničelna točka), ki nam služi kot izhodišče koordinatnega sistema. Vsako točko v prostoru stanja moremo tedaj izraziti s komponentami x,y,z. Obstojati mora neka hiper-ploskev v tem prostoru, podana z enačbo

$$F(x,y,z \ldots\ldots) = 0 \qquad (1)$$

Ta ploskev je meja med varnim in nevarnim območjem.

Če imamo neko delovno točko

$$\xi, \eta, \zeta, \ldots$$

tedaj ta točka ne zadošča enačbi (1). Pomnožiti jo moramo z varnostnim faktorjem; po fenomenološki definiciji bomo s tem dosegli nastop nezaželenega dogodka, dobljena točka bo torej ustrezala enačbi (1) odn. (2).

$$F(V\xi, V\eta, V\zeta \ldots\ldots) = 0 \qquad (2)$$

Iz te enačbe dobimo varnostni faktor V kot pozitivni koren (sl. 1).

Če rešimo enačbo (2) dobimo naslednji izraz:

$$V = \frac{E}{U_1(\xi, \eta, \zeta, \ldots)} \qquad (3)$$

kjer je E neka lastnost opazovanega elementa ali sistema. U_1 pa je homogena funkcija prve stopnje koordinat ξ, η, ζ. Če bi delovala samo komponenta ξ, bi bilo $V_1 = \frac{E_1}{\xi}$

in podobno za

$$V_2 = \frac{E_2}{\eta} \quad , \quad V_3 = \frac{E_3}{\zeta} \quad , \ldots\ldots$$

partikularni varnostni faktorji
Tedaj bi mogli pisati enačbo (3) v obliki

$$V = W(V_1, V_2, V_3, \ldots.) \tag{4}$$

kjer je W neka homogena funkcija prve stopnje. To enačbo bomo uporabili pri radioloških varnostnih faktorjih.

Varnostni faktor je invarianten proti spremembi merila posamezne komponente. Primer uporabe: ravno vzmet obremenjeno s poljubno ravninsko silo z upoštevanjem uklonskih pojavov sl.2.

Enačba mejne krivulje

$$\sigma = \frac{P_x}{F} + \frac{P_y}{W\mu} \quad \text{Tang } \mu l$$

$$\sigma = \frac{/P_x/}{F} + \frac{P_y}{W\mu} \quad \text{tang } \mu l \tag{5}$$

Iz tega dobimo enačbo za varnostni faktor

$$\sigma = \frac{P_x}{F} V + \frac{P_y}{W\mu} \sqrt{V} \quad \text{Tang } \mu l \sqrt{V}$$

$$\sigma = \frac{/P_x/}{F} V + \frac{P_y}{W\mu} \sqrt{V} \text{ tang } \mu l \sqrt{V} \tag{6}$$

F je presek (ploščina) nosilca
W je odpornostni moment nosilca

Enačbe (6) so analitično nerešljive, grafična rešitev pa je preprosta. Pri tem smo povečali ordinatno merilo, kajti sicer bi bila mejna krivulja zelo ploščata, kar bi bilo za grafično konstrukcijo neugodno.

Včasih je enačba (1) sestavljena iz enega konstantnega člena ter enega spremenljivega, homogenega, tedaj je enačba (2) skoraj trivialna. Znan primer iz konvencionalne tehnike ISO - teorija trdnosti (2). Enačba mejne krivulje (elipse) je (sl.3).

$$\sigma^2 + \lambda \tau^2 = \sigma_0^2 \qquad \lambda = 1.7 \div 1.8 \qquad (7)$$

σ in τ sta normalna in tangencialna napetost. σ_0 je trdnost. Izraz za varnostni faktor moremo pisati v obliki

$$V = \frac{\sigma_0}{\sqrt{\sigma^2 + \lambda \tau^2}} = \frac{\sigma_0}{\sigma_{rez}} \qquad (8)$$

kjer je $\sigma_{rez} = \sqrt{\sigma^2 + \lambda \tau^2}$ rezultirajoča ali primerjalna napetost. Ta pojem je v konvencionalni tehniki zelo razširjen in tudi zelo uporaben. Pogoj za njegovo uporabnost pa je homogenost enačbe (1) ter (pri varnosti sistemov) linearnost karakteristike.

Kljub temu, da je varnostni faktor precej poznan in "familijaren" pojem njegove lastnosti niso splošno znane in upoštevane, zato zasluži praktična uporaba tega pojma nekaj kritike in sicer v treh točkah. Često je govora o varnostnih faktorjih toda ne delajo s pravilno definiranimi varnostnimi faktorji, včasih pa je baš obratno.

Pri napaki prvega tipa imamo zopet dve možnosti. Zgodi se, da hočejo z "varnostnim" faktorjem zakriti nepoznavanje fizikalnih zakonitosti. Takšni varnostni faktorji so v resnici faktorji neznanja (nemško Unsicherheitsfaktoren statt Siceherheitsfaktoren). V konvencionalni tehniki so jih uporabljali zlasti takrat, ko problemi dinamične trdnosti in koncentracije napetosti niso bili razšičeni. Tipično za takšne "varnostne" faktorje je, da niso takorekoč dovolj veliki. Iz konvencionalne tehnike so znani primeri, da tudi pri "varnostnem" faktorju 3o ni bilo mogoče preprečiti loma. Še huje pa je pri "varnostnih faktorjih", ki se priložnostno pojavijo pri varnostnih problemih nuklearnih naprav. Pri analizi MCA - nezgodne verige nastopajo "varnostni" faktorji, ki dosežejo v ekstremnih primerih vrednosti do tisoč ((3)in tam navedena literatura).

Treba je ostro ločiti med dvema vrstama koeficientov ali faktorjev, ki nastopajo pri kompleksnih varnostnih analizah. Prvo vrsto tvorijo koeficienti, ki zajemajo določene fizikalne vplive in so rezultati meritev, ocen ali pa tudi eksaktnih računov, če so ti računi prekomplicirani za praktično uporabo. Kadar gre za oceno, takrat te faktorje ali koeficiente zaradi varnosti povečamo ali pa nastane napačen vtis, da gre tu za varnostne faktorje. Ti koeficienti so zlasti udomačeni v hidravliki, nastopajo pa tudi pri izračunu koncentracij napetosti in pri termičnih izračunih (faktorji vročih kanalov). Videli smo že, da nam nobena izbira teh faktorjev ne more pričarati zadovoljive varnosti. Nasprotno pa je z drugo vrsto faktorjev, ki so pravi varnostni faktorji. Že razmeroma nizke vrednosti teh faktorjev (običajno med 1,5 in 3,o) nam zagotavljajo praktično zadovoljive varnosti. Seveda morajo biti ti faktorji izračunani pravilno v skladu z našo definicijo. To pa se največkrat ne dela, temveč definirajo varnostni faktor tako, kakor smo videli pri ISO - teoriji. Ta grobi recept je bolj ali manj nekritično prevzela tudi reaktorska tehnika v praksi in teoriji (primerjaj (4)).

Obstoji pa tudi obraten pojav: udomačila so se števila, ki so po svoji naravi varnostni faktorji (ustrezajo vsem našim zahtevam), vendar jih iz neznanih razlogov ne imenujejo tako. V (1) smo navedli več primerov iz konvencionalne tehnike. Tukaj se bomo omejili na dva primera iz reaktorske tehnike: DNB - razmerje in radiološki varnostni faktorji.

Slika 4 kaže znani diagram pregorevanja ali vrelne krize (angleško burn out ali dry out).(5)

Varnostni faktor lahko definiramo na dva načina: s toplotnim tokom

$$V_q = \frac{q_e}{q_i} \tag{9}$$

ali s temperaturno razliko

$$V_\vartheta = \frac{\vartheta_e}{\vartheta_i} \tag{1o}$$

Če privzamemo Lottes-Jensove relacije (6),sta obe definiciji ekvivalentni. Med obema varnostnima faktorjema velja relacija

$$V_q = V_\vartheta^4 \tag{11}$$

Radiološke varnostne faktorje moremo definirati s pomočjo maksimalne dopustne koncentracije MPC. Običajno upoštevamo samo jod 131, če znaša njegova koncentracija C, tedaj je radiološki varnostni faktor

$$x = \frac{C}{MPC} \tag{12}$$

Obratna vrednost predstavlja nevarnost((7) in tam navedena literatura).

Pravzaprav je x (12) le partikularni varnostni faktor glede joda, toda ostali radiološki faktorji (varnostni) so tako veliki (pripadajoča nevarnost tako majhna), da odloča le jod 131. Toda ker gre trend za tem, da se jod čim bolj izloči, bodo sčasoma postali aktualni tudi ostali nuklidi (n.pr. žlahtni plini).

Opazujmo ravninski primer, torej dva radioaktivna nuklida. Račun se zelo poenostavi, če delamo s partikularnimi varnostnimi faktorji x,y (slika 5). V sliki so vrisane nekatere krivulje, ki bi prišle v poštev. Vse krivulje morajo iti skozi točki

$$x = 1, \quad y = o$$

in

$$x = o, \quad y = 1$$

Najenostavnejši primer je

$$x^n + y^n = 1 \tag{13}$$

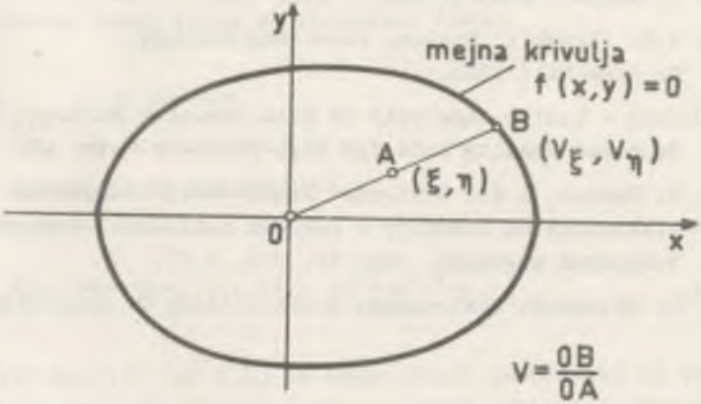
kjer je n neko pozitivno realno število.
Iz tega lahko takoj dobimo varnostni faktor

$$V = \frac{1}{\sqrt[n]{x^n + y^n}} \tag{14}$$

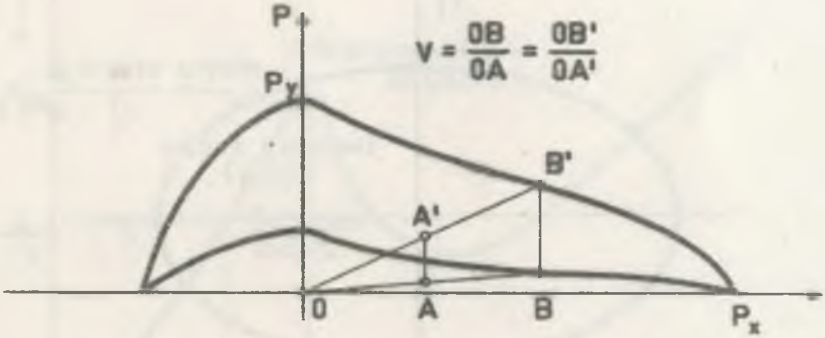
ali bolj eksplicitno

$$V = \frac{MPC_1}{C_{rez}} \tag{15}$$

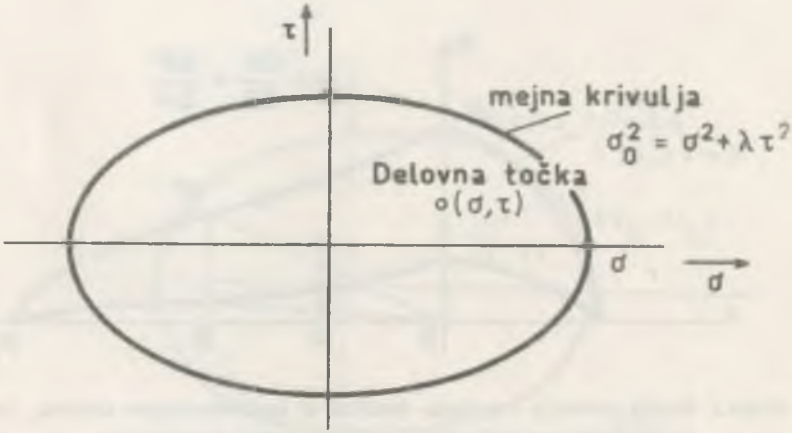
$$C_{rez} = \sqrt[n]{C_1^n + (MPC_2/MPC_1)^n C_2^n}$$



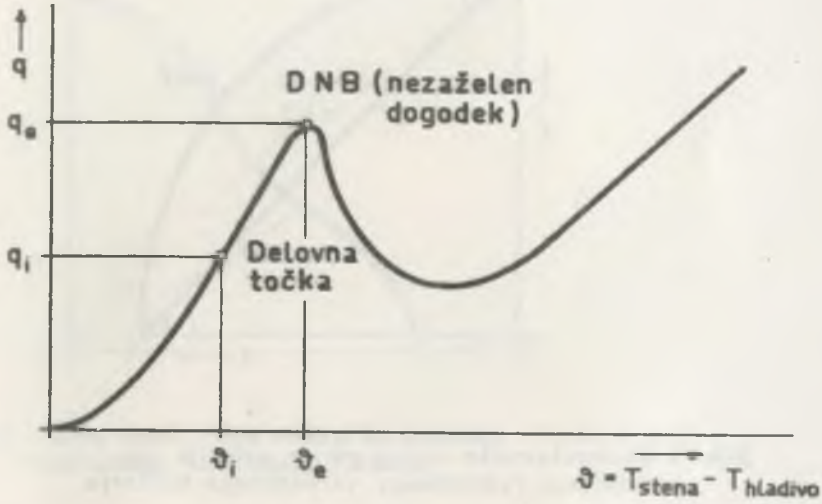
Slika 1. Analitično in grafično določanje varnostnega faktorja V



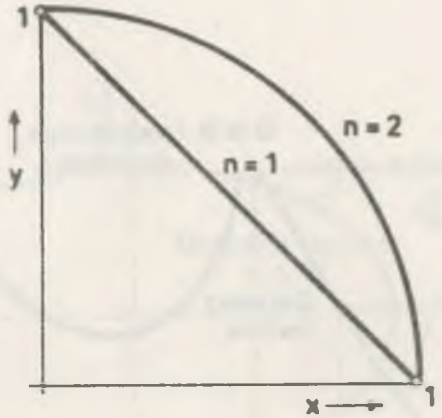
Slika 2. Mejna krivulja ravnega nosilca z upoštevanjem uklona, invariantnost varnostnega faktorja proti spremembi ordinatnega merila



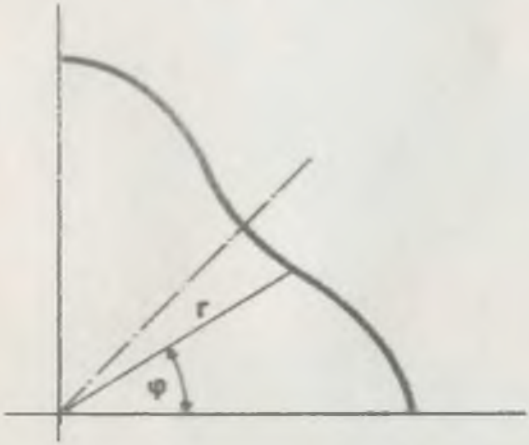
Slika 3. Elipsa kot mejna krivulja ISO teorije



Slika 4. Prenos toplote pri vrelni krizi (burn out)



Slika 5. Najenostavnejše oblike mejne krivulje za določanje radiološkega varnostnega faktorja



Slika 6. Možna oblika mejne krivulje za določanje radiološkega varnostnega faktorja

II/4/04

O NEVARNOSTI ONESNAŽENJA OKOLICE NUKLEARNE ELEKTRARNE

Ing. Milan GRGIČ
Institut "Jožef Stefan"
L j u b l j a n a

NEVARNOST ONESNAŽENJA OKOLICE PRI NORMALNEM OBRATOVANJU

Komercialne nuklearne elektrarne proizvajajo toplotno moč velikostnega reda 1-3 GW. Ravnovesni inventar razcepne radioaktivnosti takšne nuklearne elektrarne preračunan na čas 24 ur po ugasnitvi je velikostnega reda (1-3) . 10^9Ci. Ravnovesni inventar posameznih glavnih razcepnih radioizotopov pa je velikostnega reda (1-15) . 10^7Ci. Poleg razeepkov se v gorivu tvorijo v veliki meri tudi transuranidi, ki so prav tako radioaktivni in zelo radiotoksični.

Radioaktivni inventar goriva, ki smo ga tu grobo ocenili, v večini primerov nima praktično nobene vloge pri nevarnosti onesnaženja okolice pri normalnem obratovanju nuklearne elektrarne. Izjema so deloma predvsem nuklearne elektrarne tipa BWR z direktnim parnim ciklom (brez izmenjalcev toplote), ki morajo imeti odprt in močno odzračevan primarni krog. Pri tipu BWR lahko pride do močnega sproščanja plinastih in hlapljivih razcepkov s plinastimi efluenti v primerih okvar srajčk goriva.

Pri normalnem obratovanju brez resnejših okvar srajčk gorivnih elementov je treba pri obravnavanju onesnaženja okolice upoštevati v glavnem samo aktivacijske produkte primarnega hladila, moderatorja in termalnih ščitov.

Med aktivacijskimi produkti je najpomembnejši tritijev oksid (pri PHWR, PWR in AGR), ki ga ni mogoče odstranjevati iz vode. Argon 41 ni več tako pomemben aktivacijski produkt pri novejših komercialnih nuklearnih elektrarnah, ker je dostop zraka v bližino reaktorske sredice močno omejen. Pri nuklearnih elektrarnah tipa BWR je pomemben tudi aktivacijski produkt dušik 13 z razpolovno dobo 10 minut.

Korozijski in obrabni aktivacijski produkti so poleg tritija najpomembnejši del aktivacijskih produktov, vendar je njihovo odstranjevanje iz tekočih radioaktivnih odpadkov razmeroma enostavno, zato je možno močno omejiti njihovo sproščanje v okolico.

Za razliko od inventarja radioaktivnosti goriva je inventar radioaktivnih korozijskih produktov, ki pridejo v poštev pri obravnavanju onesnaženja okolice nuklearne elektrarne pri normalnem obratovanju samo velikostnega reda 10^3 Ci.

Meritve radioaktivnih padavin od nuklearnih eksplozij so pokazale, da je padlo na kvadratni kilometer zemeljske površine približno 0,2 Ci, ^{90}Sr, 0,2 Ci ^{137}Cs ter nekaj kirijev ostalih kratkoživejših razcepkov. Če upoštevamo, da so aktivirani korozijski produkti vsaj 100 krat manj radiotoksični od ^{90}Sr, vidimo, da aktivirani korozijski produkti ne morejo predstavljati resne nevarnosti za okolico nuklearne elektrarne. Poleg tega pa je mogoče z ustrezno kontrolo radioaktivnih efluentov zagotoviti, da celotna količina radioaktivnosti teh produktov dane nuklearne elektrarne nakopičena v bližnji in daljni okolici ne presega vrednosti nekaj kirijev.

Poseben problem je vsekakor tritij, ki ga nuklearne elektrarne producirajo približno 10^4 - 10^7 Ci na povprečno življenjsko dobo (17 let). Zelo težko je zadržati pod kontrolo več kot 90 % proizvedenega tritija, ker je to ekvivalentno zahtevi, da morajo biti povprečne letne izgube tritija manjše kot 0,6 % inventarja (manjše kot 10 % na 17 let). Skoraj edina praktična rešitev problema tritija, ki pride v poštev, je upoštevanje njegove nizke radiotoksičnosti in sproščanje v okolico. Seveda se pojavijo težave zadrževanja tritija pod kontrolo šele po nekaj letih obratovanja. Pričakovati je treba, da bodo nuklearne elektrarne tipa PWR in AGR sproščale v okolico približno 10^3 - 10^4 Ci tritija na leto; težkovodne (tip PHWR - s tlačnimi cevmi) pa do približno 10^5 Ci tritija na leto. To so dejstva, ki jih bo treba vsekakor upoštevati v predpisih o onesnaženju okolice, če nočemo dopustitit gradnjo sednjih komercialnih nuklearnih elektrarn tudi v Jugoslaviji. Zavedati se moramo, da je radiotoksičnost tritija v tekočih efluentih približno za 4 velikostne razrede (10^4 krat) manjša kot radiotoksičnost joda 131 in stroncija 90 in da pri tritiju ni nikakršne

nevarnosti rekoncentracije. Prav tako je treba upoštevati, da depozicija tritija iz atmosfere ne predstavlja nevarnosti, če se ga depnira manj kot 10^3 Ci/km^2 na leto (ker se razredči s približno 10^6 m^3 padavin).

Pri nuklearnih elektrarnah tipa BWR, ki obratujejo z okvarjenimi srajčkami goriva je treba upoštevati depozicijo razcepkov na pašnike in polje. Če nočemo, da bi se količina stroncija 90 nakopičenega v zemlji od radioaktivnih padavin nuklearnih eksplozij povečala, ne smemo dopustiti v zraku večje povprečne koncentracije kot. 10^{-13} Ci/m^3 pri vrednosti depozicijske hitrosti $V_g = 3.10^{-3}$ m/s.

$$(10^{-13}\ \frac{Ci}{m^3} \cdot 3.10^{-3}\ \frac{m}{s} \cdot 1{,}2.10^9\ \frac{s}{40\ let} = 3{,}6.10^{-7}\ \frac{Ci}{m^2 .\ 40\ let}$$

Za jod 131 pa vemo (iz izkušenj v Windscalu in z radioaktivnimi padavinami), da se ga ne sme deponirati več kot približno 10^{-7} Ci/m^2 na leto. Iz tega pa sledi pri depozicijski hitrosti 10^{-2} m/s, da povprečna koncentracija v zraku ne sme biti mnogo večja kot približno 10^{-13} Ci/m^3

$$(10^{-13}\ \frac{Ci}{m^3} \cdot 10^{-2}\ \frac{m}{s} \cdot 3{,}2.10^7\ \frac{s}{leto} = 0{,}3.10^{-7}\ \frac{Ci}{m^2\ leto})$$

Zaradi primerjave moramo vedeti, da je pri tritiju v vsakem primeru dovolj konservativno, če zahtevamo, da povprečna koncentracija v zraku ne sme biti večja od 2.10^{-8} Ci/m^3. To je vrednost, ki jo uporabljajo Kanadčani in je za faktor 10 nižja od vrednosti, ki jo določajo predpisi IAEA.

Če torej upoštevamo majhno radiotoksičnost tritija, vidimo, da lahko ves tritij tudi pri težkovodnih reaktorjih brez nevarnosti razpršimo v okolico (v hladilno vodo ali pa izparimo in spustimo skozi dimnik v atmosfero).

NEVARNOST ONESNAŽENJA OKOLICE V PRIMERIH NEZGOD

Problem nevarnosti onesnaženja okolice nuklearne elektrarne je treba reševati (i) z izbiro inherentno varno projektirane NE (ii) s postopki odobravanja lociranja, odobravanja gradnje in odobravanja obratovanja, (iii) z uporabo dobrih materialov in testiranjem med gradnjo,(iv) s preizkušanjem zgrajene NE, (v) z izbiro strokovno in duševno sposobnega personala nuklearne elektrarne.

V ta namen je treba predvideti celo vrsto najrazličnejših motenj v sistemih (ne glede na vzroke ali verjetnosti teh motenj - če jih ne poznamo) ter oceniti njihove posledice. Z zgoraj naštetimi metodami reševanja tega problema je treba zagotoviti, da bo verjetnost nezgod pri katerih bi se utegnilo sprostiti v okolico približno ali več kot 10^3 Ci joda 131 zanemarljiva, oziroma, da bo takšna nezgoda "neverjetna" (čeprav tudi mogoča). Poleg tega je treba zagotoviti, da bo tudi verjetnost manjših nezgodnih sprostitev dovolj majhna. oziroma manjša kot približno enkrat na leto.

Kolikšna sme biti verjetnost večjih sprostitev lahko ocenimo iz zahteve, da nezgodne sprostitve ne bi smele bistveno povečati povprečnega dopustnega sproščanja. Povprečno dopustno sproščanje za jod 131 pa je velikostnega reda 1 - 10 Ci/leto. Iz tega pa sledi, da vsota verjetnosti nezgod pomnožena z velikostmi sprotitev ne bi smela imeti večje vrednosti kot 1 Ci/leto joda 131. To pa pomeni, da bi morala biti skupna verjetnost za sprostitve (v okolico) 10^3 -10^4 Ci joda 131 manjša kot 10^{-4} na leto; za sprostitve 10^4 - 10^5 Ci manjša kot 10^{-5} na leto itd. Po mnenju Farmerja in drugih strokovnjakov bi bile tolikšne verjetnosti sprostitev vsekakor sprejemljive.

Lahko tudi rečemo, da morajo biti verjetnosti sprostitev več kot 10^3 Ci joda 131 zanemarljive in morajo pasti izven okvira "verjetnih" posledic za osnovno projektno nezgodo (design basis accident).

Sprostitev 10^3 Ci joda 131 lahko onesnaži 10^2 km^2 površine z jakostjo 10 u Ci/m^2, kar je 15 krat več kot ustreza "akcijskemu nivoju" za omejitev uporabe mleka iz prizadetega področja. Ne more pa prekoračiti "akcijskega nivoja" za evakuacijo otrok na večji površini kot približno 15 km^2. Akcijski nivoji (angleški) pa ustrezajo dozi ščitnic otrok 25 radov.

Z ozirom na zahtevano majhno verjetnost takšnih sprostitev so posledice vsekakor sprejemljive. Pri tem ne smemo pozabiti, da se pri nuklearnih elektrarnah zahteva stalna pripravljenost za hitro intervencijo v primerih nezgod. V ta namen morajo imeti nuklearne elektrarne izdelane načrte za postopke v sili. To pa pomeni, da morajo imeti stalno pripravljen določen personal in sredstva za hitro in učinkovito intervencijo v morebitnem primeru takšne nezgode.

DOZIMETRIJSKA IZRAČUNAVANJA

Za ocenjevanje največjih možnih površin, na katerih utegne dana sprostitev joda 131 prekoračiti akcijski nivo za pašnike (oziroma uporaba mleka za otroke) se uporablja koeficient 1 do 1,5 km^2/Ci, ki ustreza enakomerni depoziciji vse aktivnosti na dano površino. Zaradi neenakomernosti depozicije pa je dejanska velikost površine s preseženim akcijskim nivojem mnogo manjša. Maksimalna možna površina prekoračenja inhalacijskega akcijskega nivoja za otroke pa je tolikokrat manjša od površine za pašnike kolikor je razmerje med jakostjo dihanja (B) in depozicijo na kvadratni meter ($v_g \cdot 1\ m^2$)

$$\left(\text{koeficient} \lesssim 1{,}5\ \frac{B}{v_g \cdot m^2} = \frac{10^{-4}\ m^3/s}{10^{-2}\ m^3/s} = 10^{-2}\right)$$

Ta ocena sloni na izkušnjah, da zaužije človek z mlekom približno toliko joda 131 kolikor se ga deponira na m^2 površine.

Pri obravnavanju dozimetrije radioaktivnega oblaka je zelo priporočljiva uvedba izraza "gostota verjetnosti muditve" (GVM) za pričakovano vrednost časovnega integrala koncentracije na enoto sproščene aktivnosti, ki ima enoto $[s/m^3]$

$$(GVM) = \frac{\int X_{(\vec{r}t)}dt}{\int Q_{(t)}dt} = \frac{1}{S_{(x)} \cdot u_{(o)}} \cdot \frac{Q_{(x)}}{Q_{(o)}}$$

Tu pomeni $S_{(x)}$ efektivni prečni presek oblaka (v razdalji x od izvora) in u povprečno hitrost vetra (po preseku oblaka v razdalji x). Razmerje $Q_{(x)}/Q_o$ je koeficient oslabitve (razpada in depozicije) oblaka na poti do razdalje x.

GVM se uporablja za oceno ekspozicije določenega mesta, oziroma posameznika radioaktivnemu oblaku (tako, da množimo s celotno sproščeno aktivnostjo). Iz ekspozicije posameznika pa je možno oceniti prejeto inhalacijsko dozo ($2000 \frac{rad}{Ci.s/m^3}$ za otroke in $400 \frac{rad}{Ci.s/m^3}$ za odrasle).

Podobno je pri obravnavanju integralne doze ščitnic prebivalstva zelo priporočljivo uvesti izraz "verjetnost višinske (ali vertikalne) muditve" (VVM) za pričakovano vrednost časovno-površinskega integrala koncentracije na enoto sproščene aktivnosti, ki ima enoto $[s/m]$.

$$(VVM) = \frac{\int X_{(\vec{r}t)}dtdS}{\int Qdt} \doteq \frac{1}{v_g}$$

Tu pomeni v_g depozicijsko hitrost. Če pomnožimo vrednost (VVM) z efektivno gostoto prebivalstva (ρ) na prizadetem področju, izraženo z enoto ljudi/m^2 dobimo že kar integralno ekspozicijo prebivalstva na enoto sproščene aktivnosti $\frac{Ci\ s}{m^3}$/Ci. Koeficient konverzije integralne ekspozicije v integralno inhalacijsko dozo ščitnic prebivalstva (ID) je velikostnega reda $10^3 \frac{radov}{Ci.s}$.

$$\boxed{ID_{inhal.} \doteq 10^3 \cdot \frac{1}{v_g} \cdot \rho \cdot \int Qdt \ [\text{radov ščitnic}]}$$

LITERATURA:

(1) IAEA: Management of RAdioactive Wastes at Nuclear Power Plants; Safety Series No.28 (1968)

(2) M.Grgič: Zagadjenje okoline u normalnom pogonu nuklearne elektrarne i tendencije u pogledu lociranja. (Naročitelj: "Zajednica za jugoslovensku elektroprivredu", dokončano junija 1970).

(3) N.Bernot i.dr.: Odvisnost konstrukcije nuklearne elektrarne od lokacije v pogledu nuklearne varnosti, Nuklearna energija 3 - 5, V(1968/69) str.67.

Nr/4/06

MERJENJE Rn-222 V ZRAKU RUDNIKA URANA S POMOČJO SCINTILACIJSKE CELICE

Janez Kristan, Ivan Kobal, Meta Slapšak
Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana, Jamova 39
Odsek za zaščito pred ionizirajočim sevanjem

Franc Legat
Geološki zavod, Ljubljana, Dimičeva 16

UVOD

Za potrebe radiološke zqščite v rudniku urana v Gorenji vasi smo izdelali aparaturo za merjenje Rn-222 v zraku. Odločili smo se za metodo merjenja s scintilacijsko celico. To metodo sta prva razvila Taysoum in Van Dilla[1], nato je doživela nekaj izboljšav[2,3], danes pa se široko uporablja za merjenje radona[4,5,6,7].

Napravili smo celice z eno in z dvema cevkama za vzorčevanje. Za meritve v rudniku so predvsem primerne zadnje, ker se polnijo z enostavnim prepihovanjem zraka skozi celico s pomočjo gumi puhala, medtem ko celice z eno cevko zahtevajo predhodno evakuiranje.

Metoda merjenja sloni na tem, da scintilacijske celice napolnimo z vzorcem zraka, ki vsebuje Rn-222 in jo postavimo na fotopomnoževalko števca za merjenje alfa aktivnosti.

TEORIJA

V razpadni vrsti urana-238 je radon-222 edini plinasti produkt in je zato prisoten v rudniškem zraku. Bolj kot alfa aktivnost radona-222 pa je za rudarje škodljiva alfa aktiv-

nost njegovih potomcev RaA (Po-218) in RaC (Po-214), ki so trdni in jih rudarjeva pljuča pri dihanju takorekoč odfiltrirajo od zraka[8]. Zato radiološka zaščita v rudniku urana zahteva, da koncentracija radona-222 (in s tem njegovih potomcev) ne preseže določene meje, ki jo imenujemo maksimalna dovoljena koncentracija (MDK). Eden najbolj preprostih načinov kontrole v rudniku urana je merjenje koncentracije radona-222 v rudniškem zraku s pomočjo scintilacijske celice.

IZDELAVA SCINTILACIJSKE CELICE

Slika 1 prikazuje scintilacijsko celico z dvema cevkama za vzorčevanje. Celica je zvonaste oblike, spodaj zaprta z ravnim steklom. Celica je izdelana iz pyrex stekla, njen volumen je približno 16o ml. Obloga scintilatorja je na notranji strani, razen na ravnem steklu, ki služi za optični kontakt s fotopomnoževalko.

Kot scintilator smo uporabili cinkov sulfit, aktiviran s srebrom, tovarne Riedel-de-Haën. Na steno celice smo ga nanesli tako, da smo napravili suspenzijo scintilatorja v etilen-dikloridu. Za eno celico smo porabili 3 do 3,5 g scintilatorja. Suspenzijo smo vlili v odprto celico (brez ravnega stekla) in celico obračali, tako da se je suspenzija čimbolj enakomerno razlila po stenah. Ko je topilo odparelo, je nastala obloga scintilatorja. Sledilo je sušenje celice v toku toplega zraka. Ko je bila obloga suha, smo prilepili k celici še ravno steklo in jo na zunanji strani pobarvali, da bi s tem zaščitili scintilator pred dnevno svetlobo.

UMERJANJE SCINTILACIJSKIH CELIC

Celico umerimo tako, da ji na alfa števcu najprej izmerimo ozadje, jo napolnimo z znano količino Rn-222 in ponovno izmerimo njeno aktivnost na alfa števcu. Tako dobimo faktor, ki ga imenujemo konstanta celice in ki nam pove, koliko sunkov na minuto dobimo na števcu za koncentracijo radona-222 v celici 1 pCi/l. Za umerjanje celic smo uporabili standardno raztopino radijevega klorida[9]. To smo dali v posodo, imenovano razvijalec radona, ki je prikazan na Sliki 2. Razvijalec radona pa smo zaprli za določen čas, tako da se je razvila znana množina radona. Nato smo scintilacijsko celico priključili preko pasti s silikagelom na razvijalec radina. Zaradi tlačne razlike pride do pretoka zraka skozi raztopino (pri tem je pipa na kapilari odprta, pipa, ki povezuje aparaturo s Hg-manometrom pa zaprta). Steklena frita na dnu razvijalca razprši zračni tok v drobne mehurčke, ki odnašajo s seboj radon iz raztopine. Pipe morajo biti toliko odprte, da raztopina ravno lepo "vre". Pretok je končan, ko se tlaka na obeh straneh raztopine izenačita. Čas prepihovanja znaša 6 - 1o minut. Aktivnost standardne raztopine je bila 2o1 pCi, aktivnost radona-222 v celici pa 2o - 3o pCi. Po prepihovanju ostane v raztopini še o,4 - - o,6 pCi radona-222. To korekturo smo pri umerjanju celic upoštevali.

Ko je prepihovanje končano, scintilacijsko celico zapremo, počakamo 3 ure, da se vzpostavi radioaktivno ravnotežje med radonom in njegovimi potomci, in izmerimo aktivnost z alfa števcem. Uporabljali smo števec domače proizvodnje[1o]. Napetost na fotopomnoževalki smo spreminjali in pri tem se je pokazalo, da leži plato krivulje "izmerjena aktivnost - na-

petost na fotopomnoževalki" med 9oo in 12oo V (Slika 4). Zato smo pri meritvah uporabljali napetost 1ooo V.

Ozadje novih celic je bilo o,5 - 1 cpm.

Rezultati umerjanja celic so skupaj z volumnom celic podani v Tabeli 1.

Tabela 1: Karakteristike scintilacijskih celic

št.celice	volumen (ml)	konstanta celice (cpm*/ pCi/l)
1	152	o,6o ± o,o4
2	158	o,63 ± o,o3
3	156	o,61 ± o,o2
4	156	o,55 ± o,o2
5	159	o,61 ± o,o3

* cpm = counts per minute

Ko je merjenje aktivnosti končano, je potrebno celico prepihati s svežim zrakom. S tem izženemo radon in preprečimo nadaljnjo rast radonovih potomcev. Ko nastali radonovi potomci v celici razpadejo, pade aktivnost celice na prvotno ozadje in celica je uporabna za novo meritev.

MERJENJE Rn-222 V URANSKEM RUDNIKU

Ko enkrat poznamo konstante celice, lahko celico uporabimo za merjenje koncentracije radona-222 v zraku uranskega rudnika. Pri tem je treba celice z eno cevko evakuirati. To je tudi slaba stran teh celic, kajti zgodi se, da pipa na celici pri prenosu popusti in je vzorčevanje v rudniku nemogoče. Tej pomanjkljivosti smo se izognili z izdelavo celic z dve-

ma cevkama. Pri teh ni potrebno evakuiranje, le cevki morata biti zamašeni z navadnima gumijastima zamaškoma. V rudniku se priključi ena cevka na gumi puhalo, s pomočjo katerega prepihamo zrak skozi celico. Vlago in radonove potomce pri tem odfiltriramo tako, da črpamo zrak preko pasti, napolnjene z vato in silikagelom. Ker so konstante celic dobljene za ravnotežne aktivnosti, je tudi pri merjenju radona v rudnikih potrebno meriti aktivnost v celici po treh urah po vzorčevanju.

Naše celice so uporabne za merjenje koncentracije radona-222 v zraku nad 5o pCi/l zraka. Napaka pri merjenju je 5 - lo %.

V Tabeli 2 so podani rezultati nekaj občasnih meritev radona-222 v zraku rudnika v Gorenji vasi.

Tabela 2: Koncentracija radona-222 v jamskem zraku

datum	delovišče	koncentracija Rn-222 (pCi/l)
6.lo.1969	H-8	52o
	H-72	29o
	pod sipalnikom	4oo
4.12.1969	na vrhu jaška	23o
	ob sipalni vrtini	226
	H-72	43o
26.3.197o	v hodniku	311
	H-81	4ooo
	H-71	17o

ZAKLJUČEK

Scintilacijske celice z dvema cevkama za vzorčevanje se uporabljajo v rudniku v Gorenji vasi za redno kontrolo radona-222. Edina slaba stran pri njih uporabi je ta, da v primeru visoke koncentracije radona, tudi po prepihanju celice s svežim zrakom, ne pade aktivnost celice v enem dnevu na prvotno ozadje. Zato je treba počakati do naslednje meritve nekaj dni.

Scintilacijske celice z eno cevko za vzorčevanje bomo uporabljali za merjenje koncentracije radona-222 v vodah. Pri tem se vzorec vode napolni v posodo, podobno razvijalcu radona, postopek pa je isti kot pri umerjanju celic.

LITERATURA

/1/ M.A.Van Dilla, D.H.Taysoum: Nucleonics 13 (2), 68 (1955)

/2/ H.F.Lucas: Rev.Sci.Instr. 28 (9), 68o (1957)

/3/ D.R.Rushing et al.: Proceedings of the Symposium: Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, vol.II., 187 (Vienna 1964)

/4/ D.Hajduković: IV.Jugoslovanski simpozij o radiološkoj zaštiti, vol.II., 417 (Baško polje, 1969)

/5/ W.Dyck: Economic Geology 63 (3), 288 (1968)

/6/ R.Höhle, U.Schuh: II.Sympoium on Health Ph., 1o5 (Pecs, Hungary 1968)

/7/ S.R.Rabson et al.: Proceeding of the Symposium: Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, vol.II., 334 (Vienna 1964)

/8/ E.Pohl, J.Pohl-Rüling: An.Acad.Brasil.Cienc. 39 (314), 393 (1967)

/9/ Gosudarstvenii sojuzni trest "Sojuzreaktivov", Vsesojuzna kontrola "Izotop", tekoča raztopina radija, No Y67, vsebnost radija v g 2,o1.10^{-8} ± 3 %, datum 9.maja 1961

/1o/ Števec št. 19-o1, NIJS, Ljubljana

INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU NUKLEARNIH
I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA
B E O G R A D

N / 4 / 07

PRILOG PROUČAVANJU DISPERZNOSTI PRAŠINE I AEROSOLA URANA PRI RAZRADI TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA

AUTOR
Milica Kačarević, dipl. ing.
Milica Kačarević

1970
B e o g r a d

U V O D

Veliko interesovanje za probleme "čistoće vazduha" potstakli su podaci o veličini štetnih efekata koji nastaju "inhaliranjem" uranonosne prašine i aerosola /1/. Činjenica da se pri razradi tehnologije urana oslobadjaju čestice prašine koje u vazduhu egzistiraju u vidu aerosola, mogućnost daljeg prenošenja vazdužnim tokovima na razna rastojanja, taloženje na većim česticama i unošenje u pluća osoblja koje opslužuje proces, ukazuje da ovo pitanje ima odredjeni higijenski značaj.

Polazeći od ovoga i podataka za maksimalno dozvoljene koncentracije, koje su date za ukupan sadržaj urana i radioaktivna aerosola u okolnoj atmosferi /2/, od interesa su proučavanja disperznosti i veličine čestica materijala sa kojima se manipuliše pri razradi tehnoloških postupaka. Predmet našeg rada je analiziranje granulometrije čestica uranonosnog praha sa utvrdjivanjem odnosa onih koje mogu da dospeju u pluća. Opiti su izvodjeni na materijalima koji se tretiraju u tehnologiji dobijanja prirodnog urana, pri specifičnim operacijama i u eksperimentima koji simuliraju izvesne postupke oslobadjanja prašine i aerosola.

TEHNIKA ISTRAŽIVANJA I METOD RADA

U eksperimentalnom radu pri izboru metode za frakcionisanje čestica vodilo se računa da se radi sa prirodnim radioaktivnim materijalima, te je postupak za odvajanje izvodjen mokrim putem. Usvojeno je da se odvajanje čestica vrši prema frakcijama većim od 50 μ zatim 20-50; od 10 - 20; od 5 - 10 ; od 2-5, od 1-2 i manjim od 1 μ.

Podela je izvedena tako da čestica manja od 10 budu podeljene u četiri frakcije, sa tendencijom da najveći broj istih bude kod najfinijih čestica tj. ispod 5 μ. Pojedine frakcije bilo je moguće odvojiti primenom Staus-ovog zakona slobodnog padanja:

$$V = K \times \frac{d^2/D_1 - D_2/}{\eta} \qquad /3/$$

gde je

$V = h/t$ odakle proizilazi da je

$$t = \frac{h \times \eta}{K \times d^2/D_1 - d_2/}$$

gde je:

t = vreme /sec./
K = konstanta /1/18/
h = visina /m/
η = viskozitet /u tehn.jedinici za vodu o,oool/
D_1 = specifična težina materijala /kgr/cm^3/
D_2 = specifična težina rastvora /kgr/m^3/
d = prečnik čestice /μ/
V = brzina taloženja /m/sec/

Na osnovu poznate visine vodenog stuba h/2o cm/, odredjivanjem specifičnih težina ispitivanih materijala pomoću piknometra, nadjeno je vreme potrebno za odvajanje pojedinih frakcija. Na osnovu odredjene količine polaznog materijala i količine dobivenog produkta nadjen je procentni sadržaj prašine za svaku

pojedinačnu frakciju. Sušenje dobivenih frakcija vršeno je na temperaturi od 110°C.

Dalja ispitivanja su se odnosila na utvrdjivanje sadržaja urana i veličine aktiviteta u dobivenim frakcijama. Uran je odredjivan standardnim metodama: u rudnom materijalu fluorimetrijskom a u solima volumetrijskom.

Za dokazivanje beta aktivnosti dugoživećih uranovih potomaka, uzimana je težina od 100 mgr i nanošena na standardnu aluminijumsku planšetu. Ukupna aktivnost ispitivanih proba merena je pomoću uredjaja proizvodnje Tracerlab Ins. tipa Simple Changer sa G.M. brojačem cevi za liskunskim prozorom. Za odredjivanje efikasnosti brojačkog uredjaja upotrebljen je U^{234} aktivnosti $1,65 \times 10^{-5}$ m Ci.

Istraživanja su vršena serijom eksperimenata koristeći sledeći materijal:

a/ rudni materijal - bogat po sadržaju urana i siromašan po sadržaju urana, i

b/ uranske soli /UO_2, UO_3, U_3O_8, UF_4, ADU tehnički i ADU nuklearno čist.

Rezultati ovih ispitivanja prikazani su u tabeli 1 i 2 i dijagramima od 1 do 9.

Dalja ispitivanja izvedena su u cilju utvrdjivanja sadržaja radioaktivne kontaminacije najfinijim česticama u okolnoj atmosferi pri manipulacijama sa uranonosnim materijalom u

a/ simuliranim uslovima, i
b/ radnim uslovima

Za uzorkovanje aerosola korišćen je kaskadni impektor proizvodnje C.F.Casella Co Ltd. /sl.1/ koji skuplja čestice u pet frakcija i ostvaruje kvantitativno odvajanje vrlo finih čestica koje se mogu brojati brojačkim uredjajima ili meriti direktno pod mikroskopom.

Svi uzorci dobijeni su brzinom protoka vazduha od 17,5 l/min a brojanje čestica je vršeno pomoću Zeiss-ovog mikroskopa.

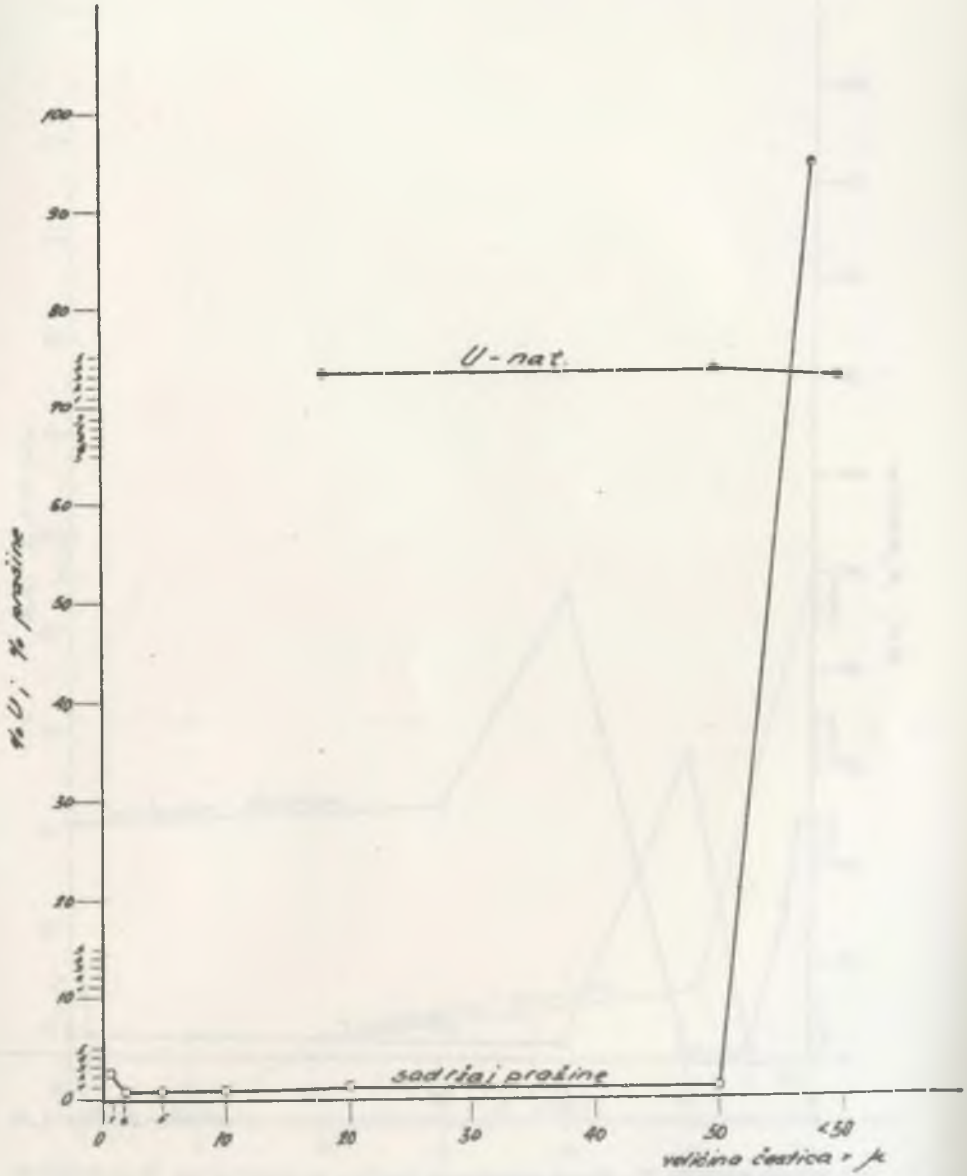
Serija ovih eksperimenata izvedena je sa sledećim solima urana: UO_2, UO_3, U_3O_8, ADU, UF_4 i kalcinat. Rezultati su dati u tabeli 3 i 4.

DISKUSIJA

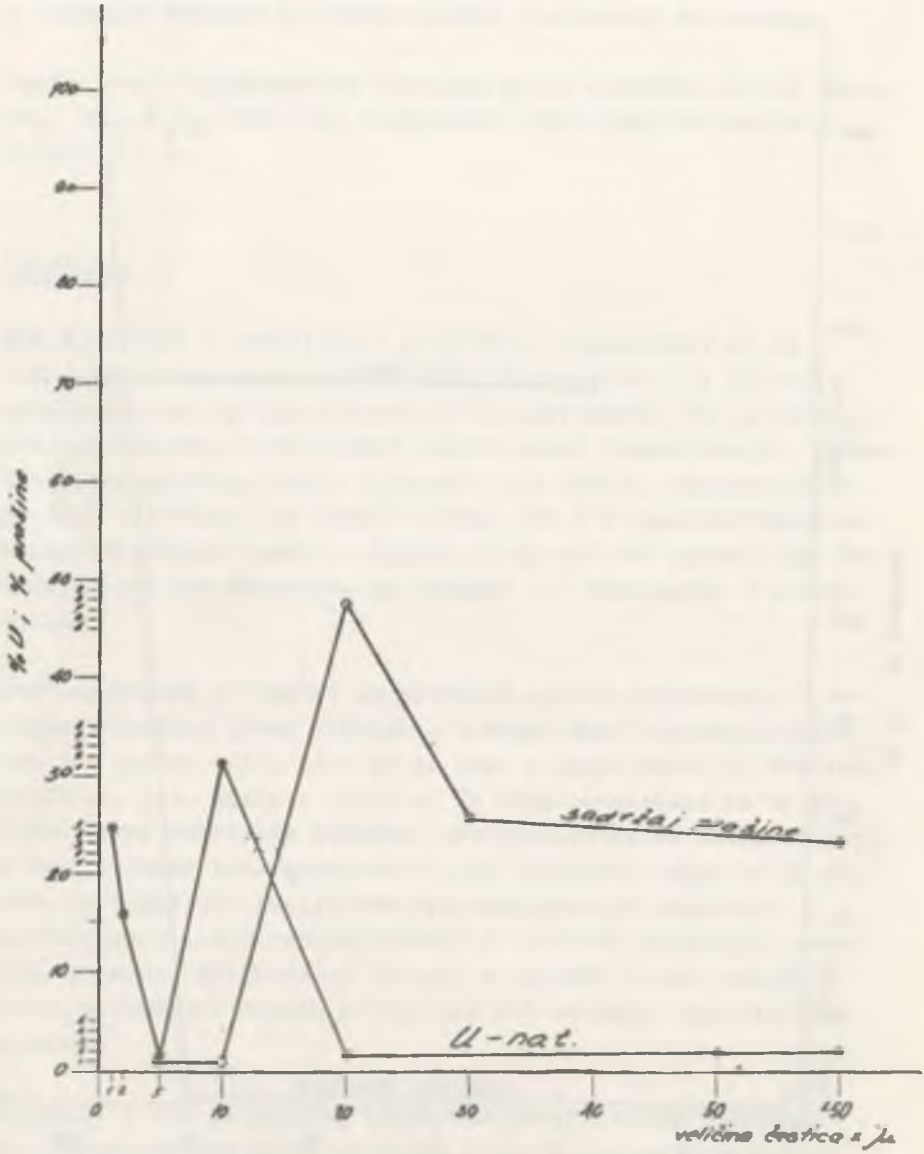
Pre diskusije o rezultatima potrebno je napomenuti da se u toku izvođenja eksperimenata moglo konstatovati da postoji velika razlika od eksperimenta do eksperimenta. To je zavisilo od menjanja tehnoloških uslova samih eksperimenata, granulometrije prašine, njene vlažnosti ili suvoće, koncentracije prašine u vazduhu, ne vodeći računa još i o konstruktivnim karakteristikama uređaja. Smatra se da svi ovi uslovi mogu da deluju kroz dva mehanizma na promene ili odstupanja u rezultatima.

Prvi mehanizam se odnosi na postupak metode uzorkovanja i odvajanja čestica prema veličini, a drugi samu tehniku merenja. Oba ova uslova utiču bilo da se radi o granulometriji prašine, brojanja, bilo sastavu prašine. Iz toga proizižazi da za kritičku ocenu dobivenih podataka navedene elemente treba uzimati u obzir. Prema tome generalizovanje rezultata moglo bi da dovede do pogrešnih zaključaka pri sagledavanju mogućnosti i postavljanju odgovarajućih odnosa za internu depziciju. Međutim, primenom korekcionih faktora a imajući u vidu ukupnu srednju vrednost raznih proba, ono što se moglo zapaziti je sledeće:

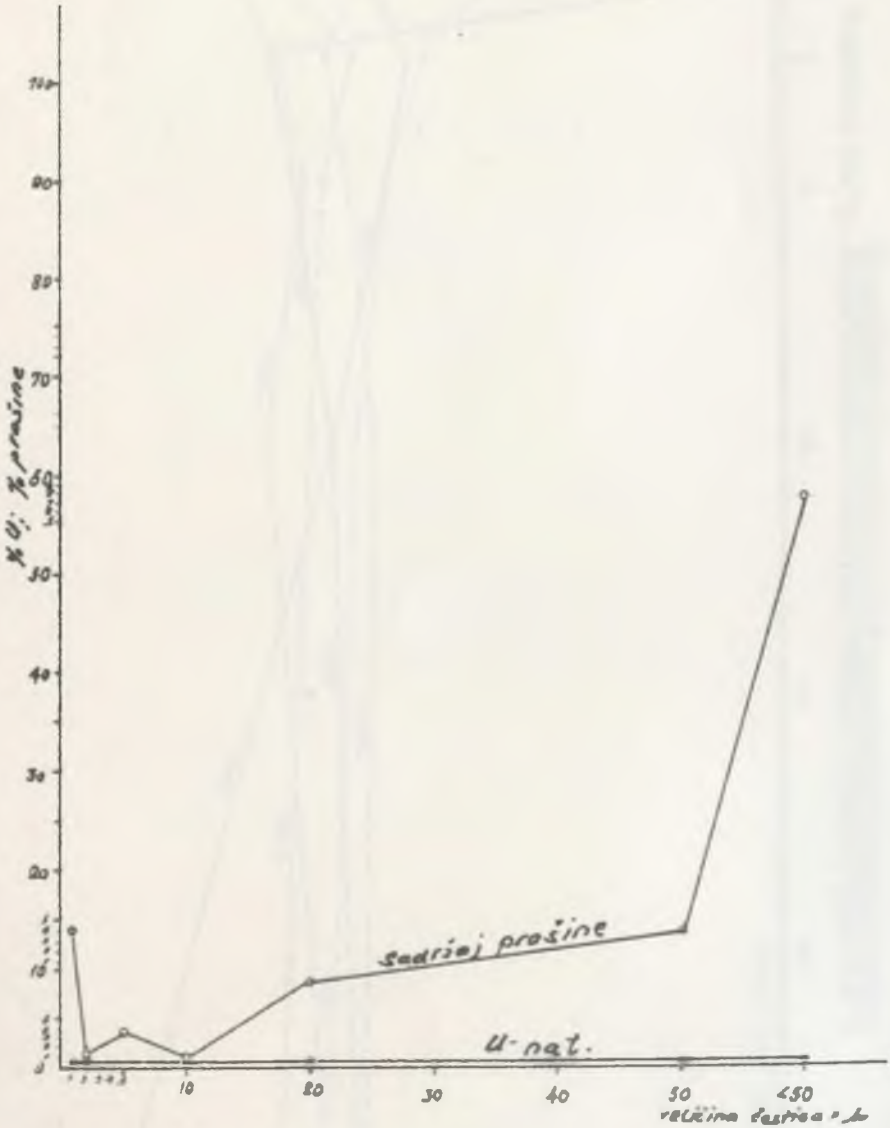
U tabeli 1 dat je pregled rasporeda čestica prema veličini sa procentnim sadržajem prašine, urana i ukupne beta aktivnosti kod rada sa uranonosnim materijalima koji se tretiraju



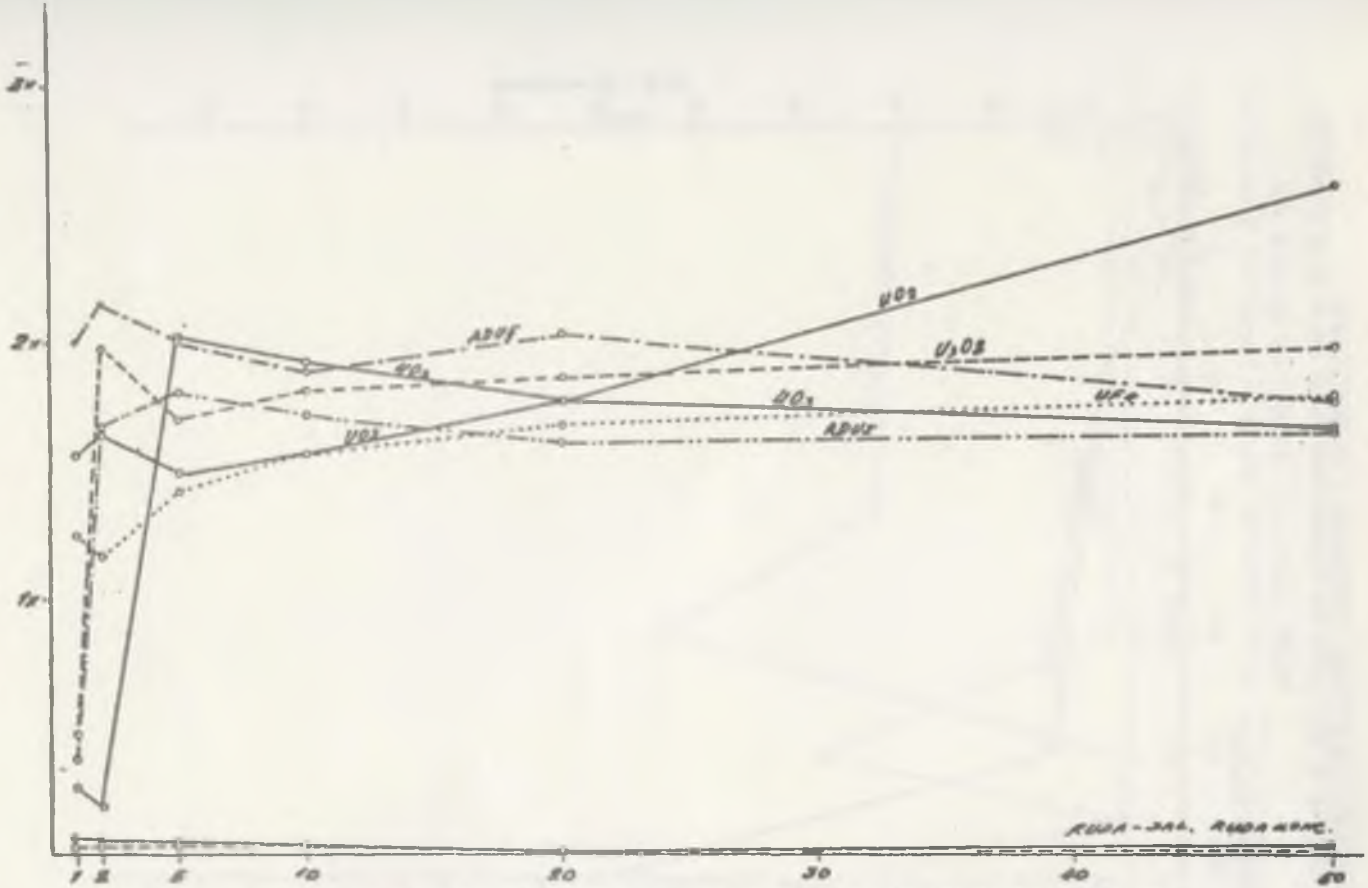
DIJAGRAM Br. 6. – Kriva rasporeda čestica prema veličini sa % sadržajem urana i prašine u materijalu ADU - tehn.



DIJAGRAM Br. 7. – Kriva rasporeda čestica po veličini sa % sadržajem urana i prašine u materijalu Gorenja Vas - U



Dijagram Br 8.- Kriva raspored čestica po veličini sa % sadržajem urana i prašine u materijalu Gornja Vas - jalovina



DIJAGRAM BR. 9.- KRIVE RASPODELE AKTIVNOSTI PREMA VELIČINI ČESTICA U MATERIJALU KOJI SE TRETIRAJU U TEHNOLOGIJI PRIRODNOG URANA

YE 810/70

FRAKCIONO RAZDVAJANJE GASOVITIH PRODUKATA FISIJE GORIVNOG ELEMENTA OD NEOBOGAĆENOG UO_2

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

Za analizu karakteristika gorivnog elementa od bitne važnosti je količina oslobodjenih gasova i udeo parcijalnih komponenti pojedinih gasovitih fisionih produkata u njegovoj slobodnoj zapremini pri ozračavanju u reaktoru. Analiza se može vršiti u toku rada samog reaktora ili u postiradijacionim uslovima.

U ovom radu je razmatrana analiza karakteristika gorivnog elementa od sinterovanog neobogaćenog UO_2 u postiradiacionim uslovima na temperaturi $293^{o}K$.

Postavljeni problem je rešavan pomoću volumetrijskog sistema u koji se punktiranjem košuljice gorivnog elementa oslobodjeni gasovi iz njega kvantitativno prevode i frakciono razdvajaju na bazi razlike napona pare u funkciji temperature uz upotrebu raznih vrsta trapova /1/.

Za ispitivanje karakteristika gorivnog elementa predvidjena je promena stepena izgaranja pri radu reaktora u intervalu od $63,45 \cdot 10^{-3}$ do $1000 \cdot 10^{-3}$ MWD. Za najnepovoljniji slučaj u odnosu na količinu proizvedenih gasovitih produkata iz ovog intervala pri radu reaktora od $63,45 \cdot 10^{-3}$ MWD, 120 dana hladjenja i na $t = 293^{o}K$, računskim putem, na osnovu podataka iz literature /2,3,4,5/, nadjeno je da očekivani pritisci gasovitih produkata fisije u slobodnoj zapremini gorivnog elementa 1,45 cm^3 iznose 95,42 mmHg. Udeo aktivnih gasovitih komponenti je 23,81mmHg.

Pri uslovima predhodno iznetim radioaktivnosti gasovitih produkata doprinose samo izotopi ^{85}Kr, ^{133}Xe i ^{131}J pri čemu pritisak pare joda je manji od 1 mmHg, a Kr 13,84 mmHg i Xe 81,70 mmHg. Fisioni produkti sadrže još i neaktivni He čiji pritisak pri citiranim uslovima iznosi 5571 mmHg. Kako He nije fisioni produkt nego se dodaje u svojstvu obezbedjenja inertne atmosfere u gorivnom elementu, njega je potrebno eliminisati iz volumetrijskog sistema pre početka analize fisionih produkata.

Da bi se ispitala efikasnost frakcionog razdvajanja gasovitih produkata fisije, nastalih pri datim eksperimentalnim uslovima,napravljen je simulativni izvor smeše gasova He+Xe+Kr+ $+J_2$. Parcijalni pritisci gasova normirani na pritisak He uzet za 100% su 0,25% Kr, 1,47% Xe i J_2 u tragovima.

Kvantitativno prebacivanje smeše gasova iz simulativnog izvora i frakciono razdvajanje pojedinih komponenti izvršeno je na staklenoj vakum aparaturi čiji je šematski prikaz dat na sl. 1.

Kao što se vidi sa sl. 1. aparatura je funkcionalno podeljena na dva dela I i II, slavinom S24r i Toepler-ovom pumpom. U delu I nalaze se trapovi na kojima se vrši razdvajanje pojedinih komponenti, a deo II čini poznatu zapreminu zajedno sa sudićima za uzimanje uzoraka za gama i masenospektrometrijsku analizu i manometrom za očitavanje pritiska.

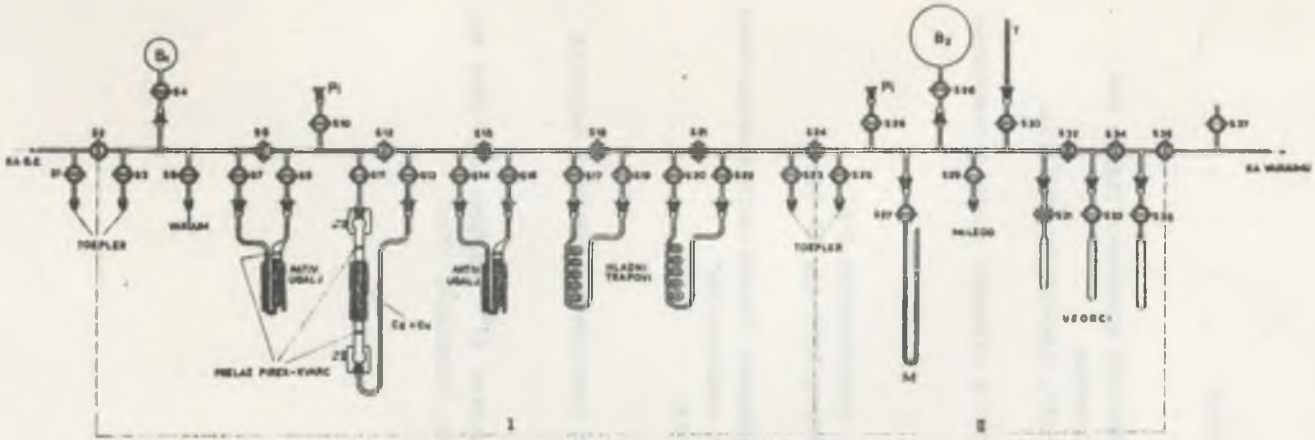
Simulativni izvor (balon B_1) smešten je na ulaz u aparaturu, gde su dovodi za gas iz gorivnog elementa. Otvaranjem slavine S4 i S7 pri zatvorenoj slavini S8 smeša gasova iz B_1 dovodi se na predhodno dobro degaziran (500°C7 ugljeni trap koji se hladi tečnim azotom. U njemu se na toj temperaturi (-196°C)

kvantitativno apsorbuju sve gasovite komponente izuzev He, koji se preko otvorene slavine S9 i S36 horizontalnom granom pomoću vakuum pumpe izbacuju iz sistema sve do pritiska 10^{-3} mmHg, što se kontroliše PIRANI-evim merilom (Pi). Pre eliminacije He iz sistema uzima se proba otvaranjem slavine S31 u sudić za analizu na masenom spektrometru. Zatvaranjem slavina S7, S12, S15 i otvaranjem slavina S11 prema vrelom Ca+Cu trapu (500°C) i slavina S13 i S14 prema drugom ugljenom trapu koji se drži na -196°C, zagrevanjem prvog ugljenog trapa do 400°C iz koga se oslobadjaju svi apsorbovani gasovi uz istovremenu eliminaciju joda i eventualnih nečistoća (O_2, N_2, CO, CO_2, i dr.) na Ca+Cu trapu, vrši se trapiranje plemenitih komponenti Xe i Kr na drugom hladnom (-196°C) ugljenom trapu. Slavina S13 se potom zatvori, a otvore slavine S16, S18, S21, S23, S25. Drugi ugljeni trap se zagreva do 400°C te se oslobodjeni Kr i Xe Toepler-ovom pumpom prebacuje u deo II aparature gde se pomoću zatvorenog Hg manometra meri ukupan pritisak. Posle ovoga se preko otvorenih slavina S24,S22, S20 i S19 Xe povuče iz sistema na hladne trapove (-196°C) sve do pritiska napona pare Xe na toj temperaturi (oko 1/10 dela mmHg /6/) sa zanemarljivom količinom Kr (napon pare Kr na -199,3° iznosi 1 mmHg /6/). Pošto se postigne stacionarno stanje koje se kontroliše na manometru, u delu II aparature odvojen je Kr sa poznatom količinom Xe odredjenom naponom pare na -196°C i poznatom zapreminom. Od tako izdvojenog Kr odmerava se volumetrijski odredjena količina u sudić (otvaranjem slavine S33), kao proba za gama spektrometrijsku i masenospektrometrijsku analizu. Sada je moguće evakuisati Kr iz sistema. Kada je to postignuto zatvara se slavina S36 i otvara S22 i zagrevaju hladni trapovi do

sobne temperature da se oslobodi Xe. On se Toepler-ovom pumpom kvantitativno prevodi u deo II, očita njegov pritisak i uzme proba za analizu.

Ukupna količina gasova zajedno sa He odredjuje se bez upotrebe trapova, prebacivanjem gasova iz balona B_1 pomoću Toepler-ove pumpe u deo II poznate zapremine merenjem pritiska. Upotrebom samo prvog ugljenog trapa odredjuje se količina gasovitih produkata fisije, pošto se izbaci He iz sistema.

Efikasnost postupka frakcionog razdvajanja je odredjena na osnovu podataka masenospektrijske analize uzetih uzoraka Xe, Kr i He. Za dati eksperimenat, nadjeno je da uzorak Kr sadrži 98,96% Kr i 1,04% Xe. Uzorak Xe sadrži 99,95% Xe i 0,05% Kr. Uzorak He je sadržavao primese Kr i Xe ispod 1%. Ove analize Kr i Xe pokazuju da su razdvojeni na nivou očekivanih vrednosti koje su diktirane njihovim naponima para na temperaturi od -196°C. Minimalna količina Kr i Xe, koja se može na osnovu izmerenih parcijalnih pritisaka u poznatoj zapremini analizirati na ovoj aparaturi, je reda 10^{-4} gr. Izračunate mase ovih gasova oslobodjenih iz rešetke UO_2, eksperimentalnog gorivnog elementa, za dati eksperimenat su istog reda veličine /2/. Jodne pare, nečistoće prisutne u polaznim gasovima He i Xe (O_2, N_2, H_2O, CO_2), nisu identifikovane posle frakcionog razdvajanja, što potvrdjuje efikasnost primenjenog trapiranja.



APARATURA ZA FRAKCIONO RAZDVAJANJE GASOVITIH PRODUKATA FISIJE

Sl.1

LITERATURA

1. M.Miletić i dr.: Merenje gasovitih produkata fisije kod eksperimentalnog gorivnog elementa
   Interna dokumentacija IBK, 1967. zadatak Br. 7.14/11.

2. A.S. Zajmovskij: Teplovidejušćie elementi atomnih reaktorov, Gosatomizdat, Moskva 1962.

3. ATOMIC ENERGY WASTE.
   Edited by E.Gueckauf London, Butterworths 1961.
   Ruski prevod T.I.L.A.N.T. Moskva 1963 (pp 26-38)

4. Izveštaj o sigurnosti eksperimenta "Ozračivanje neobogaćenog sinterovanog UO_2 u kapsuli u reaktoru RA"
   Interna dokumentacija IBK 1968.

5. N. Gusev, V. Maškovic
   Gama izlučenie radioaktivnih izotopov i produktov delenija
   Gosatomizdat, Moskva 1958.

6. Handbook of Chemistry and Physics 37th Edition 1955-1956 Ed, Chemical Rubber Publishing Co, Clevland, OHio.

Nr / 4 / 09

AKCIDENT PRAŠKASTIM Co^{60}

Dj. Ristić, T. Tasovac, R. Radosavljević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Nr / 4 / 09

AKCIDENT PRAŠKASTIM Co^{60}

Dj.Ristić, T.Tasovac i R.Radosavljević

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Abstrakt

Dat je postupak likvidacije akcidenta nastalog prosipanjem 4 mCi praškastog Co-60 kod objekta "hladnjača" u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča na dan 19.IV.1967. godine.

U v o d

Dana 19.IV.1967. god. usled nepoštovanja propisa o radu sa radioaktivnim materijalom u Odeljenju za proizvodnju radioaktivnih izotopa, kod objekta "hladnjača" u IBK, došlo je do prosipanja i rasturanja oko 4 mCi Co^{60}. U momentu prosipanja duvao je vetar umerene jačine koji je prouzrokovao brzo raznošenje praha Co^{60} u okolinu. Odmah je usledila organizovana koordinirana akcija za likvidaciju posledica akcidenta u kojoj su učestvovali: Odeljenje operativne dozimetrije, Odeljenje medicinske zaštite, Odeljenje za kontrolu radioaktivnosti biosfere i Odeljenje za dekontaminaciju i intervencije Instituta "Boris Kidrič".

Na osnovu rezultata direktnih merenja i merenja uzetih uzoraka utvrdjena je kontaminacija 6 ljudi i procenjeno je da je kontaminirana površina obuhvatala oko 8000 m^2.

Konfiguracija tla, brojni gradjevinski objekti u okolini i vremenske prilike u momentu akcidenta u znatnoj meri su otežavali rad na likvidaciji posledica akcidenta.

Postupak pri likvidaciji akcidenta
i metodologija rada

Rad na likvidaciji posledica akcidenta odvijao se na:

1. Utvrdjivanju kontaminacije ljudstva
2. Utvrdjivanju obima i pravca prostiranja kontaminacije
3. Utvrdjivanju nivoa kontaminacije zelenog pokrivača
4. Utvrdjivanju nivoa kontaminacije predmeta u okolini
5. Utvrdjivanju promena nivoa aktivnosti zelenog pokrivača i tla u funkciji mesta i vremena, i
6. Likvidaciji akcidenta.

Kontaminacija ljudstva ustanovljena je u sanitarnom propusniku Odeljenja za proizvodnju radioaktivnih izotopa i kretala se od 0,2 - 66 MDK. Stepen kontaminacije odredjen je monitorom zračenja MZ-1 sa sondom koja sadrži Filipsov GM brojač 18506. Odmah po ustanovljavanju kontaminacije alarmiran je akcident i ogradjena neposredna okolina objekta gde se manipulisalo sa radioaktivnim materijalom kao i šira okolina za koju se pretpostavljalo da je kontaminirana. Istovremeno je zabranjeno kretanje kroz kontaminiranu zonu.

Za utvrdjivanje obima i pravca prostiranja kontaminacije kao i nivoa kontaminacije organizovano je monitorovanje

površina prenosnim instrumentima (KOMO-T i dozimetar VA-J-15) i uzimanje brisaeva sa različitih površina, uzimanje rastinja, zemlje i dr. za merenje na laboratorijskim uredjajima (gama spektrometar, uredjaj za merenje ukupne gama radioaktivnosti i dr.). Količina rastinja za merenje iznosila je 400 gr, a uzimano je sa površine od 1 m^2. Medjutim, zeleni pokrivač nije imao svuda istu specifičnu gustinu pa je zbog evaluacija nivoa kontaminacije ova posebno odredjivana i kretala se od 1,7 - 3,4 kg/m^2.

Analizom podataka dobivenih merenjem površina i laboratorijskim merenjima uzoraka utvrdjeno je pet zona kontaminacije sa nivoima kontaminacije od 10^{-3} - 10^{2} $\mu Ci/kg$ materijala (tablica 1).

Tablica 1.

Pregled kontaminacije u pojedinim zonama

Zona	$\mu Ci/kg$	Kontaminirana površina m^2	Ukupna kontaminacija Co^{60} μCi	
			19.IV.1967.	25.IV.1967.
I	10^{-3}	600	32	2,4
II	10^{-2}	225	6	77,0
III	10^{-1}	6000	1020	51,5
IV	1	1000	2380	8,5
V	10^{-1}-10^{2}	150	198	36,0
I-V	-	7975	3638	195,4

Raspored ovih zona dat je na skici 1. Zona najviše kontaminacije nalazila se neposredno oko meata gde se manipulisalo sa radioaktivnim materijalom i iznosila je oko 150 m^2. Nivoi kontaminacije

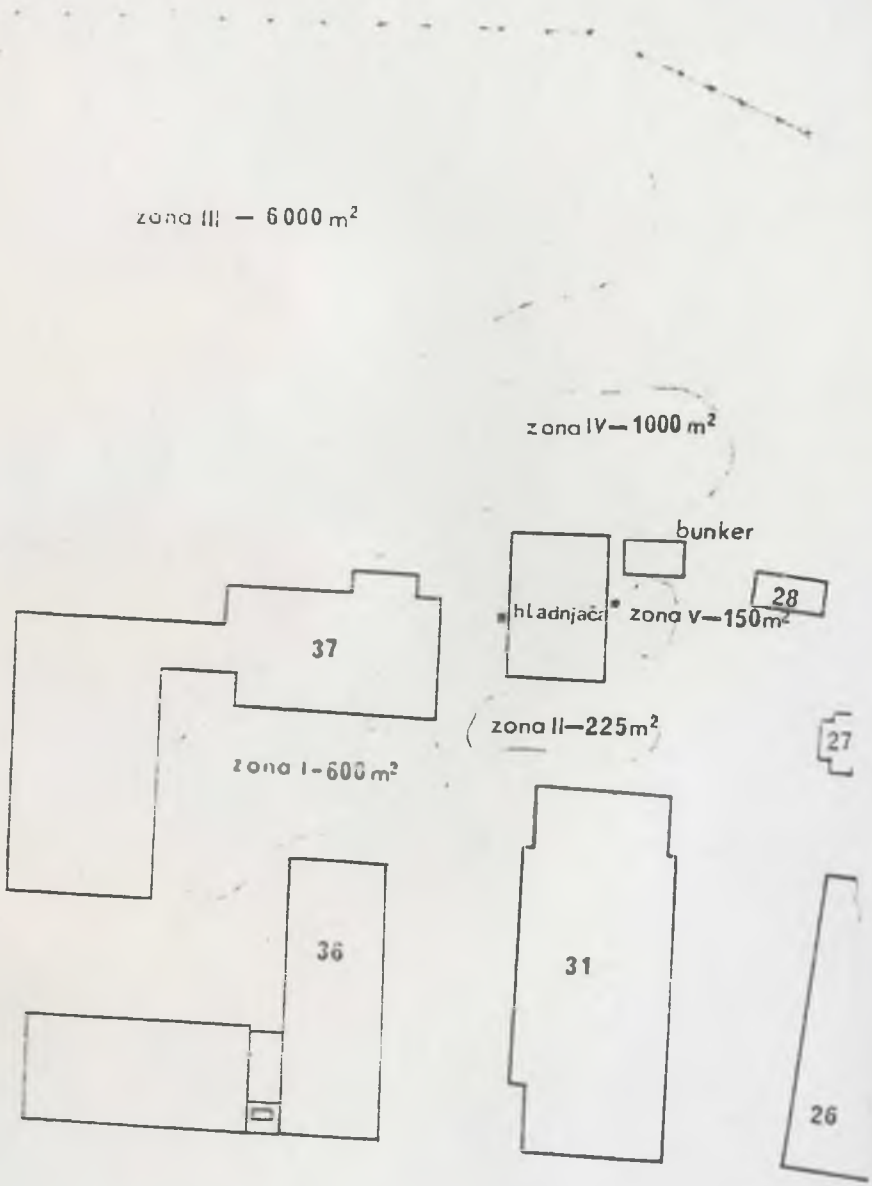
u ovoj zoni za pojedine uzorke (trava, lišće) kretali su se od 400 - 850 MDK. Medjutim, najveća količina radioaktivnog Co^{60} rasuta je po zoni IV. Približno je, kao što se vidi iz tablice 1, iznosila oko 2,38 mCi na površini od 1000 m^2.

Likvidacija posledica akcidenta vršena je paralelno sa monitorovanjem i utvrdjivanjem nivoa kontaminacije, a sastojala se u košenju rastinja, njegovom uklanjanju i uklanjanju drugog kontaminiranog materijala. U ovakvim situacijama pribegava se, da bi se sprečilo rasturanje praškastog materijala, kvašenju kontaminirane površine. Ovaj postupak nije primenjivan pošto je tokom radova na likvidaciji bilo padavina. Interesantno je da je i posle padavina bilo još "vrućih" tačaka na drveću i rastinju.

Zaključak

U toku 6 dana je likvidiran akcident. Od rasutih 4 mCi Co^{60} na oko 8000 m^2 19.IV.1967. god. na dan 25.IV.1967. god. utvrdjeno je posle košenja i uklanjanja rastinja i drugog materijala (zemlja, lišće) na kontaminiranoj površini 196 μCi Co^{60}. Prosečan stepen kontaminacije u momentu nastojanja akcidenta iznosio je $5 \cdot 10^{-5}$ $\mu Ci/cm^2$, a 6 dana kasnije oko $2,5 \cdot 10^{-6}$ $\mu Ci/cm^2$. Dekontaminacijom je uklonjeno oko 3 mCi Co^{60}. Na zelenom pokrivaču je ostalo 5,5 %, a na zemljištu oko 12 % kontaminanta. Nakon likvidacije akcidenta nastavljeno je sa praćenjem radioaktivnosti u okolini.

RASPORED KONTAMINIRANIH ZONA
OKO OBJEKTA „HLADNJAČA"



PK 840/70

INTERNA PRAVILA ZA RAD SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U INDUSTRIJSKOJ RADIOGRAFIJI

Dušan Horvat
Inštitut za metalne konstrukcije v Ljubljani

1. UVOD

Prema 20. členu zakona o zaštiti od jonizirujučeg zračenja sve organizacije, koje upotrebljavaju radioaktivne izvore, kojih aktivnost prelazi odredjenu granicu, dužne su da imaju pravila o radu sa takvim izvorima. Cilj ovih pravila je, da obezbede što bolju zaštitu od jonizujućeg zračenja kod rada sa izvorima koje organizacija posjeduje, tako za osoblje koje tim izvorima radi, kao i ostalu okolinu, koja bi mogla doći u dodir sa zračenjem. Pravila treba da uzimaju u obzir specifične uslove, koji potiću od vrste izvora i vrste rada, koji se obavlja a mora da su u saglasnosti sa važečim zakonima u zemlji.

Kako imaju sve organizacije, koje se bave industrijskom gamagrafijom slične uslove rada, svrsishodno je da analiziramo bitne tačke, koje trebaju pravila tih organizacija sadržati.

2. ANALIZA PRAVILA

Pravila pojedinih organizacija biće različita obzirom na:

- vrstu i jačinu izvora, koji se upotrebljavaju
- mesto prozračavanja (laboratorija, radionica, tereni)
- vrstu i količinu opreme za rad sa izvorima
- transportna sretstva za izvore.

Ipak je moguče definisati sadržinu glavnih tačaka pravila.

Za upotrebu rendgenskih aparata zakon ne predpisuje izradu posebnih pravila u organizacijama. Mišljenja smo, da u industrijskoj radiografiji gde večinom organizacije upotrebljavaju i rendgen i gama izvore treba obuhvatiti u pravilima i rendgensko zračenje.

2,1 Izvori jonizujućeg zraćenja,koje posjeduje organizacija

2,11 Vrste izvora i njihove karakteristike

Za gama izvore svrsishodno je davati tabelaričan pregled

Vrsta izvora	Oblik i dimenzija preparata	Energija zračenja u MeV	Vreme poluraspada	Maksimalni aktivitet	Jačina doze na 1m	Broj istih izvora,koji se upotrebljavaju

Za rendgenske aparate navesti

Firma i tip aparata	Maksimalni napon u cjevi kV	Maksimalna cjevna struja mA	Maksimalni intenzitet doze na 1m u primarno snopu	Broj istih aparata

2,12 Oprema za rad sa izvorima

Za gama izvore navesti:

- za kontejnere i eksponažne naprave

Tip i oznaka	Maksimalno dozvoljena aktivnost			Težina	Vrsta zaštite i minimalna debljina materijala	Ugao istupanja primarnih zraka
	Ir 192	Cs 137	Co 60			

- za rentgen aparate navesti karakteristike stativa, blende i signalnih uredjaja.

2,13 Skladišta izvora gama i eksponažne prostorije

Navesti vrstu zaštitnog zida i debljinu, posebno na najslabije dimenzionisanom mestu (vrata, poklopac) način zaključavanja, vrstu signalizacije za vreme eksponiranja.

Prethodne 3 tačke služe informisanju o izvorima i opremi u cilju sagledavanje potencialne opasnosti od izvora a sadrže podatke,na osnovu kojih je moguće organizirati zaštitu kod rada,skladištenja i transporta.

2,14 Pregled izvora, pribora i prostorija

Potrebno je definisati način pregleda (sastav komisije, potrebna merenja i vizualni pregledi), odrediti termine (svake 1/2 godine). Predvidjeti javljanje i dokumentiranje kvarova na napravama izmedju dva pregleda.

2,15 Dokumentacija nalaženja izvora

2,151 Knjiga evidencije izvora. Organizacija obavezno vodi evidenciju izvora,u koju upisuje podatke o izvoru prilikom nabavke, odnosno po reaktiviranju izvora i to : zaporedni broj izvora u toj organizaciji, oznaka izvora, aktivnost na dan preuzimanja, datum preuzimanja, dimenzije izvora i odakle je nabavljen. Knjigu evidencije vodi odgovorna osoba za zaštitu od zračenja.

2,152 Knjiga izdavanja izvora. Izdavanje izvora može se vršiti ili prema reverzu ili upisivanjem u knjigu izdavanja izvora. U svakom slučaju potrebno je beležiti i broj izvora, eksponažnu napravu odnosno kontejner, vodju ekipe, koja preuzima izvore, članove ekipe, tačno vreme preuzimanja i vračanje izvora, mesto prozračavanja i način transporta. Primanje i vračanje potvrdjuje sa potpisom vodja ekipe i osoba, koja je zadužena za skladištenje izvora.

2,153 Dijagrami aktivnosti izvora. Svrsishodno je, da organizacija izradi svake godine datumski dijagram aktivnosti izvora u kojem je za svaki izvor unjeta krivulja aktivnosti.

2,154 Tabela nalaženja izvora. U slučaju kad ima organizacija veči broj izvora, svrsishodno je izraditi tabelu nalaženja izvora sa raspredelnicom za pojedina mesta nalaženja kao: skladište, eksponažni prostor, teren i dr. Svaki izvor, držač izvora, eksponažna naprava, kontejner kao i članovi ekipa imaju svoje kartone.

U slučaju mjenjanja izvora iz jednog u drugi držač,napravu , kontejner odnosno prenosa iz skladišta na teren i obrnuto, potrebno je samo premeštati odgovarajuče kartone da dobijemo preglednu sliku o nalaženju izvora.

2,2 Izlaganje jonizirajučem zračenju

Sa ciljem, da bude zaštita od zračenja što efikasnija svrsishodno je u pravilima kratko analizirati mogučnosti ozračavanja osoblja i davati upute za sprečavanje dobivanja većih doza.

2,21 Izvori gama

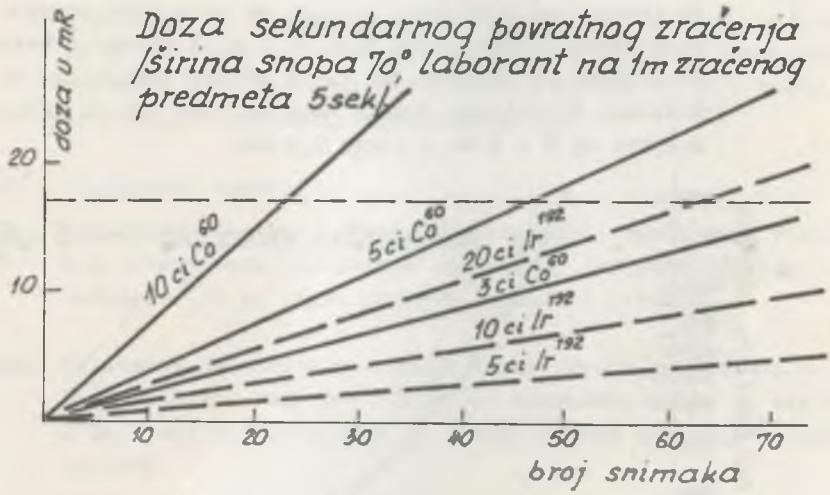
2,211 Izlaganje direktnom snopu primarnih zraka treba načelno izbegavati. Dozvoljava se izuzetno za kratko vreme i u ograničenom broju slučajeva ako to postupak posla nužno zahtjeva.

Za sve operacije kod kojih se izlaže radnik primarnim zracima potrebno je posebno odobrenje lica, koje je u organizaciji zaduženo za zaštitu od zračenja a računom se unapred kontroliše doza. Uvjek je potrebno poduzeti takve mjere da ta doza ne prelazi zakonom dozvoljenu granicu.

2,212 Izlaganje sekundarnim zracima dozvoljeno je samo kod pregleda sa eksponažnim napravama, koje nemaju daljinskog upravljanja. Otvaranje i zatvaranje naprave treba izvesti brzo, a zadržavanje u području sekundarnih zraka nije dozvoljeno.

U slici br.1 prikazana je zavisnost doze sekundarnih zraka, koju primi laborant dnevno pod uslovom da se nalazi prilikom otvaranja i zatvaranja eksponažne naprave 5 sek. izza eksponažne naprave na 1m od zračenog predmeta,na kojeg je uperen snop primarnih zraka sa uglom 70° u izvoru. Ako pretpostavimo dnevno do 30 snimaka, onda bi trebalo ograničiti aktivitet izvora kod Ir 192 na 20 Ci a Co 60 na

3 Ci za naprave, koje se otvaraju ručno iz blizine. Računajući sa odredjenim faktorom sigurnosti i dozama iz drugih razloga bilo bi možda potrebno granicu staviti još niže.

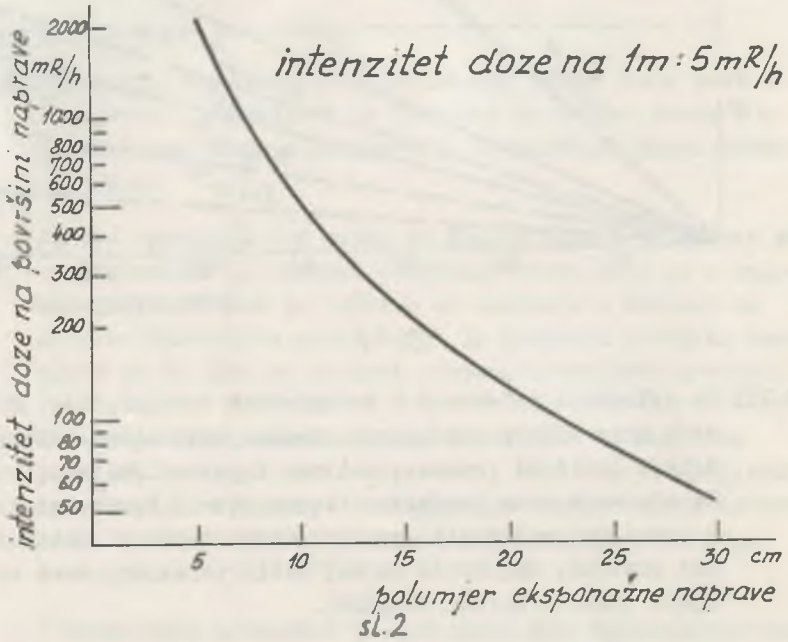


Sl. 1

2,213 Do izlaganja primarnim i sekundarnim zracima, koji dospevaju kroz zidove kontejnera odnosno eksponažne naprave dolazi prilikom prenosa, prevoza i postavljanja za snimak. Sa odgovarajučom razdaljom (izvor nose 2 čoveka na gredi u dovoljnoj razdalji), postavljanjem dodatnih zaslona kod prevoza, moguče je na taj način primljenu dozu za cjelo tjelo prilično smanjiti.

Jer propis ne ograničava intenzitet doze na samoj površini eksponažne naprave i kontejnera, već predpisuje kao granični intenzitet 5 mR/sat na 1m od naprave, postoji velika opasnost da se prekorači dozvoljena doza za ruke prilikom manipulirahjem sa napravom. Kod naprava sa radiusom R = 18 cm dobivamo na površini baš 15 puta veću dozu nego

na 0,5 m rastojanja od naprave.U tom slučaju nečemo preći dozvoljenu lokalnu dozu, ako ne predjemo i dozvoljenu dozu za cjelo tjelo. Kako imaju naše eksponažne naprave obično R 18 cm treba zabraniti dodirivanje površine naprave za duže vremena. U slici br. 2 prikazan je intenzitet doze koje primimo na ruke dodirivanjem eksponažne naprave koja daje na 1 m 5 mR/sat u zavisnosti od promera te naprave. Iz slike možemo zaključiti da dobivamo dozvoljenu dnevnu dozu za ruke 250 mR dodirivanjem naprave sa R = 5 cm u svega 7,5 min.



sl.2

2,214 Mogučnosti kontaminacije

I ako imamo posla sa zatvorenim izvorima gama i je zbog toga mogučnost kontaminacije osoblja i radne okoline minimalna ipak treba o toj mogučnosti voditi računa.

Izvor kontaminacije može da postaje po jednoj strani oštečena i netjesna kapsula sa Cs^{137} ili oksidirani Co^{60} po drugoj strani može doći sa reaktiviranim izvorima nekoliko radioaktivnih čestica,koje mogu kontaminirati držače i naprave, na mjestima gde te dodju u dodir sa izvorom. Zbog toga je i zabranjeno hvatanje punih i praznih držača sa golom rukom i doticanje unutrašnjih djelova eksponažnih naprava. U slučaju potrebe popravka takvih djelova treba predvidjeti prethodnu dekontaminaciju.

2,22 Rendgenski aparati

2,221 Izlaganje primarnim zracima od rendgena treba zbog visokog intenziteta bezuslovno zabraniti; u industrijskoj radiografiji za takvo izlaganje nema ni potrebe.

2,222 Izlaganje sekundarnim zracima treba svesti na minimum i kod terenskog rada postavljanjem komandnog stola za zaslon i na dovoljno rastojanje od izvora pomoču dugačkih spojnih kablova.

2,3 Sretstva za merenje doze i intenziteta doze

2,31 Filmski dozimetri su zakonom obavezni pa ih je treba i pravilima predvidjeti za obavezno nošenje. Treba definirati način menjanja filmova i registriranje doze (obavezno svakog mjeseca).

2,32 Džepni dozimetri zakonom nisu obavezni ipak je svrsishodno predvidjeti obavezno nošenje jer omogučavaju kontinuiranu kontrolu, koja je naročito u gamagrafiji i te kako potrebna. Kontfola doze nedeljno.

2,33 Monitori,koji služe za merenje intenziteta doze isto su u gamagrafiji nužno potrebni za obeležavanje opasne cone, proveravanja o mestu nalaženja izvora itd. Zbog toga treba pravilima predvidjeti da svaka ekipa prilikom upotrebe izvora obavezno nosi sa sobom i monitor.

2,4 Stručnost osoblja i zdravstvena kontrola

Predvidjeti način imenovanja lica,koje je odgovorno u organizaciji za zaštitu od zračenja i njegove kompetence i dužnosti.Definirati stručnu spremu osoblja,koje radi sa izvorima i ograničiti radove,koje može obavljati pomočno osoblje bez posebne stručne spreme.Definisati postupak u slučaju prekoračenja dozvoljene doze.Predvidjeti termine za obavezne lekarske preglede.Definisati slučajeve zabrane daljneg rada sa izvorima zračenja.

2,5 Upute za rad sa izvorima

Pored opštih načela za bezbedan rad sa izvorima,posebno opisati postupak prozračavanja u laboratoriji i postupak prozračavanja na terenu.

2,6 Transport radiografskih izvora gama

Uskladiti transportovanje izvora gama sopstvenim transportnim sredstvima prema važečim propisima.Navesti zahtjeve propisa kod transporta javnim sretstvima.

3. ZAKLJUČAK

Ova kratka analiza specifičnosti internih pravilnika za rad sa jonizujučim zračenjima u organizacijama koje se bave industrijskom radiografijom mišljena je kao osnov za širu diskusiju,u kojoj bi trebalo detaljnije obraditi neke probleme,koji su ovdje samo nabačeni.Industrijska radiografija, a naročito gamagrafija, je jako široko područje primene izvora relativno visokih aktiviteta sa ponekad dosta neugodnim okolnostima u pogledu zaštite.Naročito terenski uslovi rada sa prilično primitivnim spravama,koje se danas kod nas upotrebljavaju, prouzrokuju u mnogim slučajevima visoke primljene doze i ponekad jaka prekoračenja dupustnih doza.Samim postavljanjem pravila i ograničenja naravno nečemo rješiti problem,ali nam može detaljnija analiza poslužiti kao putokaz za izboljšanje postupaka i opreme.

Nr /5/ 03

URANSKI DEFEKTOSKOP-ZNAČAJNA PREMOĆ U ZAŠTITI PRI INDUSTRIJSKOJ GAMAGRAFIJI

ĐIVANOVIĆ ANTE,dipl.ing.met.

Mašinska Industrija Niš
Šumadijska 1,Niš

1.Uvod

Gama zračenje,primenjeno u indnstrijskoj gamagrafiji, je opasno i štetno po zdravlje,te ga nastojimo maksimalno moguće zaustavititPoznato je da izvore takvih zračenja stavljamo u uređaje,čija je zaštitna obloga napravljena iz visoko apsorpcionih materijala(olovo,bizmut,uran,itd.).Međutim,izbor zaštitne obloge bio je skopčan sa rešavanjem niza problema,kao naprimer:dobijanje i prerada izabranog metala ili legure,oblik i dimenzije suda,funkcionalnost uređaja,ekonomske i finansijske moći proizvođača,kupca,itd.Kod nas korišćeni uređaji imali su uglavnom olovnu zaštitnu oblogu.Ali svakodnevno povećanje obima izvedenih gamagrafija, prinudio je izvođače ili,da se izlože većem zračenju ili da rade ispod granice ekonomičnosti.Srećan izlaz je pronađen u upotrebi uređaja sa efikasnijom zaštitom-uranskom oblogom.

Ovaj rad ukazuje na početak primene uranskih defektoskopa u našoj zemlji.Njihova premoć u zaštiti,u poređenju sa olovnim defektoskopima,nadam se,biće shvaćena u cilju nastojanja stvaranja neophodnih uslova za ubrzanu izradu uranskih defektoskopa i u našoj zemlji.

Rad je urađen u Mašinskoj Industriji Niš.Merenja su izvedena sa uranskim defektoskopom Gammamat T 40 (proizvodnja Isotopen Technik Dr.Sauerwein,W.Germany) i olovnim defektoskopom

JUDE-1 (proizvodnja Energoinvest) uz napomenu da uranski uređaj nosi izmenjen držač izotopa,sa olovnom zaštitom.

2.Karakteristike uređaja

Osnovni podaci o uređajima mogu se videti iz Tabele 1.

TABELA 1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE URANSKOG I OLOVNOG DEFEKTOSKOPA (okvirni podaci)

TIP UREĐAJA	VRSTA IZOTOPA	AKTIVNOST (Ci)	ZAŠTITNI MATERIJAL		TEŽINA (kg)	BROJ RADNIH POLOŽAJA
			VRSTA	DEBLJINA		
1	Ir-192	~45	URAN	~45mm	11	7
2	Ir-192	~10	OLOVO	~50mm	26	2

Iz njih je gotovo jednostavno uočiti premoć uranskog defektoskopa. Lak je-pogodan za prenos i rukovanje.Prima znatno veću aktivnost izvora zračenja što se odražava na veći obim izvršenih poslova.Ura Uran je bolji zaštitni materijal.Veći broj radnih položaja omogućuje izbor odgovarajućeg snopa zračenja,smanjuje vreme zadržavanja pri radu,radni položaji se postižu sa daljine,a sve to doprinosi većoj zaštiti.

3.Uporedne vrednosti za slepo zračenje uređaja

Tabela 2 sadrži podatke o slepom začenju merenom na istim uređajima.U tabeli 3 nalazimo odnose primazanih doza iz Tabele 2.Tabela 4 ukazuje na maksimalne vrednosti slepog zračenja.

Evidentiranje slepog zračenja nastalo je zbog uticaja koje ono ima pri često dugom nošenju i rukovanju radnika sa defektoskopom;najzad što male dimenzije i težine prosto navode radnika da ih nosi uza se i onda kad može izabrati pogodniji način prenosa. Zamislimo da putevi transporta nisu uvek kratki (nekad i po nekoliko km.),a ni prosti (visinske razlike pozicija za ispitivanje,sme-

TABELA 2. REZULTATI MERENJA SLEPOG ZRAČENJA UREĐAJA I OLOVNOG REFLEKTOROKA

Tip uređaja	Aktivitet (Ci)	Merne tačke	Izmerene doze (mr/h)	Doze normirane na 1 Curie (mr/h)
1	11,4	1	8	0.70
		2	8	0.70
		3	14	1.23
		4	14	1.23
		5	20	1.75
2	2,8	1	20	7.15
		2	5	1.78
		3	5	1.78
		4	5	1.78
		5	2	0.72

Opis mernih tačaka: 1 – ispred otvora uređaja, 2 – iznad otvora, 3 – desno, 4 – levo, 5 – pozadi otvora.
Merne tačke važe pri pogledu s prednje strane uređaja. One nisu fiksne i važe samo za izvršeno merenje.

TABELA 3. UPOREDNE VREDNOSTI SLEPOG ZRAČENJA UREĐAJA 1 i 2 SA Ir-192

Vrsta uređaja	Odnos aktiviteta	Merne tačke	Izmerene doze stoje u odnosu
1:2	11,4:2,8	1	1 : 100
		2	1 : 2,5
		3	1 : 1,5
		4	1 : 1,5
		5	1 : 0,41

Korekcije mernih vrednosti su moguće zbog promene položaja mernih tačaka.

TABELA 4. MAKSIMALNE I UPOREDNE VREDNOSTI SLEPOG ZRAČENJA ZA UREĐAJE 1 i 2 SA Ir-192

Tip uređaja	Aktivitet (Ci)	Izmerena doza (mr/h)	Doza po 1 Curie $\frac{mr/h}{Ci}$	Doze stoje u odnosu
1	18,4	35	1,9	1
2	4,2	35	8,34	~ 4,4

Merenja su izvršena pištolj dozimetrom firme Nuclear Chicag Comp. (1000). Rezultati su prosečne vrednosti više merenja.

tajući objekti,tesni prolazi i sl.).Ne treba zanemariti ni uticaj fizičke i psihičke spremnosti za obavljanje takvog posla.

Tako je dosta često površina uređaja u direktnom kontaktu sa radnikovim telom:u transportu,pri promeni radnih pozicija, pri postavljanju u odgovarajući položaj,itd.Samim tim vreme bavljenja kod samog uređaja postaje duže,a svakako ga treba sagledati u dužem vremenskom periodu (višegodišnji rad sa izvorima zračenja).Tada,oko 4 i po puta veća doza zračenja,kojoj se izlaže radnik u radu sa znatno težim olovnim defektoskopom,uz mešovito zračenje kome je izložen na radnom mestu,treba da znači signal i zahtev za pristup preciznijem određivanju puteva i načina transporta.Prelaskom na upotrebu uranskog defektoskopa rad postaje jednostavniji,a kao što se vidi zaštita veća.

4.Mešovita zračenja pri gamagrafiji jednog objekta

Merenja mešovitog zračenja (slepo + sekundarna zračenja) izvedena su pri gamagrafiji jednog objekta (varovi na konstrukciji lokomotivskog postolja).Izbor ovoga je izvršen zbog nepogodnih uslova pod kojima je trebalo obavljati gamagrafiju.Uz to industrijska gamagrafija kod nas još uvek se izvodi sa puno problematičnih radnih položaja.Neki su već pomenuti,a ovde su konkretno vezani za nepogodnu reljefnost terena,mali manevarski prostor za rukovaoca uređajem,itd.Tako je izloženost radnika mešovitom zračenju znatna,a rizik ozračenja u primarnom snopu veliki.

Te činjenice,sa ostalim,uticale su da na pomenutom objektu zamenimo olovni defektoskop i pređemo na rad sa uranskim.Tad smo mogli napraviti poređenja u efikasnosti zaštite oba tipa,na bazi merenja mešovitih zračenja.

Tabela 5 sadrži vrednosti mešovitih zračenja i uporedne vrednosti izmerenih doza pri radnom položaju oba uređaja.Uporedne vrednosti iz pete kolone iste tabele jasno govore o znatno slabijem zračenju koje potiče od uranskog uređaja.

TABELA 5. UPOREDNE VREDNOSTI MEŠOVITOG ZRAČENJA PRI JEDNOJ GAMAGRAFIJI SA IR-192 I UREĐAJIMA TIPA 1 I 2.

TIP UREĐAJA	AKTIVITET (Ci)	IZMERENA DOZA (mr/h)	DOZA PO 1 Curie ($\frac{mr/h}{Ci}$)	DOZE STO JE U ODNOSU	PROVEDENO VREME PRI GAMAGRAFIJI ZA 1 RADNIKA
1 (URIM)	8,1	5	0,06	1.	1 sec.
2 (CELIO)	2	300	150	2500	10 sec.
NAPOMENA: PRI MERENJU DOZIMETAR JE IZA UREĐAJA NA 0,5 m. DALJINE.					

Pogledajmo sad te prosečne vrednosti zračenja iz drugog ugla. Za dati objekat potrebno je izvesti 30 gamagrafija. Koristeći zadnju kolonu Tabele 5, nalazimo da za obavljanje tog posla, vremena izlaganja zračenju iznose: -za uređaj 1.....30 sec.

-za uređaj 2.....300 sec.

Kombinujući ova vremena sa izmerenim dozama i uz pretpostavku da prosečno korišćeni aktiviteti iznose: -za uređaj 1.....12 Ci

-za uređaj 2..... 6 Ci

dobićemo količinu zračenja koju prima radnik pri gamagrafiji celog objekta. Kako u proseku 4 objekta treba mesečno uraditi, odnosno 48 godišnje, onda je lako dobiti ozračenja radnika u tim periodima. Podaci su sređeni u Tabeli 6.

TABELA 6. MESEČNO I GODIŠNJE OZRAČENJE RADNIKA.

TIP UREĐAJA	PROSEČNI GODIŠNJI AKTIVITET (Ci)	PRIMLJENA DOZA PRI RADU NA 1 OBJEKTU (mrem)	INTENZITET OZRAČENJA (mr)	MESEČNO OZRAČENJE (mR)	GODIŠNJE OZRAČENJE (mR)
1	12	0,06 x 12 = 0,72	0,04	0,16	1,92
2	6	150 x 6 = 900	54	216	2592

Iz tabele vidimo da godišnje ozračenje radnika,ako radi samo na toj vrsti objekata i sa uranskim defektoskopom,ima minimalnu vrednost.To pokazuje još jednu premoć ovog uređaja u odnosu na olovni u pogledu zaštite.

5.Zaključci

Premoćna zaštita koju pruža uranski defektoskop oslobađa rukovaoca fizičkih i psihičkih neugodnosti,te se ovaj sa maksimalnom pažnjom može posvetiti svom poslu.Radnik slobodno može biti određen za rad na gamagrafiji više objekata,jer dozvoljene doze teško da mogu biti stvarno dostignute.

Rezimirajući dosadašnje izlaganje da vidimo kako su rešeni osnovni problemi izvođenja zaštite kod uranskog uređaja:

a-rastojanje:postoje daljinske komande po želji

b-zaklanjanje izvora:uranska zaštita i blende za usmeravanje zraka

c-skraćenje vremena trajanja izlaganja radijacijama:brže je rukovanje,jer je lak;radni položaj se postiže u delovima sec.itd.

Iskustvo je pokazalo da povećanje zaštite dovodi i do povećanja ekonomike rada.

Nr. / 5 / 04

ZAŠTITNE MERE PRI IZRADI RADIOAKTIVNE OPEKE I PRI IZGRADI RADIOAKTIVNIH KAZANA

J. Hodnik

ZAŠTITNE MERE PRI IZRADI RADIOAKTIVNE OPEKE I PRI IZGRADNJI RADIOAKTIVNIH KAZANA

Janez Hodnik, Metalurški institut v Ljubljani Nr / 5 / 04

Cilj zadatka je, da se radiometrički ustanovi koliko egzogenih nemetalnih uključaka dolazi iz keramike u čelik. Treba izabrati radioaktivni elemenat, koji ne podleže mogućnosti redukcije iz keramike u čelik, koji ima relativno kratko vreme polurazpada, da energija zračenja nije prejaka i da nije suviše toksičan u slučaju ako dolazi kao prašina u radnika.

Radioaktivni zirkonijum ^{95}Zr, kao oksalat odgovara navedenim uslovima. Da se postigne mogućnost relativno efikasnog merenja kontaminiranog čelik na količinu egzogenih nemetalnih uključaka, računski je utvrđeno, da treba u opeku ugraditi 67 mC radioaktivnog zirkonijuma. Odlučeno je, da se kontaminira odn. obeleži cca 1 m^2 od ukupno 16,4 m^2 površine kazana.

Da se izbegne bilo kakva tehnološka promena u kvalitetu izradjene opeke, sve su opeke bile izradjene u postrojenju šamotare od iste surovine kao neaktivna opeka. Prethodno je ispitan način, kako se aktivira sloj debljine 0,8 - 1 cm od ukupne debljine opeke, koja iznosi 9 cm.

RAZDALJENJE IZOTOPA

Izotop je bilo dostavljen kao oksalatni rastvor od 7 ml u ampuli. Iza olovnog zida i prozora od pleksi stakla ampula je bila kleštima izvadjena iz kontejnerja i smrvljena u odmerenoj količini oksalatnog rastvora u plastičnom bokalu ili vedru.

Lična zaštita: gumene rukavice i polivinilna kecelja. Film-dozimetar na ruci, grudima i čelu.

PRIPREMA KERAMIČNE MASE

U posebnoj prostoriji u čeličnoj mešalici meša se keramična surovina i dosipava se u porcijama razblaženi izotopni rastvor u roku 30-60 sek. Zatim se produži mešanje još 20 minuta u pokrivenoj mešalici. Pripremljena masa se vadi

kroz otvor na dnu mešalice i konačno još ručno.

Masa se stavi u odvojeni prostor za 24 časa i odredi dozvoljena granica približavanja i obeleži se propisanim znakom. Medjutim, mešalica i radna prostorija se dekontaminiraju. U mešalicu se dva put uzastopce sipa neaktivna masa i meša u poluplastičnom stanju po 10 minuta. Kontaminirana masa se odnese na odlagalište i zakopa zemljom. Mešalica se pere još vodom, koja se pušta u kanal. Istotako operu se i tla radne prostorije.

PRESOVANJE OPEKE

Iako se inače opeka presuje poluautomatsko, za naše opite se masa, aktivna i neaktivna, stavlja ručno u kalup sa presr dom, i tek onda se presuje. I-
Sl.1 radjeno je bilo 34 opeka formata 1 P 18 (slika 1).

Radnice su nosile rukavice, plastičnu kecelju i gumene čizme. Na ruci i grudima su imale film-dozimetre.

Posle izvršenog rada pod nadzorom su dekontaminirane presa i radna prostorija i konačno izvršena je i lična dekontaminacija.

Posle vazdušnog sušenja od 7 dana na odredjenom i obeleženom prostoru opeke su bile stavljene u peć na odredjeno mesto. Ispečene opeke pakovane su u poseban sanduk, ko i je obeležen propisanim znakom i koji je transportovan na mesto potrošnje.

ZIDANJE KAZANA

U kazan dolazi 9 redova opeke. U svaki red ugrade se po 4 opeke i to po 2 diametralno suprotno. Zidar i pomočnik nose rukavice i kecelju te film-dozimeter na ruci i grudima.

Ugradjene aktivne opeke pokrivaju se čeličnim pločama, da se smanji doza zračenja.

Posle obavljenog rada radnici se dekontaminiraju a kazan se obeleži vidno propisanim znakom za radiaciju.

LIVENJE ČELIKA

U brižljivo ugrijan kazan natoči se 40 t čelika, koji se lije u ingote na 5 livnih ploča. Po jedan ingot iz prve, treće i pete livne ploče uzima se za uzorkovanje. Posle livenja uzme se i uzorak troske. Uzorkuju se samo tri šarže i to prva, treća i peta šarža. Čelik je aktivan ispod dozvoljene granice.

Troska se u vagonetu sakupi i odveze na odlagalište, gdje se prekrije neaktivnim materijalom.

Posle 10 šarži opeka više nije aktivna.

PRIMLJENE DOZE

Primljene doze svih učesnika bile su ispod dozvoljene granice. Najveću dozu primili su rukovodioc, radnice na presi i zidar.

Služba za radiološku zaštitu vršila je kontrolu zračenja, zaštite i dekontaminacije u svim fazama rada, na čemu joj se u ime Instituta ponovno zahvaljujemo.

Predloženo: 25.8.1970

Janez Hodnik, dipl.ing.kem.

Metalurški institut
Ljubljana, Lepi pot 11

Nr. / 5 / 06

O NEKIM ISKUSTVIMA PRI KONTROLI IZVORA ZRAČENJA U INDUSTRIJI

Gabriel Fabjančič

Zavod za varstvo pri delu - Ljubljana

U želji, da procenimo opasnost od zračenja u pojedinim granama industriske aplikacije radioaktivnih izvora osvrnimo se na pregled doza, koje su primili radnici, izloženi jonizujućim zračenjima u godini 1969 /SR Slovenija/. U tabeli vidimo evidenciju broja kontroliranih osoba u absolutnom broju i u procentima po rangiranim primljenim dozama i po vrsti zaposlenja.
Radnici u industriji rade na sledećim područjima:

- industriska rentgenografija i gamagrafija,
- rentgenski strukturni aparati i elektronska mikrosonda,
- industriska elektronska mikroskopija i difraktometrija,
- tracerska tehnika.

Iz tabele vidimo da jedna polovina osoba, zaposlenih kod industriskih izvora zračenja prima godišnje dozu do 50 mr. U ovu grupu spadaju radnici, koji rade na rentgenskim strukturnim aparatima i elektronskoj mikrosondi te vodstveni kadrovi.

Razred primljenih doza od 51 do 100 mr godišnje izrazito je ispod prosjeka /6,1 %/.

Razredi od 101 do 500 mr i od 501 do 5000 su baš oni razredi, u kojima su radnici eksponirani još u dozvoljenim granicama. Za ova dva razreda je interesantno, da u ljetnim mesecima radnici često prekoračuju maksimalno dozvoljenu mesečnu dozu, dok su im u zimskim mesecima primljene doze mnogo manje. To je shvatljivo ako pomislimo na terenski rad u letnim mesecima, a to nas upućuje i na to, da moramo posebnu pažnju kod kontrole zračenja posvetiti terenskom radu industriske defektoskopije.

Prekoračenja maksimalno dozvoljenih godišnjih doza na području industriske aplikacije izvora u godini 1969 nije bilo, što moramo zahvaliti upravo minimalnim primljenim dozama u zimskim mesecima.

U industriskoj defektoskopiji problemi zaštite od zračenja u velikoj su meri vezani sa ekonomikom izvodjenja radova. Ekonomika defektoskopije traži, da u što kraćem vremenu snimimo uz što bolju oštrinu što veću ispitivanu površinu. Ovu problematiku možemo reducirati na sledeće glavne tačke:

Aktivnost izvora: Vreme ekspozicije možemo skratiti velikim aktivnostima, koje omogućuju i veće udaljenosti uzorka od izvora, što znači bolju oštrinu snimke i mogućnost ozračivanja velikih površina.

Dimenzije defektoskopa: Defektoskop velikih dimenzija zrači malo "slepog zračenja", ali je za terenski rad nepogodan zbog svoje težine. Prenos teškog defektoskopa na radno mesto povećava trajanje ispitivanja, a time i cenu ispitivanja. Zbog toga se redovito u terenskoj defektoskopiji upotrebljavaju defektoskopi manje težine, koji emitiraju više "slepog zračenja".

Blende na defektoskopu: Na boljim defektoskopima možemo primarni snop zraka prilagoditi ispitivanom delu materiala. Na primer kod radiografije varova korisna je površina samo traka širine nekoliko centimetara uz zavareno mesto. Ako defektoskop ima mogućnost blendanja, ozračuje se manja površina ispitivanog materiala, a manja površina zrači proporcionalno manje sekundarnih zraka.

Nošenje zaštitne kecelje: Općenito se zadržalo mišljenje, da kod rada sa gama zrakama nošenje zaštitne kecelje zbog tvrdoče zraka nema smisla. To mišljenje po jednoj strani proizilazi iz slabog poznavanja karakteristika sekundarnog zračenja, a po drugoj strani i zbog toga jer je radnik, opremljen sa zaštitnim sredstvima na radnom mestu neokretniji, pa se zbog toga smanjuje ekonomika rada.

Kod radiografskih snimanja osoblje je prvenstveno izloženo povratno sipanom zračenju, koje kod Co-60 poseduje srednju

energiju 15o do 2oo keV. Orientaciona merenja dala su rezultat, da olovna guma ekvivalentne debljine 1 mm Pb absorbira otprilike 2/3 sipanog zračenja. Taj rezultat opravdava preporuku, da se osoblje kod radiografskih snimanja na terenu, gde nema pogodnih zaklona - zaštiti barem kratkom keceljom za zaštitu gonada.

Radiografski pribor: Kod premeštanja izotopa iz containera u defektoskop i sličnih manipulacija radnik je ozračen dozom, koja zavisi od vremena ozračivanja, aktivnosti izvora te udaljenosti. Kod rada sa izotopima aktivnosti do 1o Ci zaštita bi trebala da odgovara sledećim zahtevima:

- brzina doze sa strane zatvorenog defektoskopa ili containera ne sme biti veća od 25 mr/h u udaljenosti 1 m.

- manipulator dužine najmanje 1 m,

- jednostavnost manipulatora i spretnost osoblja moraju biti takvi, da trajanje rada sa otvorenim izotopom ne prelazi 1o sekundi. U takvom slučaju primljena doza /od izvora 1o Ci Co-6o/ iznosi otprilike 4o mr.

- prenošenje izotopa vrše dva radnika takvim nosilom, da je udaljenost containera ili defektoskopa najmanje 1 m,

- nošenje zaštitne kecelje ekvivalenta 1 mm Pb ili više kod svih radova, gde postoji mogućnost nastanka mekanog sekundarnog zračenja.

Kod rada sa izotopima, kojih aktivnost prelazi 1o Ci moraju biti izotopi fiksirano ugradjeni u defektoskop. Ukoliko su ovi defektoskopi prenosni moraju imati električno ili pneumatsko otvaranje i zatvaranje blendi.

Kod svih terenskih radova ekipa mora imati monitor zračenja, kojim vodja ekipe procenjuje vreme, dozvoljeno za bivanje u polju zračenja. Pošto su svi monitori kalibrirani na primarno zračenje Co-6o, preporučili bi, da se kod svih izvede dodatna kalibracija na zračenje energije 15o do 2oo keV, što je srednja energija povratno sipanog zračenja.

Broj kontroliranih osoba po godišnje primljenim dozama i vrsti zaposlenja

		GODIŠNJE PRIMLJENE DOZE						
		do 5o	51 -1oo	1o1 -5oo	5o1 -5ooo	5oo1 -1o.ooo	1o.ooo i više	
Ukupno:	963	385	178	253	137	6	4	broj
	1oo	39,8	18,6	26,3	14,2	o,6	o,4	%
Znanstvena	46	2	4	16	23	1	-	broj
delatnost	1oo	4,4	8,7	34,7	5o,o	2,2	-	%
Zdravstvena	835	342	169	214	1o1	5	4	broj
delatnost	1oo	41,o	2o,2	25,6	12,1	o,6	o,5	%
Industrija	82	41	5	23	13	-	-	broj
	1oo	5o,o	6,1	28,o	15,9	-	-	%

DISPANZER ZA MEDICINU
RADA JAT-a
Aerodrom, Beograd

Nr /5/07

RADIOAKTIVNE BOJE, STETNOSTI I ZAŠTITA

Dr. Miodrag Mijatović, Dr. Jelena Paunović-Pfaf

1. UVOD

Radioaktivna zračenja svetlećih boja potiču od radijuma, mezotorijuma, polonijuma itd.,a oštećenja nastaju kod vadjenja rude, proizvodnje i presipanja preparata, primene ~~i~~ medicinske, tehničke svrhe / ispitivanje preparata, primena svetlećih boja/.

Mogućnosti delovanja ovih materija su istovremeno i putevi susreta sa organizmom:

a/ unošenje per os -prljavim prstima ili alatom koji se dohvata ustima.

b/ unošenje per inhalacionem- udisanje radioaktivne prašine, emanacija / radon, toron/.

c/ alfa, beta i gama zraci koji dolaze od radioaktivnog materijala

d/ per cutis- direktan kontakt sa kožom.

Deo količine unete radioaktivnosti / 90%/ se deponije u kostima a ostatak u drugim organima. Ali se istovremeno jedna količina i eliminiše i to 90% putem fecesa i oko 10% putem urina. Eliminisanje zavisi i od načina unošenja. tako se pri peroralnom unošenju 99% eliminiše, a pri inhalacionom unošenju 95%. Poznato je da je eliminacija najživlja odmah posle unošenja.

Važno je napomenuti da jedan mikrogram Ra može izazvati opasna oštećenja, ako je deponovan, a Kolsch navodi da je kod nekih letalnih slučajeva nadjeno o,5-2m

./.

4. REZULTATI SISTEMATSKIH PREGLEDA

Prvi put su obavljeni sistematski pregledi ove grupe radnika 1965 godine, i od tada se redovno svake godine obavljaju.

Pregledi obuhvataju pored kliničkog pregleda i anamnestičkih podataka i hematološke preglede i radiotoksikološku kontrolu a izvršeno je i merenje celokupne radioaktivnosti tela.

Sve pregledane radnike smo podelili u dve grupe i to:

1. grupu čini 8 radnika koji su jednom ili više puta do sada imali ozračen film
2. grupu čine ostali radnici koji ni jednom nisu imali ozračen film u ovom periodu.

4.1. Subjektivne smetnje

Do podataka o subjektivnim smetnjama došli smo iz anamnestičkih podataka i sve smo ih prikazali u sledećoj tabeli:

Smetnje	godine 1966		1967		1968		1969	
Glavobolja	-	3	1	1	1	3	2	1
Bol u stomaku	2	1	2	1	-	2	2	-
Srčane tegobe	-	-	1	-	-	-	-	-
Zamor	4	2	-	1	3	2	-	1
Bez tegoba	2	4	4	7	4	5	4	8

Može da se konststuje da je procentualno došlo do smanjenja subjektivnih tegoba posebno zamora sa 33% u 1965 godini na 5,6% u 1969 godini, zatim da je broj radnika bez tegoba prve godine bio 33% a 1969 god. 66%. Radnici 1 grupe procentualno su se više žalili na bol u stomaku, srčane smetnje i zamor, a u grupi 2 bilo je više radnika bez tegoba.

./.

4.2. Morbiditet

Zabeleženi morbiditet se najjasnije može videti iz sledeće tabele:

Obolenje	godine 1966 1g.	1966 2g.	1967 1g.	1967 2g.	1968 1g.	1968 2g.	1969 1g.	1969 2g.
Respiratornog sist	2	4	1o	9	13	14	9	19
Digestivnog sist.	-	-	2	-	-	2	-	-
Neurogena	9	3	-	3	2	5	2	8
Ostala	-	-	8	1o	8	1o	7	1o

Najviše je zabeleženo oblenja respiratornih organa /najčešće se radi o faringitisu / , zatim neurovegetativna obolenja, a od ostalih najviše ima blefarokonjuktivitisa. Posebno se ističe da se broj svih obolenja povećao od prvog pregleda do poslednjeg. Značajno je i to da se nije uočila značajna razlika u morbiditetu prve i druge grupe radnika.

Ističemo da su pri prvom pregldu zabeležene i promene na kostima kod trojice pregledanih radnika.

4.3. Laboratorijski nalazi

U sledećoj tabeli su izneti hematološki nalazi

Nalaz	godine 1966 1g.	1966 2g.	1967 1g.	1967 2g.	1968 1g.	1968 2g.	1969 1g.	1969 2g.
Ubrzana SE	-	-	-	1	2	1	-	-
Eozinofilija	-	-	1	1	-	1	1	-
Neutropenia	-	-	1	1	-	-	-	1
Dvojedarni limfociti	4	7	-	-	1	-	2	1
Normalan nalaz	4	3	6	7	5	8	5	8

./.

Ovi nalazi pokazuju da su procentualno radnici prve grupe imali u većem broju izmenjenu SE i eozinofiliju, a druga grupa neutropeniju. Posebno ističemo da su pri prvom pregledu [redacted] nadjeni dvojedarni limfociti kod 11 radnika a 1969 godine samo kod 3 radnika. Od značaja je i to da je 1966 god. uredan nalaz imalo 7 radnika a 1969 godine 13 radnika.

Radiotoksikološke analize su pokazale da je pri prvom pregledu bilo skoro dva puta više pozitivnog nalaza nego od druge grupe, ali je ukupan procenat pozitivnog nalaza opao na 50% u 1969 godini.

Interesantno je izneti da su nešto veće vrednosti Ra 228 nadjene kod 3 radnika 1968 i 1969 godine i to jednom u urinu a drugi put u fecesu. U oba slučaja nije bilo odredjenog odnosa u eliminaciji / U:F-odnos eliminacije ra 228 u urinu i fecesu/ pa je malo verovatno da je pojava Ra 228 u jednom ekskretu posledica unutrašnje kontaminacije.

5. PREDUZETE ZAŠTITNE MERE

Odmah posle prvog merenja kontaminacije i jačine radioaktivnosti kao i obavljenih sistematskih pregleda radnika preduzete su sledeće mere u cilju sanacije uslova rada:

1. Zamenjena je svetleća boja " Radijum lojht masen" sa radioaktivnom supstancom Ra 228, čiji je vek poluraspadanja 1620 godina, bojom "Filuma-3", čija je radioaktivna supstanca Tr H3, a vek poluraspadanja 12,3 godine. Korišćenjem boje " Filuma-3" izbegava se spoljašnje ozračenje radnika jer je domet beta zračenja Tr praktično zanemarljiv, a smanjuje se i stepen opasnosti usled unutrašnje kontaminacije. Tr. nasuprot Ra pripada slabo toksičnim radioaktivnim izotopima, te i maksimalno dozvoljena koncentarcija u radnoj prostoriji je u odnosu na Ra veća za faktor 10^5

2. Izvršena je rekonstrukcija radnih mesta i u tom cilju izradjen je sanitarni propusnik,garderoba, uvedena topla i hladna voda za pranje ruku / obezbedjena je i limunska kiselina za pranje ruku i zaštitne kreme/,

Uveden je aerkondišen sa 14 izmena vazduha.

3. Izvršena je dekontaminacija

4. Izradjeno je upustvo za rad sa svetlećim bojama.

5. Uvedena je obavezna upotreba ličnih zaštitnih sredstava / rukavice, naočari, mantil, pla tnene cipele/

6. Uvedeno je obavezno nošenje za vreme rada film-dozinmetra.

7. Unete su sprave za redovnu kontrolu radioaktivno sti u prostoriji.

8. Zabranjeno je da se u radionici puši, uzima hra na kao i izlazak iz radionice u radnom odelu.

9. Regulisano je skupljanje otpadaka.

10. Organizovan je kurs" Osnovni pojmovi radioakti vnosti" i to prvo za polsovodje a zatim i za ostale ra dnike.

11. Uvedena je redovna kontrola radnih mesta i radni ka, i u tom smislu sklopljen je ugovor sa Institutom u Vinči.

12. Odobren je plaćen rekreativni odmor za sve radnike ove radionice u trajanju od 14 da na svake godine.

6. ZAKLJUČAK

Kao što se iz prikaza vidi posmatrana grupa od 18 radnika radila je više godina sa svetlećom bojom bez ikakave zaštite i ne poznavajući prirodu materije sa ko jom radi, a zatim su posle izvršenih merenja kontaminac je, radioaktivnosti u prostoriji i sistematskih pregleda radnika preduzete i odgovarajuće mere zaštite.

Kasnije kontrole uslova rada ukazuju da su isti do bri a sistematski pregledi radnika da se zdravstveno stanje ove grupe radnika popravilo da je manji broj ra dnika sa subjektivnim tegobama a da se hematološki i radiotoksikološki nalazi kreću u granicama dozvoljenih. Naravno da će se i u buduće vrširi redovno praćenje kako uslova rada tako i zdravstvenog stanja radnika koji rade u ovoj radionici.

LITERATURA:

1. S. Savić, M. Jeremić : Rezultati sistematskih pregleda organa vida osoba izloženih dejstvu X zračenja / Simpozijum , Baško Polje 1969/

2. A. Cerovac: Kontrola primljenih doza radnika izloženih joni zujućim zračenjima./ Arh. za hig. i toksik 3/1968 /

3. M. Kilibarda i sar. :Jonizujuće zračenje / Medicina rada 1966/.

4. C. Simonin: Médecine du travail, 1956/

5. Koelsch : Allgemeine Physiologie und Hygiene der Arbeit 1954

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU
BEOGRAD

RADOVI

V. jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti

Sekcija f
Sekcija g
Sekcija h
Sekcija i

BLED
od 6. do 9. oktobra 1970

Dr ZDENKO ČANIĆ
ZAVOD ZA ZAŠTITU ZDRAVLJA
GRADA - Z A G R EB

Nr /6/ 01

OCJENJIVANJE RADNE SPOSOBNOSTI KOD OSOBA KOJE SU PROFESIONALNO IZLOŽENE JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU

Ocjenjivanje radne sposobnosti se može vršiti sa dva osnovna aspekta, a to su: ocjena opće radne sposobnosti tj. sposobnosti za rad općenito bez obzira na zvanje, i ocjena profesionalne radne sposobnosti tj. sposobnosti za buduće ili sadašnje zvanje odnosno sposobnosti za neko odredjeno radno mjesto.

Pri ocjenjivanju profesionalne radne sposobnosti liječnik treba da ocijeni ne samo sadašnje zdravstveno stanje pacijenta, već mora poznavati zahtjeve radnog mjesta i uvjete rada, te na osnovu toga utvrditi kompatibilnost zdravstvenog stanja pacijenta i njegovog radnog mjesta. Ujedno mora procijeniti i profesionalni rizik odnosno budući utjecaj profesionalnih štetnosti na zdravlje radnika.

Za odredjivanje zdravstvene sposobnosti kod nekih zvanja postoje i posebni zakonski propisi, kao što je i slučaj za rad na radnim mjestima gdje postoji izloženost jonizirajućem zračenju.

Ocjenjivanje profesionalne radne sposobnosti kod osoba koje su izložene jonizirajućem zračenju dolazi u praksi u obzir u slijedećim slučajevima:

1. Prije uposlenja odnosno prije školovanja.
2. Pri obaveznim periodskim zdravstvenim pregledima eksponiranih osoba.
3. U slučajevima primljene veće doze zračenja od dozvoljene.
4. Pri ocjeni profesionalnog invaliditeta.

U Zavodu za zaštitu zdravlja grada Zagreba /bivšem Higijenskom zavodu/ je od 1946 godine, dakle odmah nakon završetka rata, otpočeo rad na zdravstvenoj zaštiti osoba koje su izložene jonizirajućem zračenju. U periodu od 1946 do 1970 godine izvršeno je preko 26.ooo pregleda zdravstvenih radnika i preko 2.ooo pregleda osoba iz industrije koji su izloženi zračenju.

Da se najprije osvrnem na neke probleme s kojima smo se susretali.

Čitava naša djelatnost se bazirala na odredjenim zakonskim propisima koji su se, kao što je razumljivo, kroz taj dugi period mjenjali. Sadašnji Pravilnik o zdravstvenim pregledima i o zdravstvenim uvjetima osoba koje rade sa izvorima jonizirajućeg zračenja /Sl.list 31/61/ uz Osnovni zakon o zaštiti od jonizirajućih zračenja predstavlja današnju osnovicu medicinskog rada, a napose čl.5 - 8 Pravilnika koji navode kontraindikacije za školovanje odnosno rad u sferi jonizirajućeg zračenja. Treba medjutim odmah naglasiti da je Pravilnik nepotpun, pa se tako jedne stavke mogu široko tumačiti, dok je nasuprot tome, u drugima usko ograničen. Tako npr. se u čl.5 govori dosta neodredjeno o kontraindikacijama pa djelomično citiram:

"sa zatvorenim izvorima jonizirajućih zračenja ne mogu raditi osobe koje boluju od teže funkcionalne neuroze i psihoneuroze, težih oboljenja srca i krvnih žila". Nasuprot tome čl.7 i 8 koji govore o krvnoj slici je decidiran što se tiče broja krvnih elemenata. Ovdje napr. broj bijelih krvnih zrnaca /leukocita/ prije rada treba biti 4500 - 8000, a u toku rada 4000 - 9000.

Član lo istog Pravilnika kod osoba koje već rade u sferi zračenja daje doduše mogućnost, da se uzimaju u obzir godine starosti, opće zdravstveno stanje, primljene doze zračenja i brzina evolucije eventualnih poremećaja kod tih osoba.

Kao znak oštećenja krvotvornih organa zračenjem, i po literaturi i po našem iskustvu, najčešći nam je simptom leukopenija odnosno smanjenje broja bijelih krvnih zrnaca, a napose smanjenje broja granulocita. Medjutim, treba imati u vidu da je etiologija leukopenije raznovrsna, pa tako npr. leukopenija dolazi kod nekih akutnih infekcija, kao posljedica uzimanja raznih lijekova itd.

Kod oštećenja krvotvornih organa prognoza ovisi o težini oštećenja odnosno o primljenoj dozi i, dakako, o sposobnosti oporavka krvotvornog sistema. U slučaju teških i trajnih oštećenja prognoza kako za ozdravljenje tako i za život je nepovoljna.

Akutna lakša oštećenja kože usljed zračenja obično imaju dobru prognozu. Teška kronična oštećenja kože obično progrediraju, a u slučaju nastalog kancinoma kože prognoza

je uglavnom dobra jer vrlo rijetko dolazi do metastaza.

Što se tiče ocjene profesionalne radne sposobnosti, ne smije se dozvoliti rad u sferi zračenja do potpuno oporavka tj.regeneracije oštećenih organa. To vrijeme je kadšto teško unaprijed proreći. Prema našem iskustvu, i vrlo lagana oštećenja krvotvornih organa se rijetko kada popravljaju prije jedan do dva mjeseca, a kod težih oštećenja radna nesposobnost traje šest do dvanaest mjeseci.

Kod oštećenja kože radna nesposobnost je u lakšim slučajevima trajala jedan do dva mjeseca, a u težim tri do šest mjeseci.

Prema naprijed navedenim grupama pregleda naša iskustva su slijedeća:

1. Pregled prije uposlenja odnosno školovanja

Prema analizi naših podataka u periodu od 1946 - 1969. godine tj. kroz 24 godine, od 1895 osobe koje smo imali pod kontrolom svega 173 osobe tj. cca 9% je pristupilo pregledima prije izloženosti zračenju. Medjutim, ako posmatramo samo period od 1960 - 1969 godine tada taj postotak iznosi cca 20%. U velikom broju slučajeva smo imali da nam zdravstvene ustanove tek na redovni periodički pregled upućuju i novozaposlene osobe koje su dakako već tri, četiri ili više mjeseci izložene zračenju. Zatim, zapošljavaju se osobe koje su već bile izložene zračenju u nekom drugom gradu, ali bez ikakvih podataka o zdravstvenom stanju i primljenim dozama.

Ovakva situacija mnogo otežava kasniju procjenu zdravstvenog stanja u slučajevima gdje postoji sumnja na profesionalno oštećenje.

Tabela I prikazuje naše rezultate u ocjenjivanju profesionalne radne sposobnosti prije uposlenja odnosno školovanja. Kao što je vidljivo bili smo vrlo strogi jer imamo cca 28% nesposobnih.

2. Obavezni periodski pregledi

Kada bi se gledalo na sveukupni broj izvršenih periodskih pregleda, izgledalo bi da je sve u najboljem redu. No nažalost, pojedine ustanove a još više pojedinci - u čemu prednjače liječnici, - ne odazivaju se redovito na te obavezne preglede. Do 1966.godine naš Zavod je bio jedina ovlaštena ustanova za vršenje takovih pregleda, no otkada su i neke druge ustanove dobile ovlaštenje, to je dovelo do izvjesne poremetnje u evidenciji broja eksponiranih osoba i broja pregledanih osoba.

3. Slučajevi primljene veće doze zračenja od dozvoljene

Kod prekoračenja dopuštenih doza, čl.9 Pravilnika odredjuje da se takva osoba odstrani iz sfere zračenja kroz vrijeme koje odredi liječnik odredjene zdravstvene ustanove odnosno da se ponovi ocjena profesionalne radne sposobnosti dotične osobe. U praksi smo imali niz slučajeva da je prekoračenje MDD u stvari bila posljedica slučajnog ili možda čak namjernog ozračivanja samoga filma, a nasuprot tome u našoj dugogodišnjoj praksi imali smo primjere

izraženih oštećenja jonizirajućim zračenjem, a evidentirane primljene doze su bile u dozvoljenim granicama.

Tabela II prikazuje nam broj pregledanih osoba izloženih zračenju, broj osoba sa prekoračenom MDD, te utvrdjenih oštećenja usljed jonizirajućeg zračenja u protekle dvije godine.

Tabela III prikazuje utvrdjena profesionalna oštećenja uslijed jonizirajućeg zračenja u periodu od 1946 - 1969 godine.

4. Ocjena profesionalnog invaliditeta

Pod invaliditetom razumijevamo gubitak ili smanjenje radne sposobnosti koja nastaje kao posljedica bolesti ili nesreće. Prema Listi profesionalnih bolesti iz čl.46 Zakona o invalidskom osiguranju priznaje se kao nesreća na radu oštećenje kože, krvi, te maligne neoplazme kože i pluća nastale usljed jonizirajućeg zračenja.

U tom radu smo u nizu slučajeva davali mišljenje na traženje invalidskih komisija.

Zaključak

Iako broj profesionalnih oštećenja uzrokovanih jonizirajućim zračenjem posljednjih godina opada u odnosu na broj eksponiranih osoba, to ipak neznači da mjere zdravstvene zaštite treba zanemarivati. Naprotiv, pri sve većoj upotrebi izvora jonizirajućeg zračenja u medicini i industriji, sve veći broj ljudi je izložen, te postoji i veća mogućnost oštećenja i logično je da zdravstvene mjere

zaštite treba unaprijedjivati. Dovoljno je da spomenem samo pitanje jedinstvene medicinske dokumentacije, jedinstvene metodike pregleda eksponiranih osoba, jedinstvenog kriterija ocjenjivanja profesionalne radne sposobnosti, probleme evidencije itd,što je sve uz niz drugih problema još uvijek neriješeno.

Ovaj referat nije ni imao za cilj da iznese cjeloukupnu problematiku ocjene radne sposobnosti i problematiku patologije osoba koje su izložene jonizirajućem zračenju, nego je bila namjera da na temelju dugogodišnjeg iskustva se ukaže na probleme, i da se dade potstrek za diskusiju o unapredjenju rada na tome području.

Tabela br.I

Godina	Broj pregledanih osoba	Sposob. za rad u sferi zračenja	Odbijeno	%
1967	18	13	5	31 %
1968	24	16	8	33 %
1969	19	15	4	21 %
1967-1969	61	44	17	28 %

Tabela br. II

Godina	Broj pregledanih osoba izloženih zračenju			Od toga osoba sa prekorać. dozom	Broj osoba sa utvrđenim oštećenjem
	sa RTG aparat.	sa radioaktivnim izvorima	svega		
1968	219	133	352	11	2
1969	181	131	319	27	5

Tabela br. III

Oštećeni organ	Profesionalna ekspozicija		Ukupno
	zdravstvo	industrija	
Koža	62	2	64
Krv i krvotvorni sistem	36	11	47
Katarakta oka	4	-	4
Svega	102	13	115

PK 840/70

MJERENJA U LABORATORIJIMA ZA RAD S OTVORENIM IZVORIMA

H.Cerovac, R.Hufnus i Z.Benčak

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Kod većine radova s ionizantnim zračenjem kada upotrebljavamo zatvorene izvore ili rendgen aparate, primljenu dozu zračenja izloženih radnika možemo dovoljno tačno, barem za svrhe zaštite, procijeniti prema dozi izmjerenoj na filmu ili kojem sličnom dozimetru.

Kod rada u laboratorijima za rad s otvorenim izvorima tu dozu nikako ne možemo smatrati toliko pouzdanom da bi pomoću nje pokušali procijeniti dozu koju radnici primaju prilikom rada. To bi mogli samo u tom slučaju kada bi dio doze primljene kao posljedica interne kontaminacije bio zanemariv. U tom slučaju mogli bi pretpostavljati da je i kontaminacija radnih površina, zraka i površina prostorija za rad zanemariva.

Direktno mjerenje primljene doze kao posljedice interne kontaminacije u najmanju ruku je vrlo teško i neekonomično. No radnicima zaposlenim u takvim laboratorijima treba osigurati barem takav stupanju zaštite kao i radnicima zaposlenim oko zatvorenih i sličnih izvora. Pokušali smo zato umjesto direktnog mjerenja interne kontaminacije, provesti mjerenja kontaminacije radne okoline (radnih i ostalih površina, zraka i zaštitnih ogrtača). Barem u grubom možemo pretpostaviti da interna kontaminacije ovisi o kontaminaciji okoline. No, možemo za osnovne potrebe zaštite i pretpostaviti da maksimalno dozvoljena kontaminacija

te radne sredine je uzrok za radnike koji provode cijelo svoje radno vrijeme da dođe do maksimalno dozvoljene kontaminacije organizma tj. da primaju MDD za odgovarajući vremenski period.

Maksimalno dozvoljene kontaminacije radnih i ostalih površina, zraka i radnih ogrtača preporučene od ICRP i prihvaćene su našim zakonskim propisima (1). Postoje i propisi (2) o obimu takvih mjerenja.

Problem je samo kako tehnički izvesti takva mjerenja. O poteškoćama i jednoj ideji kako ih savladati iznijeli smo na prošlom simpozijumu (3).

Mjerenja propisana pod (3) izvodili smo ovako:

a/ Sa radnih i ostalih površina uzimali smo brisove sa 10 cm^2. Kod određivanja kontaminacije tog dijela površine odnosa skinuto i zaostaloj kontaminaciji služili smo se iskustvima iz svojih ranijih radova (4);

b/ Običnom pumpicom za akvarij prosisali smo 1 - 2 litre zraka, tako da nismo mogli uvjetima mjerenja bitno promijeniti eventualnu kontaminaciju zraka;

c/ Za mjerenje kontaminacije radnih ogrtača poslužili smo se idejom izloženom u (2). Na određenom mjestu za lijepili smo nekoliko cm^2 običnog flastera te nakon određenog vremena zamijenili novim a eventualno kontaminiranom uzorku lagano dali oblik pogodan za mjerenje.

Mjerenja brisova, uzoraka filter papira, odnosno flastera vršili smo uređajem proizvodnje IBK - Vinča LoIa-4, koji po svojim karakteristikama odlično odgovara za ovakva mjerenja. Posebno su problemi baždarenje potrebno za ovakva mjerenja, no to ćemo izložiti drugom prilikom.

Smatramo da smo u laboratorijima u kojima je promet otvorenih izvora znatan (1 - 6 Ci na godinu), a to su uglavnom laboratoriji za primjenu u medicini, dobili rezultate koje valja spomenuti. S obzirom da je način rada i funkcionalnost prostorija u takvim laboratorijima uglavnom podjednaka, možemo dati okvirne rezultate za pojedina interesantnija mjesta:

- površine na izljevima i praonicima aktivnog suđa do $2 \cdot 10^{-3}$ uCi/cm^2;
- radne površine u prostoriji gdje se vrši razređivanje izvora do $4 \cdot 10^{-4}$ uCi/cm^2;
- podovi prostorije gdje se vrši razređivanje do $2 \cdot 10^{-5}$ uCi/cm^2;
- zrak u prostoriji gdje se vrši razredivanje do $0 \cdot 3\ 10^{-6}$ uCi/litri;
- površine ostalih prostorija do $0 \cdot 5\ 10^{-5}$ uCi/cm^2;
- radni ogrtači eksponiranije grupe radnika do $0.4 \cdot 10^{-4}$ uCi/cm^2;
- ostali radni ogrtači do 10^{-5} uCi/cm^2

Naravno, na temelju ovih prvih rezultata teško bi se usudili procijeniti doze koje primaju radnici u takvim laboratorijima, no smatramo da bi ovakva mjerenja provođena sistema tezi dala uz dotjerivanje uvjete mjerenja mogla biti dobar putokaz za procjenu primljenih doza i procjenu mjera zaštite.

Literatura

1. Osnovni zakon o zaštiti od jonizirajućih zračenja, 1965., Sl. list br. 12, Beograd.

2. Pravilnik o povremenim mjerenjima i provjeravanju kontaminacije stvari i osoba i o provjeravanju ispravnosti mjernih unstrumenata i zaštitnih sredstava, 1969., Sl. list br. 52, Beograd.

3. Hrvoje Cerovac, Zlatko Benčak i Robert Hufnus. Prijedlog za mjerenje kontaminacije u laboratorijima za rad s otvorenim izvorima. Zbornik radova IV Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, str. 686.

4. Cerovac H., Pecikozić Đurđa: Dekontaminacija potomaka Ra^{226}, u knjizi: Problemi radiološke dekontaminacije, Sarajevo 1966., str. 419.

Nr. / 6 / 03

ANALIZA KRETANJA DOZA OZRAČIVANJA LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH U RENDGEN KABINETIMA NA TERITORIJI SRS U 1969 GOD.

Ignjatović S.

2 R godišnje primi 30 lica ili 1,7 %

1 R godišnje primi 60 lica ili 3,5 %

Ako se potsetimo da je dozvoljena godišnja doza 5 Rada onda možemo zaključiti da prekoračenja nije bilo. Medjutim, po principu radiološke zaštite samo doza ravna nuli, je rezultat idealne zaštite.

Dozvolićemo kratku analizu uslova pod kojima su registrovane navedene doze.

Od 60 lica, koja su prekoračila dozu od 1000 mR, 29 ih radi na terapiji jonizujućim zračenjem, 13 u industriji i 18 na Rõ dijagnostici. Možemo reći da su radnici na terapiji isto toliko ugroženi koliko zajedno radnici u industrijskoj i dijagnostičkoj primeni jonizujućeg zračenja.

Sa ovog aspekta možemo zaključiti da glavnu pažnju radiološke zaštite mora da zadrže radna mesta koja su namenjena terapijskoj primeni jonizujućeg zračenja.

LITERATURA: Doze rendgenskog zračenja kojem su podvrgnuti bolnički i medicinski personal pr. kateterizaciji srca.

K.Djurček i dr. : Medicinska radiologija 1959-MEDGIZ

Dosimetrie und Strahlenschutz 1959-G.Theim V.

Strahlen dosis und Strahlenwirkung-G.Theim V

Nr / 6 / 03

ANALIZA KRETANJA DOZA OZRAČIVANJA LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH U RENDGEN KABINETIMA NA TERITORIJI SRS U 1969 GOD.

Slobodan Ignjatović

"Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu" - Beograd

U radijacionom polju rendgenovog zračenja nalazilo se pod kontrolom na teritoriji Srbije 1876 lica. Sva ova lica su bila snabdevena film-dozimetrom sposobnim da registruje od 2 do 1500 mR jonizujućeg zračenja. U ovome broju najviše su zastupljeni rendgen tehničari u dijagnostičkim rendgen kabinetima, lekari u dijagnostičkim rendgen kabinetima, tehničari u industriskoj radiografiji, lekari na radioterapiji, tehničari na radioterapiji i ostali radnici na istraživačkim radovima na dejstvu jonizujućeg zračenja.

Za ovu analizu uzeta su u obzir lica koja su u toku godine primila više od 1000 mR.

Tabelarno iznete vrednosti daju sledeću sliku:

	na terapiji	u industriji	na RŠ
1000-2000 mR	13 lica	4 lica	13 lica
2000-3000	8	5	4
3000-4000	4	3	1
4000-5000	1	1	0
5000 i više	3	0	0

Na osnovu gornjeg pregleda može se zaključiti da preko:

5 R godišnje primi samo 3 lica ili 0,17 %

4 R godišnje primi samo 5 lica ili 0,3 %

3 R godišnje primi samo 13 lica ili 0,7 %

Ж/6/04

NAČIN PRIMANJA DOZE KOD RADA S DIJAGNOSTIČKIM RENDGEN APARATIMA

Hrvoje Cerovac, Zlatko Benčak i Robert Hufnus

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti
Z a g r e b

Možda ne za ključne probleme zaštite, ali za mnoge svakodnevne probleme tehničke zaštite oko dijagnostičkih rendgen aparata zanimljivo bi bilo znati nešto pobliže o načinu na koji radnici zaposleni na takvim poslovima dobivaju doze ionizantnog zračenja. Iznosimo put i prve rezultate pokusa kojim smo to željeli doznati.

Oko rendgenske cijevi možemo razlikovati dva polja zračenja. Prvo je, osim filtracijom cijevi (do 2 mm Al) neoslabljeni korisni snop (1) u čijim se tačkama brzina doze kreće od oko 10 - 500 R/sat. Kod uobičajenog dijagnostičkog rendgen aparata koji odgovara svim propisanim i uobičajenim zahtjevima zaštite, on je gotovo uvijek oštro ograničen geometrijom zaslona (blende) cijevi i ekranom odnosno kazetom aparata, kojih je apsorpciona moć tolika, da brzinu doze smanjuje na red veličine do 100 mR/sat.

Izvan toga snopa polje je sekundarnog i raspršenog zračenja (2) nastalo raspršenjem korisnog snopa na pacijentu, odnosno dijelovima aparata, ili uslijed ostalog raspršenog i sekundarnog zračenja. Omjer brzina doza u ta dva polja je barem 10^3.

Ako su doze radnika u granicama dozvoljenim zakonskim propisima (2) očito su mogle biti primljene ili kratkotrajnim boravkom u korisnom snopu (do nekoliko sek) ili duljim boravkom (nekoliko sati) u polju raspršenog odnosno sekundarnog zračenja.

Prvo bi očito bilo problem za zaštitu, bilo da se radi o nenamjernim pogreškama, bilo o nužnim radnjama.

U drugom slučaju radilo bi se o nečem na što nije moguće bitno utjecati uobičajenim mjerama tehničke zaštite.

Naš eksperiment izveli smo na slijedeći način:

- zamolili smo šestoricu liječnika, radiologa na poslovima rendgen-dijagnostike da uz svoj propisani filmdozimetar nose kroz 10 dana još dva filmdozimetra. Jedan je nošen kroz cijelo vrijeme pokusa, a drugi se je mijenjao svaki dan na kraju radnog vremena;
- to isto smo zamolili i grupu od osam liječnika, ali opće prakse te specijaliste ftiziologe;
- nakon deset radnih dana obradili smo sve filmove.

Rezultati eksperimenta:

1. Liječnici radiolozi na poslovima rendgen--dijagnostike
   - broj osoba koji je sudjelovao u eksperimentu 6

   Kontrolni filmovi nošeni 10 dana

   a) sa dozom 6
   b) bez doze 0
   c) raspon doza očitanih sa tih filmova 3-5 mR

   Filmovi mijenjani svaki dan nakon radnog vremena

   a) od 10 filmova bilo je ozračeno kod 3 osobe 5 filmova
      kod 2 osobe 2 filma
      kod 1 osobe 10 filmova

   b) doze po filmu sve ispod 0,5 mR

2. Ostali liječnici
   - broj osoba koji je sudjelovao u eksperimentu 8

Kontrolni filmovi nošeni 10 dana

a) sa dozom	3
b) bez doze	6
c) doze očitane sa filmova	1 i 30 mR

Filmovi mijennjani svaki dan

U obzir dolaze samo one dvije serije filmova kod kojih smo našli ozračene kontrolne filmove. U seriji čiji kontrolni film ozračen sa dozom od 30 mR, nađen je samo jedan ozračen jednakom dozom kao i kontrolni. U drugoj seriji nađena su dva ozračena filma dozom od ispod 0,5 mR. Sudionike pokusa smo zamolili da filmove nose iznad zaštitne pregače.

Smatramo da smijemo iz ovoga zaključiti:

- Vrijedi provesti takav pokus i na statistički značajnijem broju radnika, uz pažljiviji izbor grupe liječnika opće prakse, odnosno ftiziologa.

- Rezultat ovog pokusa daje naslutiti, (što je i zbog vrste poslova koje moraju obaviti te upotrebljenih kV, mA bilo za očekivati) da nije moguće,barem ne značajno, smanjiti doze koje uz sadašnje rendgen aparate primaju liječnici rendgenolozi.

Literatura

1. Code of Practice for the Protection of Persons exposed to ionizing radiations, Supplement, 76, London, Her Majestyś Stationery Office, 1957.

2. Pravilnik o dopuštenim dozama jonizirajućih zračenja kojima mogu biti izložene osobe koje rade s izvorima tih zračenja, 1965. Sl.list br. 31, Beograd.

FK 848/70

Nr. / 6 / 05

MOGUĆNOSTI INCIDENATA I OZRAČENJA U RADIOTERAPIJI

N. Stipčić, P. Pavlović

Zavod za radioterapiju i onkologiju, Opća bolnica "Braća dr Sobol", Rijeka

Šira primjena različitih metoda radioterapije i uredjenja visokovoltažnog zračenja u liječenju malignih tumora, prije dvije decenije, uz ostalo izazvala je potrebu optimalne zaštite sve brojnijeg osoblja kao i samih bolesnika. Na temelju internacionalnih preporuka doneseni su nacionalni zakonski propisi o dozvoljenim dozama ionizirajućeg zračenja kao i pravilnici o radu sa tim izvorima (1,2,3,4).

Medjutim u radioterapiji katkada se ne može u potpunosti pridržavati triju osnovnih principa zaštite od zračenja : vrijeme izloženosti, udaljenost od izvora i upotreba zaštitnih sredstava i pomagala. Tako kod primjene zatvorenih izvora velikih aktivnosti, kao što je slučaj kod intrakavitarnih aplikacija ili kod terapijske primjene otvorenih izvora, pacijent s tim izvorima u sebi predstavlja kroz izvjesno vrijeme stalni izvor zračenja. Njegov rad s tim bolesnicima zahtjevaju rigorozne zaštitne mjere unatoč kojih je bolničko osoblje izloženo zračenju (5,6,7).

U visokovoltažnoj i telegama terapiji uslovi rada i zaštite znatno su bolji.

Premda je u posljednje doba rasprostranjena upotreba različitih izvora zračenja nekada veoma visoke aktivnosti, teži veći incidenti relativno su rijetki.

U daljnjem izlaganju osvrnuli bi se na mogućnost takvog jednog incidenta u radu sa telekobaltnim uredjajem.

Naš uredjaj za telegama terapiju nalazi se u prostoriji, čiji su zidovi toliko debeli da u slučaju direktnog ozračavanja

bilo kojeg zida prostorije, doza na vanjskoj strani zida ne premašuje maksimalno dozvoljenu granicu. Sl. 1. Osim toga glava uredjaja u kojoj je smješten izvor velike aktivnosti (3000 Ci) ima kolimator, tako da je izlazni snop gama zraka kolimiran. Zbog toga, raspršeno zračenje u prostoriji, za vrijeme ozračavanja pacijenta relativno je malo, tako da na stolu uredjaja, na udaljenosti od 1 m od ozračenog polja doza je 10^3 puta manja od aplicirane doze.

Za vrijeme dok uredjaj ne radi u prostoriji je doza 20 puta manja od dozvoljene doze za profesionalno ozračena lica. Jedino na vanjskoj površini glave kobaltne bombe, ta je doza i do 10 puta veća od maksimalno dozvoljene, (Sl. 2). Zbog tog područja oko glave uredjaja, sa povišenom dozom zračenja, osoblje u toku svog rada stalno je izloženo zračenju. Medjutim, prema dosadašnjem petogodišnjem iskustvu, primljena doza zračenja bila je uvijek unutar granica tjednih i godišnjih maksimalno dozvoljenih doza.

Kako organizacijom rada tako i sigurnosnim uredjajima na aparatu, nije moguć ulazak osoblja i njegov boravak za vrijeme zračenja. Tako su mogućnosti nekih incidenata svedene na minimum.

Nažalost, naše je iskustvo pokazalo da ipak može doći do incidenta. Uzrok incidentu, kojeg želimo iznesti, bio je mehanički kvar na zaslonu glave kobaltne bombe, koji zaklanja odnosno otkriva izvor. Da li zbog proširenja olovnog dijela zaslona ili zbog nečistoće, zaslon se uglavio u svom ležištu i nije se mogao pomaknuti električnim putem. Zbog tog kvara, zaslon je ostao djelomično otvoren te je uredjaj kontinuirano zračio sve do manuelnog zatvaranja zaslona.

Taj kvar na uredjaju desio se u toku palijativnog zračenja jedne bolesnice sa metastazirajućim karcinomom dojke.

Po isteku predvidjenog vremena, satni se mehanizam isključio. Medjutim, zaslon kobaltnog izvora ostao je uglavljen i signalna crvena svjetla na komandnoj ploči i glavi uredjaja nisu se isključila. Kada je rendgen tehničarka uočila signalno crveno svjetlo obavijestila je za to odgovorna lica. Izvršeno je orijentaciono mjerenje doza u prostoriji i evakuacija bolesnice. Tada se pristupilo mjerenju doze zračenja pomoću ionizacione komore "Jordan", čija se komora može odvojiti od mjernog instrumenta drugačkim kablom. Nakon toga pristupilo se brzom manuelnom zatvaranje zaslona na glavi uredjaja, koje je odmah uspjelo. Na slici 3 prikazan je shematski presjek glave uredjaja sa kolimatorom i zaslonom.

Mjerenjem doza za vrijeme incidenta kao i kasnije kod rekonstrukcije dogadjaja, te mjerenjem vremena boravka pojedinih osoba u prostoriji omogućeno je izračunavanje približno primljenih doza.

Kod toga smo uzeli u obzir maksimalno moguće vrijeme izloženosti i maksimalno moguću dozu zračenja. U tabeli, na Sl. 4. date su približno primljene doze.

Ove doze su relativno male i manje su od zakonom propisanih doza u slučaju incidenta.

Osoblje je podvrgnuto pregledu krvi u više navrata a nalazi njihove krvne slike bili su potpuno normalni. Isto tako su doze odredjene filmdozimetrima za taj mjesečni period iznosile od 50-80 mR. Poslije ovog incidenta uredjaj je od stručnih osoba popravljen.

Bolesnica, koja je dobila veću dozu od predvidjene pauzirala je, i ta doza je uračunata u njeno frakcionirano zračenje.

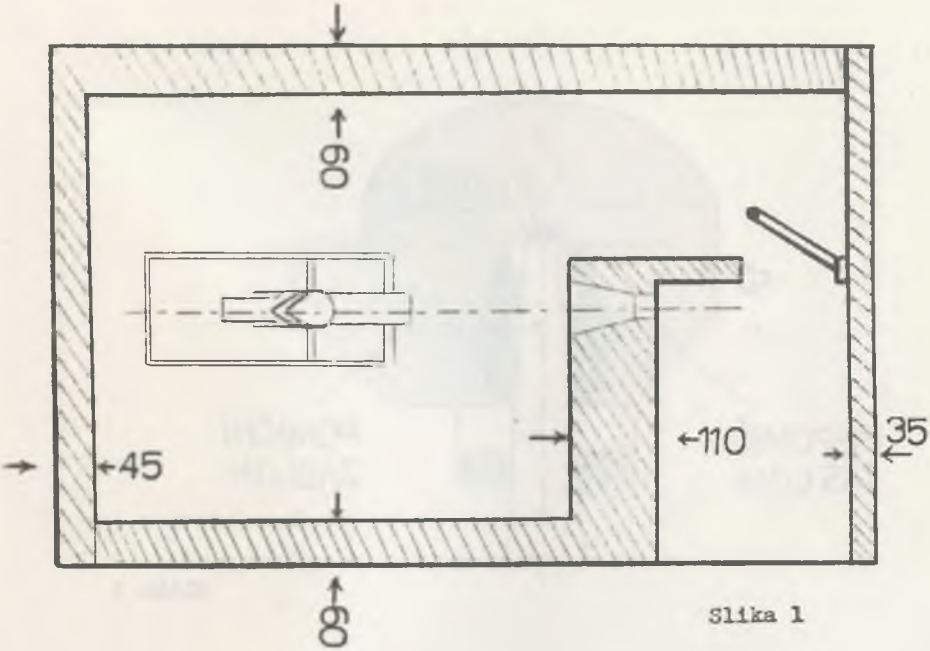
U zaključku bi htjeli naglasiti da ma koliko bili

pouzdani sigurnosni uredjaji, uvijek je potrebno imati na umu da postoje slučajevi kada oni nisu dovoljni. Osim toga u radu sa izvorima zračenja osoblje mora stalno biti veoma oprezno. Nadalje, potrebno je predvidjeti da se sve operacije u slučajevima nekih kvarova i incidenata izvedu brzo i efikasno.

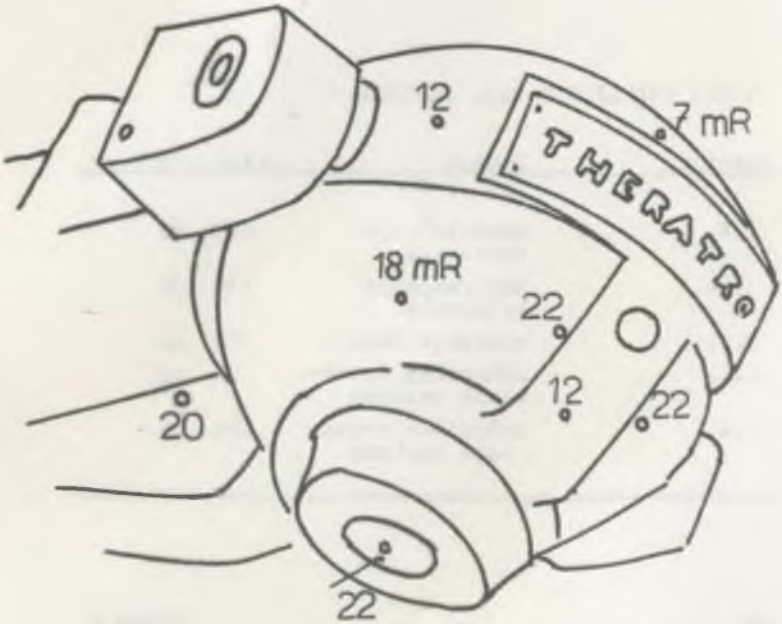
Literatura

1. Code of practice for the protection of person exposed to ionising radiations, Her Majesty's Stationery office, London, 1957.
2. Radiation dangerous for people in work, Brit.J. Radiol., Suppl. 6, 1954.
3. Recommendation of ICRU, Report 10 d, NBS, Handbook 87, 1963.
4. Osnovni zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja, Sl. list 12, 1965.
5. R. Paterson, The treatment of malignant disease by radium and X - rays, Edward Arnold Publ., London, 1956.
6. L. Delherm, Nouveau traite d 'Electroradiotherapie, Ed. Masson, Paris, 1951.
7. A. Laconi, F. Caffarelli, F. Melfi, I radioisotopi in diagnostica e terapia, Sansoni, Firenze, 1966.

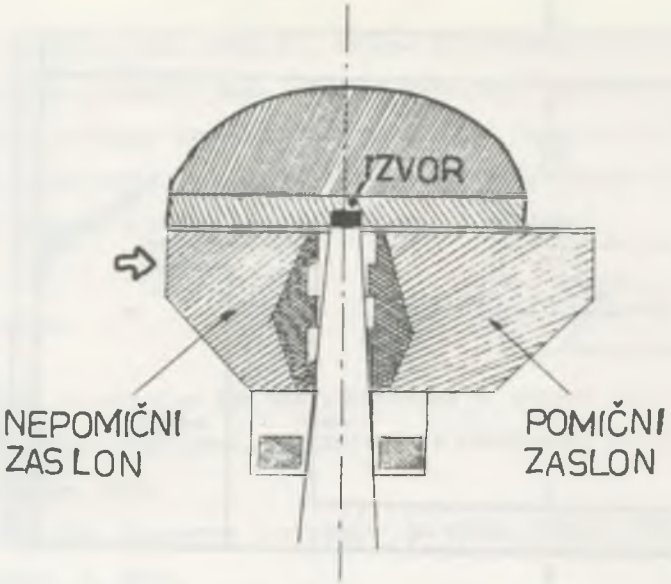
Autori :
Dipl.ing.fiz. N. Stipčić, Gorana Kovačića 45, Rijeka
Doc.dr sc. P. Pavlović , Bulevar Oslobodjenja 17, Rijeka



Slika 1



Slika 2



Slika 3

TABELA PRIMLJENIH DOZA ZRAČENJA

Osoblje	Radnja	Primljena doza
J.K.	odstranjenje bolesnice	250 mR
A.D.	odstranjenje bolesnice	150 mR
N.S.	mjerenje doze	200 mR
L.K.	mehaničko zatvaranje zaslona	60 mR
S.G.	mehaničko zatvaranje zaslona	100 mR

Slika 4

Nr. / 6 / 07

PRIMJENA RENDGEN-DIJAGNOSTIČKIH POSTUPAKA U PEDIJATRIJSKOJ PRAKSI SFRJ

Dr Jokić Jovan,[x] Dr Marjanac Antun[xx]

UVOD

Sve raširenija primjena jonizujućeg zračenja u životnoj okolini čovjeka i naučne spoznaje o mogućim genetskim i somatskim posljedicama izlaganja tom zračenju zahtijevaju ograničenje ekspozicija, osobito mlađeg stanovništva[(1)].

Komitet ekaperats za zaštitu od jonizujućeg zračenja Svjetske zdravstvene organizacije[(2)] je u okviru svojih preporuka skrenuo posebnu pažnju na ograničavanje rendgen dijagnostičkih postupaka kod djece i naglasio, da ako su pregledi nužni, obavezna je dobra tehnika i specijalna zaštita gonada.

Ova predostrožnost i specijalno naglašena preporuka u zaštiti djece proizlazi iz činjenice da djeca spadaju u reproduktivni dio stanovništva, te prema tome genetski rizik za cjelokupnu populaciju ozračivanjem ovog dijela stanovništva je veći nego ozračivanjem odraslih. Pored toga i somatski rizik u vidu leukemija i malignih tumora ima veću vjerovatnoću manifestacije (zbog duge latencije) kod mlađeg stanovništva nego kod starijeg.

Problem zaštite djece od prekomjernog izlaganja jonizujućem zračenju sadrži u sebi niz specifičnosti s obzirom:

- na veliko učešće respiratornih infekcija kod djece, a time i potreba za rentgenskim pregledima pluća;

---

x Institut za higijenu i socijalnu medicinu, Medicinskog fakulteta, Sarajevo;

xx Higijensko-epidemiološki odred, Sarajevo.

- da su djeca prj pregledu nemirna, što pri dijaskopijama produžava vrijeme (trajanje) pregleda, a kod grafija često zahtijeva ponovno snimanje i tako automatski dovodi do većih primljenih doza;
- uvođenje skoro obaveznog dijagnostičkog rendgen postupka pri dijagnostici kongenitalne dialokacije kukova i urođenih urogenitalnih malformacija, što je u nekim krajevima dovelo do masovnog rutinskog postupka;
- na administrativna zahtjeve o obavezi rendgenskih pregleda djece kod prijema u obdanište, odmaralište, školu i slično;
- na rasprostranjeno mišljenje u narodu o "nepogrešivosti" i "svemogućnosti" rendgem dijagnostike i insistiranja roditelja za ovakvim pregledom kod svoje djece;
- da po pravilu rendgen-dijagnostičke postupke u pedijatriji vrše specijalisti za dječije bolesti i lica osposobljena za pedijatrijsku službu, a ne radiolozi, što znači, ljekari nedovoljno kvalifikovani (obučeni) u pogledu pravilne tehnike i zaštite pacijenata pri radu;
- da je kod rendgenskih pregleda djece teško odrediti racionalnu širinu snopa na predio organa koji se ispituje, što [illegible]a za posljedicu nepotrebno ozračivanje veće površine tijel[illegible].

U cilju ocjene obima izloženosti djece jonizujućem zračenju uslijed upotrebe rendgen dijagnostičkih aparata u medicini ispitali smo frekvenciju i vrste rendgen dijagnostičkih postupaka kod djece od 0-14 godina na teritoriji SFRJ.

METOD RADA

Na 2o%-tnom uzorku rendgen dijagnostičkih aparata u zdravstvenim ustanovama na teritoriji SFRJ izvršena je od 9. do 16.1o. 1967 godine anketa o frekvenciji i vrstama rendgen dijagnostičkih postupaka. Iz upitnika, pomoću kojih se je vršila anketa,

dobiveni su podaci o zdravstvenoj ustanovi, vrsti i tipu rendgen aparata, vrsti i frekvenciji rendgen-dijagnostičkih postupaka, upotrebljenoj tehnici rada, te o starosti i spolu pregledanog pacijenta.

Dobiveni rezultati su statistički obrađeni u odnosu na starost i spol pacijenta, te vrstu i metod pregleda. Na osnovu dobivenih rezultata uzorka izrađena je godišnja procjena frekvencije i vrsta rendgen dijagnostičkih postupaka u odnosu na dob i spol djece.

REZULTATI

U tabeli broj 1 prikazana je jednonedjeljna frekvencija i vrsta učinjenih rendgen dijagnostičkih postupaka kod djece u zdravstvenim ustanovama na teritoriji SFRJ, izuzev vojnomedicinskih ustanova. U tabeli nisu prikazani ni podaci o masovnim fluorografskim pregledima.

Iz tabele se vidi da je u posmatranom periodu izvršeno 3.081 pregleda kod dječaka i 2762 kod djevojčica. Dobiveni rezultati pokazuju da su kod dječaka najčešći pregledi pluća, glave, ekstremiteta, zuba i femura, a kod djevojčica pregledi pluća, kuka, pelvisa i lumbosakralne regije.

U prve četiri godine života pregled kuka vrši se oko dva i pol puta češće kod djevojčica nego kod dječaka, a u kasnijim godinama učestalost tog pregleda kod oba spola je skoro ista. Sličan odnos je utvrđen i kod pregleda pelvisa.

Porastom starosti dječaka znatno brže se povećava broj rendgenskih pregleda gornjih ekstremiteta nego kod djevojčica, dok su pregledi donjih ekstremiteta do desete godine kod oba spola podjednaki, a zatim je ovaj pregled kod dječaka frekventniji.

Rendgenski pregledi kod dječaka su češći u starijim dobnim skupinama, a kod djevojčica u dobnoj skupini od 0-4 godine.

Najfrekventniji rendgenski pregled kod oba spola je pregled pluća, a unutar dobnih skupina taj pregled je frekventniji u prve četiri godine nego u ostalim dobnim skupinama.

Prikaz procjene godišnje frekvencije i tipova rendgen dijagnostičkih pregleda kod djece od 0 do 14 godina dat je u Tabeli broj 2. Rendgen dijagnostičkom pregledu se najčešće podvrgavaju djevojčice od 0-4 godine (o,47 pregleda po glavi godišnje), te kasnije, broj pregleda kod djevojčica opada da bi u dobnoj skupini od 10-14 godina stopa pregleda iznosila o,34 po glavi godišnje. Kod dječaka se najčešće pregledava dobna skupina od 5 do 9 godina (o,41 po glavi godišnje), dok je u ostalim dobnim skupinama učestalost pregleda skoro podjednaka (o,38 odnosno o,39).
Najčešći pregled je, kao što smo i ranije ukazali, rendgendijagnostički pregled pluća (65,5% od ukupnog broja pregleda). Ovaj pregled je i kod djevojčica (71,1%) i kod dječaka (72,1%) najčešći u dobi od 0 do 4 godine.

Rendgen dijagnostički pregledi koji obavezno uključuju gon de u direktan snop zračenja (pregledi kuka, femura, pelvisa, lumbosakralne regije, lumbalne kičme, urografije, retrogradne pijelografije, ureterocistografije, donji digestivni trakt i nativni abdomen), najčešći su kod djevojčica od 0 do 4 godine. Procjena pokazuje da je svaka deseta djevojčica ove dobne skupine jednom godišnje podvrgnuta nekom od ovih pregleda. Broj ovih pregleda po glavi dječaka u dobi od 0 do 4 godine je dva puta manji nego kod djevojčica. U ostalim dobnim skupinama ovim pregledima je godišnje podvrgnuto 2 do 3% dječaka, odnosno djevojčica.

Analizom pregleda pluća, kao najčešćeg rendgen dijagnostičkog pregleda (tabela br. 3), utvrđeno je da se kod dječaka 48%

pregleda pluća vrši dijaskopijom. U dobnoj skupini dječaka od 0 do 2 godine dijaskopija pluća se upotrebljava u 39,5% slučajeva, a zatim njeno učešće raste da bi u dobnoj skupini od 10-14 godina dostiglo vrijednost 55% slučajeva. U djevojčica primjena dijaskopije pluća je skoro ista, kao i kod dječaka.

DISKUSIJA

Našim ispitivanjem smo utvrdili, što je dokazano i u drugim zemljama (3,4,5,6,7,8) da je pregled pluća najčešći rendgen dijagnostički postupak u pedijatriji. U okviru ovog ispitivanja nismo bili u mogućnosti, a nije nam bio ni cilj, da utvrdimo da li su ovi pregledi bili indicirani ili ne. Međutim, u razmatranju moguće opasnosti u pogledu somatskog i genetskog efekta, kao što smo u uvodu napomenuli, kod djece je rizik pri ovom pregledu znatno veći nego kod odraslih. Naime, pri pregledu pluća djece, srazmjerno veći dio tijela obasjava se direktnim snopom nego kod odraslih, a ta činjenica upućuje na vjerovatnoću uključenja i gonada u direktan snop zraka, pored obasjavanja i većeg obima koštane moždine. Već i zbog ovih činjenica trebalo bi limitirati ova vrstu pregleda samo na strogo indicirane slučajeve.

Pregledi koji obavezno uključuju gonade u korisnan snop rendgenskih zraka su od posebnog značaja u pogledu mogućih genetskih efekata. Naši rezultati koji pokazuju da su godišnje 10% djevojčica i 5% dječaka od 0-4 godine obuhvaćeni nekim od ovih pregleda, ukazuju na neophodnost da se ovim pregledima posveti posebna pažnja. Ovo naročito zato što kod djevojčica 59% od svih pregleda čini pregled kuka, a 26% pregledi pelvisa, odnosno pregledi u cilju dijagnostike kongenitalne luksacije kuka.

Prema preporuci eksperata za radijaciju SZO (2) kod ovih pregleda treba upotrebljavati rendgen dijagnostiku samo kao pomoćno sredstvo i to poslije provedenih ostalih kliničkih i fizikalnih ispitivanja, a nikako kao rutinski postupak. Ukoliko bi se smanjili nepotrebni pregledi karličnog pojasa, smatramo da procjenjeni broj pregleda ne bi predstavljao neki ozbiljan genetski rizik, ali ne treba gubiti iz vida da od primjenjene tehnike pri pregledima i poznavanje specifične zaštite pri ovim pretragama uveliko utiču na veličinu primljene doze, jer nije dovoljno samo smanjiti broj pregleda nego i poboljšati zaštitu pri ovim pregledima.

Povečanjem dijagnostičkih rendgenskih pregleda u pedijatriji zbog razvoja dijagnostičke u medicini i sve veće pristupačnosti stanovništva uslugama zdravstvene službe, moraju se i kod nas preduzimati, do sada u svijetu poznate i preporučene metode, da rizik pri upotrebi rendgen dijagnostičkih postupaka bude što manji. Tako npr. pored standardnih uputstava o potrebnoj miliamperaži i voltaži napona cijevi danas se preporučuje upotreba grafije u svim slučajevima, gdje je to moguće. Razumljivo, da se to u prvom redu odnosi na najmasovniji rendgen dijagnostički postupak-pregled pluća. Smatramo, da je učešće dijaskopija u pregledima pluća od skoro 50%, koje smo dobili u našem ispitivanju, neopravdano visoko i da će bez obzira na broj pregleda dati veću apsorbovanu dozu nego u zemljama, gdje se dijaskopija izbjegava. Dijaskopije ne ostavljaju trajni dokumenat, pa se često u kratkom vremenskom razmaku nekoliko puta ponavljaju (napr. pilotiranje pacijenata od ljekara opšte prakse do specijaliste i bolnice). Ovom prilikom treba naglasiti da u toku dijaskopije veliki uticaj na primljenu dozu pacijenta ima i stručnost lica koje vrši rendgenski pregled i njegova adaptiranost na mrak. Nedovoljno upućeni ljekari u zaštiti pri rukovanju sa rendgen aparatom obično rade sa širokim snopom, velikom miliamperažom i nepotpunom adaptacijom na mrak. Nemirno dijete pri pregledu pak sa svoje strane otežava,

a time i produžava trajanje pregleda.

Od veoma efikasnih mjera zaštite gonada od direktnog snopa rendgenskih zraka u svijetu se primjenjuju, a kod nas izuzetno rijetko, olovni gumeni štitnici koji se stavljaju na predio gonada ili preko skrotuma[2,6,9]. Upotreba ovih sredstava znatno bi smanjila primljenu dozu čak i u slučajevima dosta široke rendgen dijagnostike u pedijatrijskoj praksi.

ZAKLJUČAK

1. Procjena godišnje frekvencije rendgen dijagnostičkih pregleda u 1967 godini za populaciju od 0 do 14 godina iznosi 2.312.800, od čega na dječake otpada 1.186.400, a na djevojčice 1.126.400 pregleda.

2. Najmasovnija vrsta pregleda u svim posmatranim dobnim skupinama (0-14 godina) su pregledi pluća. U dobnoj skupini od 0 do 4 godine na drugo mjesto po učestalosti dolazi pregled kuka i femura, a zatim pelvisa i ekstremiteta. U starijim dobnim skupinama djece poslije pregleda pluća, po frekventnosti dolaze pregledi ekstremiteta i pregledi glave.

3. U populaciji dječaka starosti od 0-4 godine 38; od 5-9 godina 41%; od 10-14 godina 40%; a kod djevojčica starosti od 0-4 godine 47%; 5-9 godina 38%; a od 10-14 godina 33"% se jedanput godišnje podvrgne nekom od rendgen dijagnostičkih pregleda.

BIBLIOGRAFIJA:

1. Radiation Hazards in Perspective (1962), WHO, Technical Report Series No 248, Geneva;

2. Public Health and the Medical Use of Ionising Radiation (1965), WHO, Technical Report Series No 306, Geneva;

3. Stanford, R.W., Vance I., (1955), The British Journal of Radiology, 28:266-273;

4. Adrian Committee (1960), Radiological Hazards to Patients, Second Report of the Committee. London, Her Majesty's Stationery Office;

5. Beekman, Z.M., (1962), Geneticaly Significant Dose from Diagnostic Roentgenology; N.V. Drukkerij V/H Batteljee and Ferporta-Leiden;

6. Larsson, L.S., (1959), Acta radiologica Suppl. No 157;

7. Schär, M., Minder, W., Zuppinger, A., (1960), Praxis 32: 779-785;

8. Seelentag, W., (1961), Deutsche Medizinische Wochenschri 86:2513-2523;

9. Petrovčić, F.,(1960), Liječnički vijesnik, 2:133-139;

Tabela 1.

Frekvencija i struktura rendgen dijagnostičkih pregleda prema spolu i dobi (ankete od 9-15.10.1967).

Vrsta pregleda	Dobne skupine						UKUPNO	
	0 - 4		5 - 9		10 - 14			
	M	Ž	M	Ž	M	Ž	M	Ž
Kuk i femur	68	162	17	17	11	16	96	195
Femur	8	1	12	6	7	6	27	13
Pelvis	28	47	12	10	7	7	47	64
Pelvimetrija	4	7	0	0	0	0	4	7
Lumbosakralna regija	0	3	2	3	1	4	3	10
Lumbalna kičma	3	0	8	2	3	4	14	6
Urografija	7	5	4	7	7	8	18	20
Retrogradna pijelografija	2	1	2	0	1	0	5	1
Ureterocistografija	3	1	0	0	0	0	3	1
Želudac i duodenum	2	3	2	0	8	4	12	7
Donji digestivni trakt	6	2	4	1	4	1	14	4
Abdomen	8	5	6	3	8	5	22	13
Abdomen (porodiljski pregled)	-	-	-	-	-	-	0	0
Histerosalpingografija	-	-	-	-	-	-	0	0
Holecistografija i holangiografija	-	-	1	-	4	4	5	4
Grudi	688	653	686	627	576	517	1950	1797
Glava	52	42	73	44	67	80	192	166
Torakalna kičma	3	2	5	4	5	11	13	17
Grudni koš	18	12	11	10	17	9	46	31
Ruka	25	26	79	49	137	57	241	132
Donji ekstremitet	40	23	40	29	78	38	158	90
Zubi	2	0	80	68	129	116	211	184
UKUPNO:	967	995	1044	880	1070	887	3081	2762

Tab. 1.

Godišnja procjena pregleda pluća u odnosu na spol, dob i metod pregleda

Dobna skupina	Muškarci			Žene		
	Ukupan broj pregleda pluća	Od toga dijaskopija		Ukupan broj pregleda pluća	Od toga dijaskopija	
		Broj	%		Broj	%
0 - 2 god.	13o,8	51,7	39,5	158,4	44,1	27,o
2 - 4	146,5	62,9	42,9	155,o	74,3	47,o
5 - 9	261,4	132,5	5o,o	252,5	121,2	48,o
1o - 14	2oo,1	111,9	55,o	191,7	1o6,5	55,o
UKUPNO:	738,8	359,o	48,o	757,6	346,1	45,o

Tab. 2.

Procjena godišnje strukture rentgen dijagnostičkih pregleda u pedijatriji na teritoriji SFRJ u odnosu na spol, dob i frekvenciju pregleda (na osnovu ankete od 9-15.10.1967) (u hiljadama)

Vrste pregleda	Dobne skupine											
	0 - 4				5 - 9				10 - 14			
	M		Ž		M		Ž		M		Ž	
	Broj pregleda	Po glavi stanovnika	Broj pregleda	Po glavi stanovnika	Broj pregleda	Po glavi stanovnika	Broj pregleda	Po glavi stanovnika	Broj pregleda	Po glavi stanovnika	Broj pregleda	Po glavi stanovnika
Kuk i femur (g.trećina)	23.4	0,02	57,1	0,06	6,7	0,0067	6,4	-	4,0	-	7,0	-
Femur (sr.i d.trećina)	3,7	0,0037	1,0	0,001	5,0	0,0052	2,5		2,6		2,4	
Pelvis	14,0	0,014	22,3	0,023	5,8	0,006	4,5		3,1		3,4	
Lumbosakralna regija	1,0	0,001	1,1	0,0011	2,4	0,0025	2,0		0,9		1,0	
Lumbalna kičma	0,8	0,0008	-	-	1,6	0,0016	0,9		2,2		1,9	
Urografija (uklj.i i.v. pijelografiju)	3,0	0,003	1,7	0,0018	2,5	0,0026	3,2		3,0		3,4	
Retrogradna pijelograf.	-	-	-	-	0,3	0,0003	-		-		-	
Ureterocistografija	1,0	0,001	0,3	0,0003	-	-	-		-		-	
Želudac i duodenum	1,6	0,0016	1,0	0,001	0,7	0,0007	-		4,3		0,7	
Donji digestivni trakt	1,0	0,001	0,8	0,0006	1,8	0,0013	0,4		1,2		-	
Abdomen (opći)	2,5	0,0025	1,4	0,0014	2,7	0,0021	1,9		3,3		2,3	
Holecistografija i holangiografija	-		-		0,9	0,0009	-		1,8		1,8	
Grudi (pluća, srce.aort.)	277,3	0,278	313,4	0,33	261,4	0,27	252,5	0,27	200,1	0,195	191,7	0,196
Glava(uključ.vratna kičma)	18,9	0,019	14,4	0,015	27,8		20,2		29,3		27,2	
Torakalna kičma	1,1	0,0011	0,7	0,0007	2,0		1,9		2,1		4,2	
Grudni koš (rebra, sternum, rame)	8,0	0,008	4,8	0,0051	3,3		4,2		7,2		3,7	
Ruka	10,2	0,01	11,7	0,012	33,7		22,4		62,6		25,3	
Noga (osim femura)	16,1	0,016	8,9	0,0094	14,5		11,3		30,9		15,6	
Zubi	2,3	0,0023	-	-	21,2		24,8		46,1		14,9	
Svega:	383,9	0,385	446,6	0,47	390,1	0,410	359,1	0,387	406,2	0,397	326,7	0,334

Nr. / 6 / 08

PROCJENA OBIMA KORIŠTENJA RENDGEN-DIJAGNOSTIČKIH POSTUPAKA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA SFRJ

Jokić J.[x], Marjanac A.[xx]

UVOD

Zbog mogućih somatskih i genetskih posljedica, posljednjih godina porastao je u svijetu, a i kod nas veliki interes za izučavanje veličine doza koju prima stanovništvo od upotrebe vještačkih izvora jonizujućeg zračenja.

Izučavanja, koja su do sada izvršena, pokazala su da je medicinska primjena jonizujućeg zračenja najmasovniji izvor aplikacije radijacionih doza stanovništvu i da 7o-8o% primljene doze od tih izvora otpada na dijagnostičku upotrebu rendgen aparata (1).

Posljednjih godina, sa razvojem tehnike i medicinske nauke, porastao je i broj medicinskih izvora zračenja, broj medicinskih pregleda, a proširene su i vrste tih pregleda. Procjenjuje se da u razvijenim zemljama svake godine broj rendgenskih pregleda raste za lo-15% (2). Na povećanje ovoga broja utiče više faktora od kojih su najvažniji: poboljšanje ekonomskih prilika, razvoj medicinske službe, saznanje o potencijalnoj vrijednosti upotrebe izvora jonizujućeg zračenja u dijagnostici, terapiji i ranom otkrivanju bolesti, a često i psihološki momenti. Raširenost upotrebe rendgen dijagnostičkih aparata u medicini studirana je u mnogim zemljama i o tom problemu su prikupljeni brojni podaci prikazani na tabeli broj 1 (3).

---

x Institut za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta, Sarajevo;

xx Higijensko-epidemiološki odred Sarajevo.

Prvu takvu procjenu u Jugoslaviji izvršili su Petrovčić i saradnici (4) 1957 godine za područje SRH.

Institut za higijenu i socijalnu medicinu u Sarajevu je u okviru teme:"Primljene gonadne doze stanovništva Jugoslavije zbog dijagnostičke primjene rendgen aparata", koju finansira Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu SZZZ, još 1967 godine izvršio anketu o broju i vrsti rendgen dijagnostičkih pregleda na uzorku zdravstvenih ustanova.

Cilj ankete bio je da se procjeni godišnja frekvencija i distribucija pregleda prema vrsti, spolu i dobnim skupinama stanovništva Jugoslavije.

METOD RADA

Na osnovu podataka iz kartoteke Republičkih centara za kontrolu vještačkih izvora jonizujućeg zračenja napravljen je popis svih dijagnostičkih rendgen aparata. Zatim su aparati grupirani po frekvenciji korištenja i na 20%-tnom uzorku tih rendgen aparata izvršeno je anketiranje sedmodnevnog korištenja u dijagnostičke svrhe. U tom cilju konstruisan je upitnik iz koga su se mogli dobiti podaci o ustanovi, vrsti rendgen dijagnostičkog aparata, upotrebljenoj tehnici, licu koje je izvršilo pregled, te spolu i dobi pregledanog pacijenta.

Anketiranje je izvršeno od 9-15 oktobra 1967 godine.

REZULTATI

Na tabeli broj 2 prikazan je broj rendgen-dijagnostičkih aparata po republikama i za cijelu teritoriju SFRJ, izuzev rendgen aparata iz vojnih zdravstvenih ustanova.

Za vrijeme anketiranja u zdravstvenim ustanovama SFRJ bilo je na upotrebi 2.4o5 rendgen dijagnostičkih aparata, od čega 25% u bolnicama i klinikama, 45,8% u domovima zdravlja i medicinskim centrima i 29,2% u zdravstvenim stanicama i ostalim zdravstvenim ustanovama.

Upoređujući broj rendgen dijagnostičkih aparata sa brojem stanovnika utvrđeno je da u SFRJ na jedan rendgen dijagnostički aparat dolazi 8.2o8 stanovnika, a po republikama u: Crnoj Gori 4.666, Hrvatskoj 5.9ol, Sloveniji 6.569, Bosni i Hercegovini 9.732, Srbiji 9.997 i Makedoniji lo.2oo.

U Sloveniji blizu 5o% aparata nalaze se u bolnicama i klinikama, a u ostalim republikama većina aparata je u vanbolničkim ustanovama.

Na tabeli broj 3 prikazani su rezultati jednonedjeljne ankete. Na 2o% uzorku dijagnostičkih rendgen aparata u SFRJ izvršeno je u posmatranom periodu 34.286 rendgen dijagnostičkih pregleda. U tabeli nisu prikazani pregledi u vojno-sanitetskim ustanovama i masovni fluorografski pregledi.

Pregledi pluća su daleko najčešća vrsta rendgen dijagnostičkih u SFRJ i iznosi 6o% od svih pregleda. U pojedinim republikama učešće te vrste pregleda u ukupnom broju izvršenih rendgen dijagnostičkih pregleda iznosi: u SRBiH 83,3%; SRCG 33,o%, SRH 55,o%, SRM 58,o%, SRSl. 48,o% i SRS 64,o% (Tab. 4).

Od ukupnog broja pregleda pluća u Bosni i Hercegovini 37% su dijaskopije, dok u drugim republikama udio dijaskopija kod pregleda pluća kreće se od 68 do 78%.

Procjenjeno je da se u Jugoslaviji godišnje izvrši 12.934.9oo rendgen dijagnostičkih pregleda, od čega na muškarce otpada 6.865.8oo ili 53.1%, a na žene 6.o69.loo ili 46.9% pregleda (Tab. 5).

Iz prikaza godišnje procjene frekvencije i strukture rendgen dijagnostičkih pregleda na teritoriji SFRJ vidi se da je najmasovniji pregled pluća (58,51%), dok su svi ostali pregledi zastupljeni u daleko manjem procentu. Nešto frekventniji od ostalih vrsta pregleda su pregledi zuba (8,25%), želuca i duodenuma (6,9%) i ekstremiteta (gornji 4,88%, donji 4,78%).

Distribucija vrsta pregleda po spolovima slična je distribuciji u ukupnoj populaciji.

U Jugoslaviji je 1967. godine broj rendgen-dijagnostičkih pregleda po glavi stanovnika iznosio o,65 (Tab. 6). Najveća stopa pregleda je procjenjena u Sloveniji (o,95), a najniža u Crnoj Gori (o,38).

Muškarci se češće podvrgavaju rendgen-dijagnostičkim pregledima nego žene. Stopa pregleda po glavi muškaraca na Jugoslaviju iznosi o,71. U Sloveniji ta stopa iznosi 1,oo, Hrvatskoj o,82, Srbiji o,69, Bosni i Hercegovini o,61, Makedoniji o,55 i Crnoj Gori o,42. Utvrđena procjena pregleda po glavi ženskog djela stanovništva za Jugoslaviju iznosi o,61, Sloveniju o,76, Hrvatsku i Srbiju o,66, Makedoniju o,49, Bosnu i Hercegovinu o,41 i Crnu Goru o,33.

Prema našoj procjeni stope rendgen dijagnostičkih pregleda su veće u razvijenim, nego u nerazvijenim republikama.

Iz podataka prikazanih na tabeli broj 7 vidi se, da je broj rendgen dijagnostičkih pregleda po glavi stanovnika najveći u dobnoj skupini od 25-3o godina (1,o2), a zatim u dobnim skupinama 2o-24 godine (o,76) i iznad 3o godina (o,75). U populaciji muškaraca najviša frekvencija pregleda ustanovljena je također u dobnoj skupini 25-3o godina (stopa 1,15), zatim preko 3o godina (stopa o,84), a najniža u dobnoj skupini 0-4 godine (stopa o,38). I kod žena su najfrekventniji pregledi u dobnoj

skupini od 25-3o godina (stopa o,89), a najniži u dobnoj skupini od lo-14 godina (stopa o,33).

Uspoređujući populacije muškaraca i žena, vidi se da je jedino u dobnoj skupini od 0-4 godine frekventniji pregled kod ženskog stanovništva nego kod muškog, a u svim ostalim dobnim skupinama muškarci se češće podvrgavaju rendgen dijagnostičkim pregledima nego žene.

DISKUSIJA

Podaci o distribuciji rendgen dijagnostičkih aparata u zdravstvenim ustanovama, koju smo utvrdili u našoj zemlji, odstupaju od sličnih ispitivanja u drugim zemljama. Beekman (5) je npr. utvrdila u području Leidena da se 5o,5% rendgen dijagnostičkih aparata nalazi u bolnicama i klinikama, a Langhlin i saradnici (6) u SAD, da se 5o% ovih aparata nalaze u ordinacijama ljekara opšte prakse. Teško je na osnovu ovih podataka komentarisati prednost grupiranja rendgen dijagnostičkih aparata u određenoj vrsti zdravstvenih ustanova, pošto je organizacija zdravstvene službe među zemljama različita, pa čak i među pojedinim republikama u našoj zemlji. Međutim, ne smije se izgubiti iz vida činjenica, da su u bolnicama i klinikama koncentrisani manom kvalifikovani kadrovi i pretpostaviti da je i tehnika i zaštita u primjeni aparata bolja, a time i manje aplicirana doza pacijentu (7).

Broj rendgen dijagnostičkih aparata po pojedinim republikama i broj stanovnika po jednom aparatu ukazuje na tehničku opremljenost zdravstvenih ustanova, odnosno mogućnost korištenja ovog dragocjenog sredstva u dijagnostici bolesti.

Međutim, kao što smo iz naše ankete doznali, manji broj stanovnika po jednom dijagnostičkom rendgen aparatu ne znači istovremeno i veći obim upotrebe dijagnostičke rendgenologije. Pretpos-

tavljamo, da na ovo utiče više faktora od kojih su najvažniji: obim korištenja zdravstvenih usluga (odnos osiguranog i neosiguranog stanovništva), osposobljenost kadrova za korištenje aparata i kriterij za indikaciju upotrebe ovog dijagnostičkog metoda.

Rendgen dijagnostički pregled pluća najčešći je vid rendgen dijagnostičkog postupka, kako kod nas, tako i u drugim zemljama. Od ukupnog broja rendgenskih pregleda, na pregled pluća otpada u Velikoj Britaniji 48,52% (7), Švajcarskoj 61,3% (8) i Holandiji 5o,78(5). Posmatrano u svjetlu mogućeg somatskog i genetskog rizika, pregledi pluća mogu se tretirati dvojako. Oni po pravilu, ukoliko su tehnički dobro izvedeni, daju nisku gonadnu dozu, ali prema ispitivanju Spiers-a (9) visoku somatsku dozu koštane srži. Prema tome, limitacija velikog broja pregleda pluća, makar tehnički dobro izvedeni, bila bi mjera za smanjenje rizika eventualnih leukemija, naročito kod mlađeg stanovništva, a ne treba gubiti iz vida i njihov doprinos gonadnoj dozi.

U svim ispitivanjima koja su vršena u svijetu, dokazano je da dijaskopski pregledi daju znatno veće kožne, gonadne i koštano-moždinske radijacione doze, nego grafije. (2) Ovo je dalo povoda da se u nizu zemalja preporuči pretežno korištenje grafije pri pregledu pluća, a dijaskopije samo kad je neopgodno. (lo) Veliki udio dijaskopija pri pregledu pluća u našoj zemlji zahtijevao bi donošenje takvih preporuka i kod nas.

U okviru ovog ispitivanja nismo mogli doznati da li su svi izvršeni pregledi pluća bili indicirani. Pretpostavljamo, da je kriterij za ovaj dijagnostički postupak daleko blaži nego za druge. Na takvu pretpostavku nas upućuje analiza lo.582 rendgenskih pregleda pluća, koju je izvršio Teličko (ll) u jednoj zdravstvenoj ustanovi u SSSR-u. Prema njegovim ispitivanjima kod 2,5% slučajeva postojala je stroga medicinska indikacija za pregled, kod 2o% slučaja pregled je bio potreban na osnovu anamneza i prethodnih

nalaza, a kod 77,5% slučaja pregled pluća nije bio neophodan, jer su prethodni nalazi bili u radu i nije bilo opravdanih medicinskih indikacija za korištenje jonizujućeg zračenja u dijagnostici.

Veće učešće muškaraca u strukturi rendgen dijagnostičkih pregleda, iako ne predstavljaju većinu stanovništva (1967 godine u ukupnoj populaciji bilo je 49% muškaraca i 51% žena), vjerovatno je rezultat većeg angažovanja ovog dijela stanovništva u privredi. To je posljedica veće ekspozicije proizvodnim štetnostima i traumatizmu (pregledi ekstremiteta su frekventniji kod muškaraca), s jedne strane, a s druge i veće pogodnosti u korištenju zdravstvene službe.

Upoređujući naše rezultate sa rezultatima ispitivanja u drugim zemljama vidi se, da se kod nas znatno češće podvrgava rendgen dijagnostičkom pregledu stanovništva mlađih dobnih skupina, nego što je slučaj u drugim zemljama. U Švajcarskoj (8), stanovništvo do 3o godina učestvuje u ukupnoj sumi pregleda sa 26,7%, u Velikoj Britaniji (7) oko 36%, u državi New York (12), 2o,5% u Leidenu (5) oko 4o%, a kod nas kod muškaraca 47,4% i žena 45,6%. Ovaj podatak nas upućuje na eventualni veći genetski rizik kod našeg stanovništva zbog ozračivanja reproduktivne populacije.

Naročito upada u oči dobna skupina od 25-3o godina u kojoj se svaki muškarac više nego jedanput podvrgne nekom rendgen dijagnostičkom pregledu u toku godine.

Broj pregleda po glavi stanovnika utvrđen u našem ispitivanju nalazi se iznad nekih razvijenih zemalja, a također ispod niza zemalja kao što su Francuska, Izrael, Japan, Novi Zeland, Norveška, Švajcarska i USA (Tab. 1). Međutim, prilikom upoređivanja ovih rezultata treba imati u vidu da su rezultati spomenutih zemalja utvrđeni lo i više godina prije našeg ispitivanja, tj. u vrijeme kada je ovaj problem aktueliziran u svijetu i kada su

učinjeni napori da se limitira broj pregleda s jedne strane, a s druge, da su u taj sumar pregleda ušli i brojni rendgenski pregledi zuba, što kod nas nije slučaj.

ZAKLJUČAK

1. U vanbolničkim medicinskim ustanovama SFRJ nalazi se 75% od ukupnog broja rendgen dijagnostičkih aparata.

2. Procjenjeno je da je 1967 godine u SFRJ izvršeno 12.934.9oo rendgen dijagnostičkih pregleda. Od ukupnog broja tih pregleda na muškarce otpada 53,1% a na žene 46,9%. Procjenjeni broj pregleda po glavi stanovnika za čitavu teritoriju SFRJ iznosi o,65. U razvijenim republikama ova stopa se kreće od o,68 do o,95 a u nerazvijenim od o,38 do o,52.

Broj pregleda po glavi muškog stanovništva u republikama kreće se godišnje od o,42 (SRCG) do 1,oo (SRS1), a kod ženskog od o,33 (SRCG) do o,76 (SRS1.).

3. Od ukupnog broja pregleda na populaciju do 3o godina otpada kod muškaraca 47,4% a kod žena 45,6% pregleda. Procjenjeni godišnji broj pregleda po glavi stanovnika najveći je kod muškaraca i žena u dobnoj skupini od 25 do 3o godina (1,15 odn. o,89).

4. Najčešći rendgen dijagnostički postupak je pregled pluća pri kome se dijaskopija, kao metod pregleda, upotrebljava u 68% slučajeva.

BIBLIOGRAFIJA

1. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1958), Gen. Assembly Official Records, 13th Sess. Suppl. No 17 (A/3838), New York;
2. Public Health Responsibilities in Radiation Protection (1963), WHO, Technical Report Series, No 254, Geneva;
3. Morgan, R.H., (1963), American Ind. Hygiene 24:588-599;
4. Petrovčić, F., Margreitnek, K. (196o), Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 11. 34-52;
5. Beekman, Z.M. (1962), Geneticaly Significant Dose from Diagnostic Roentgenology, N.V. Drukkerij V/H Batteljee and Ferporta-Leiden;
6. Laughlin, I.S., Meurk, M.L., Pullman, I., Sherman, R.S. (1957), The American Journal of Roentgenology, 78:961-982;
7. Adrian Committee (196o), Radiological Hazards to Patients. Second Report of the Committee, London, Her Majesty's Stationery Office;
8. Seelentag, W. (1961), Deutsche Medizinische Wochenschrift, 86:2513-2523;
9. Spiers, F.W. (1962), Amer. Journal of Public Health, 52: 1377-1384;
1o. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1962), 17th Session suppl. (No 16/A/5216), New York;
11. Teličko, F.D. (1964), Voenomedicinskij žurnal, 11:74:76;
12. Heller, M.B. et all. (1964), American Journal of Public Health, 54:1551:1559;

Tab. 1.

Procjena godišnjeg broja pregleda po glavi stanovnika (prema Morganu) (14) dopunjeno

Z e m l j a	Period ispitivanja	Broj god. pregleda po glavi stanovnika		Masovni pregledi		Grafije	Total
		rtg. grafije	dijaskopije	grafije	dijaskopije		
Austrija	1955-58	o,o67	o,31	o,o25	o,o25	D	o,43
Buenos Aires	195o-59	o,27	D	o,o8	N	D	o,35
Kanada	1958	o,22	o,o3	o,o9	N	D	o,34
Danska	1956	o,26	F	o,14	N	o,o4	o,44
Hamburg	1957-58	o,56	F	o,13	N	o,o8	o,77
Francuska	1957-58	o,18	F	o,o4	o,57	D	o,79
Izrael	1959	o,3o	o,11	o,17	N	o,o2	o,6o
Japan	1957-8o	o,41	F	o,32	N	o,o1	o,74
Novi Zeland	1957	o,34	F	o,o9	N	o,34	o,77
Norveška	1958	o,39	F	o,21	N	o,1o	o,7o
Švajcarska	1957	o,31	o,34	o,13	o,o6	o,14	o,98
Velika Britanija (bez Nove Irske)	1957-58	o,28	F	o,o95	N	o,o4	o,41
USA	1955-56	o,25	o,o8	o,135	N	o,4o	o,86
SR Hrvatska	1957	o,11	o,54	o,o7	N	D	o,72

Tab. 2.

Diagnostički rentgen aparati u zdravstvenim ustanovama u 1967.[x]

Republika	Zdravstvene ustanove						
	Bolnice i klinike		Domovi zdravlja i medicinski centri		Zdravstvene stanice i ostale		UKUPNO
	Broj	%	Broj	%	Broj	%	
SRBiH	77	2o,4	114	2o,1	186	49,5	377
SRCG	5	5,6	6o	66,6	25	27,8	9o
SRH	155	21,2	285	39,o	29o	39,8	37o
SRM	3o	2o,o	95	63,3	25	16,7	15o
SRSl	11o	43,5	113	46,6	3o	11,9	253
SRS	225	27,9	435	54,o	145	18,1	8o5
SFRJ:	6o2	25,o	11o2	45,8	7o1	29,2	24o5

x Podaci iz republičkih ustanova koje vrše kontrolu izvora jonizujućeg zračenja.

Tab. 3.

Struktura rendgen dijagnostičkih pregleda u odnosu na vrstu pregleda i spol po republikama za 1967. (rezultati ankete vršene u vremenu od 9-16.10.1967).

Vrsta pregleda	Soc. Republika																	
	Bosna i Hercegovina			Crna Gora			Makedonija			Srbija			Hrvatska			Slovenija		
	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U
Kuk i femur (gornja trećina)	22	11	33	7	16	23	6	5	11	77	9o	167	85	173	258	8o	79	159
Femur (srednja i donja trećina)	5	2	7	1	2	3	7	5	12	31	15	46	18	15	33	22	15	37
Pelvis	-	-	-	3	2	5	3	2	5	48	68	116	51	63	114	15	12	27
Pelvimetrija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumbosakralna regija	13	6	19	3	2	5	9	11	2o	71	63	134	57	55	112	75	16	91
Lumbalna kičma	27	15	42	12	2	14	15	12	27	74	74	148	52	25	77	22	16	38
Urografija uključivo i.v. pijelografija	-	-	-	14	9	23	34	24	58	9o	64	154	32	39	71	1o	14	24
Retrogradna pijelografija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	13	3	6	9	-	-	-
Ureterocistografija	-	-	-	2	-	2	1	5	6	1o	1	11	6	2	8	9	5	14
Želudac i duodenum	77	44	121	43	35	78	158	168	326	43o	325	755	43o	266	696	149	113	262
Donji digestivni trakt	3	5	8	1	1	2	-	4	4	46	33	79	35	23	58	4	14	18
Abdomen (opšti pregl.)	26	13	39	7	12	19	-	1	1	38	37	75	35	55	9o	31	12	43
Abdomen (porod.pregl.)	-	-	-	-	1	1	-	2	2	-	1	1	-	19	19	-	3	3
Histerosalpingograf.	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	23	23	-	1	1	-	6	6

Tab. 1. - Nastavak.

Strukture rendgen dijagnostičkih pregleda u odnosu na vrstu pregleda i spol po republikama za 1967.
(rezultati ankete vršene u vremenu od 9-16.10.1967.)

Vrsta pregleda	Soc. Republika																	
	Bosna i Hercegovina			Crna Gora			Makedonija			Srbija			Hrvatska			Slovenija		
	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U	M	Ž	U
Holecistografija i holangiografija	11	8	19	5	6	11	3	11	14	27	67	94	32	61	93	13	50	63
Grudi (pluća, srce, ezofagus)	2107	1499	3606	103	88	191	736	570	1306	4430	3739	8169	2796	2144	4910	1448	1067	2515
Glava (uključivo i vratna kičma)	56	39	95	38	32	70	39	53	92	201	166	367	275	234	509	162	168	330
Grudna kičma	4	3	7	7	1	9	5	8	13	40	43	83	39	48	87	21	11	32
Grudni koš (rebro, sternum, klavikula, rame)	27	11	38	15	12	27	23	11	34	192	127	319	120	91	211	29	13	42
Ruka	86	28	114	29	11	40	75	28	103	326	178	504	459	218	677	45	24	69
Noga (osim femura)	73	23	96	29	19	48	69	30	99	352	213	565	353	240	593	91	65	156
Zubi	26	50	76	3	5	8	47	74	121	390	504	894	205	308	513	485	829	1314
Ukupno:	2570	1758	4328	323	255	578	1230	1024	2254	6883	5634	12717	5086	4080	9166	2711	2532	5243

Tab. 4.

Udio pregleda pluća u ukupnom broju rendgen diagnostičkih pregleda po republikama
(rezultati ankete SFRJ 1967 godine)

Socijalistička republika	Pregledi pluća			
	Broj pregleda	% od ukupnog broja rtg. pregleda	Pregledi pluća dijaskopijom	% od ukupnog broja pregledanih pluća
Bosna i Hercegovina	3606	83,1	1334	37,0
Crna Gora	191	33,0	131	68,0
Hrvatska	4940	55,0	3941	78,0
Makedonija	1306	58,0	946	72,0
Slovenija	2515	48,0	1933	77,0
Srbija	8169	64,0	5738	70,0
SFRJ:	20627	60,0	14023	68,0

Tab. 5.

Godišnja procjena frekvencije i struktura rendgen dijagnostičkih pregleda na teritoriji SFRJ na osnovu ankete iz septembra 1967.

Vrsta pregleda	Procjena broja pregleda						Ukupan broj pregleda		% pregleda od ukupnog broja pregleda
	Muškarci			Žene					
	Broj	Greška vjerovatnoće	%	Broj	Greška vjerovatnoće	% U	Broj	Greška vjerovatnoće U	
Kuk i femur (gornja trećina)	107300	± 1572	1,56	141000	± 3060	2,32	248300	± 2415	1,91
Femur (srednja i donja trećina)	36800	± 1235	0,53	12500	± 786	0,21	49300	± 1053	0,38
Pelvis	48300	± 876	0,70	60900	± 1656	1,01	109200	± 1292	0,84
Pelvimetrija	-	-	-	400	± 2808	0,006	400	± 2808	0,003
Lumbosakralna regija	77700	± 2372	1,13	64900	± 1375	1,07	142600	± 1979	1,10
Lumbalna kičma	85100	± 1235	1,24	64600	± 1011	1,06	149700	± 1151	1,15
Urografija (uključivo i i.v.pijelografija)	96600	± 1460	1,41	64800	± 1010	1,07	161400	± 1264	1,25
Retrogradna pijelograf.	3300	± 160	1,05	5000	± 199	0,08	8300	± 177	0,06
Ureterocistografija	10800	± 1404	0,15	7500	± 1291	0,11	18300	± 1347	0,14
Želudac i duodenum	471400	± 4857	6,85	420600	± 3903	7,02	892000	± 4408	6,90
Donji digestivni trakt	40600	± 1168	0,59	38800	± 1039	0,63	79400	± 1095	0,61
Abdomen (opšti pregled)	53900	± 783	0,79	59000	± 927	0,97	112900	± 864	0,87
Abdomen (perod.pregled)	-	-	-	6900	± 140	0,11	6900	± 140	0,05

Nastavak Tab. 5. Godišnja procjena frekvencije i strukture rendgen dijagnostičkih pregleda na teritoriji SFRJ na osnovu ankete iz septembra 1967.

Vrsta pregleda	Procjena broja pregleda								Ukupan broj pregleda		% pregleda od ukupnog broja pregledanih
	Muškarci			Žene							
	Broj	Greška vjerovatnoće	%	Broj	Greška vjerovatnoće	%	Broj	Greška vjerovatnoće			
Histeroselpinografija	-	-	-	11800	± 848	0,19	11800	± 848	0,09		
Kolecistografija i holangiografija	37600	± 525	0,55	72900	± 1488	1,12	110500	± 1207	0,85		
Grudi (pluća, srce, ezofagus)	4057400	± 17112	59,50	3533100	± 15977	58,20	7590500	± 16539	58,61		
Glava (uključivo i vratna kičma)	274000	± 3791	4,02	267800	± 2611	4,42	541800	± 3229	4,20		
Grudna kičma	45400	± 758	0,66	47000	± 814	0,78	92400	± 777	0,71		
Grudni koš (rebro, sternum, klavikula, rame)	182200	± 2022	2,68	111800	± 1292	1,95	294000	± 1713	2,26		
Ruke	424000	± 4914	6,20	206300	± 2443	3,40	630300	± 3905	4,88		
Noga (osim femura)	384400	± 4324	5,62	226400	± 2485	3,72	610800	± 3510	4,78		
Zubi	429000	± 7918	6,26	640100	± 12552	10,55	1069100	± 10558	8,25		
UKUPNO:	6863800		100	6069100		100	12934900		100		

Tab. 6.

Broj rentgenskih pregleda po glavi stanovnika po spolu i republikama u 1967.
(rezultati ankete vršene od 9-15.lo.1967) u hiljadama

Republika	Muškarci			Žene			Svega		
	Broj pregleda	Broj stanovnika	Pregledi po glavi stanovnika	Broj pregleda	Broj stanovnika	Pregledi po glavi stanovnika	Broj pregleda	Broj stanovnika	Pregledi po glavi stanovnika
SRBiH	11o4,5	1799	o,61	755,9	1868	o,41	186o,4	3667	o,51
SRCiG	1o8,5	258	o,42	87,1	262	o,33	195,6	52o	o,38
SRH	1695,6	2o63	o,82	1494,8	2251	o,66	319o,4	4314	o,75
SRM	426,8	776	o,55	372,2	754	o,49	799,o	153o	o,52
SRSl	8o2,7	8oo	1,oo	661,o	862	o,76	1463,7	1662	o,95
SRS	2727,7	3979	o,69	2698,1	4o69	o,66	5425,8	8o48	o,68
SFRJ:	6865,8	9675	o,71	6o69,1	1oo66	o,61	12934,9	19741	o,65

Tab. 7.

Broj rentgenskih dijagnostičkih pregleda po dobnim skupinama i spolu na teritoriji SFRJ u 1967. na osnovu ankete izvršene u septembru 1967. u hiljadama.

Dobna skupina	Muškarci			Žene			Ukupno		
	Godišnji broj pregleda	Broj stanovnika	Broj pregleda po glavi stanovnika	Godišnji broj pregleda	Broj stanovnika	Broj pregleda po glavi stanovnika	Godišnji broj pregleda	Broj stanovnika	Broj pregleda po glavi stanovnika
0 - 4	383,9	996	o,38	44o,6	937	o,47	824,5	1933	o,42
5 - 9	396,3	965	o,41	359,1	927	o,38	755,4	1892	o,39
1o -14	4o6,2	1o23	o,4o	326,7	976	o,33	732,9	1999	o,36
15 -19	657,4	933	o,71	445,5	898	o,49	11o2,9	1831	o,6o
2o -24	542,3	688	o,79	485,5	68o	o,71	1o27,8	1368	o,76
25 -3o	894,7	776	1,15	692,7	774	o,89	1587,4	155o	1,o2
preko 3o	3585,o	4294	o,84	3319,o	4874	o,68	69o4,o	9168	o,75
UKUPNO:	6865,8	9675	o,71	6o69,1	1oo66	o,6o	12934,9	19741	o,65

Nr. / 6 / 09

ZDRAVSTVENA SPOSOBNOST OSOBLJA PROFESIONALNO IZLOŽENOG JONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA U SR BOSNI I HERCEGOVINI

Dr Fadil Čerkez[x] i Dr Ajnija Ibrulj[x]

UVOD

U posljednje vrijeme sve veća pažnja se poklanja štetnom dejstvu jonizujućih zračenja koja može dovesti do somatskih oštećenja, kao što su eritem kože, gubitak dlake, katarakte, usporen rast kosti, oštećenja koštane srži, indukcija malignih tumora i genetičkih oštećenja. (6,11)

Polazeći od shvatanja da jonizujuća zračenja mogu dovesti do somatskih i genetskih oštećenja rezultirale su i mjere kod takve izloženosti i zaštite od zračenja, koje su regulisane preporukama i propisima od raznih internacionalnih i nacionalnih tijela (4, 5, 2, 12).

Nedavno je Hems (3) predložio i metodiku za detekciju zdravstvenih efekata jonizujućih zračenja pomoću studiranja raznih populacionih grupa. U istom smislu shvatajući značaj zaštite i kontrole profesionalne izloženosti jonizujućim zračenjima i u našoj zemlji ovaj problem je regulisan saveznim zakonom (7,8,9) kojim su propisane najveće dozvoljene doze, stručnoj spremi i zdravstvenim pregledima.

Saglasno pomenutim propisima naš Institut, kao ovlaštena ustanova (10) prati i registruje nalaze o zdravstvenom stanju lica koja su profesionalno izložena jonizujućim zračenjima u SR Bosni i Hercegovini.

---

x Institut za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta, Sarajevo.

U ovom radu autori su prikazali zdravstvenu sposobnost lica profesionalno zaposlenih u odjelu sa jonizujućim zračenjima za period od 1959-1969 godine.

METODIKA I MATERIJAL

Zdravstveni pregledi (Kriteriji o dužini intervala pregleda, kontraindikacije i evaluacije zdravstvene sposobnosti lica koja obavljaju poslove sa otvorenim ili zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja su regulisani osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja (7, 8) i Pravilnikom o zdravstvenim pregledima i o zdravstvenim uslovima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja (7).

Metodika naših pregleda od 1965 godine usaglašena je striktno pomenutim zakonskim propisima i Pravilnikom o zdravstvenim pregledima i to: vremenski interval pregleda je usaglašen čl. 2, prema kome se zdravstveni pregled obavlja jedanput godišnje za zdravstvene radnike koji rade sa rendgen aparatom, na kobalt terapiji, kao i sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja sa kojima se radi u laboratorijama III klase. Prema istom članu je regulisano da se zdravstveni pregledi obavljaju dva puta godišnje, ukoliko lica obavljaju poslove sa ostalim izvorima jonizujućih zračenja, ili ako su zaposlena lica bolesna od tuberkuloze pluća.

Članom 3 i 4 je regulisano pitanje vremenskog intervala zdravstvenih pregleda za lica koja se nalaze na školovanju ili stručnom usavršavanju za rad sa izvorima jonizujućih zračenja, prema kome se zdravstveni pregledi obavljaju nakon završetka školovanja. Ukoliko ovakvo školovanje ili stručno usavršavanje traje duže od jedne godine, tada se zdravstveni pregledi ovakvih lica obavljaju svakih 6 mjeseci.

Sa zatvorenim izvorima jonizujućih zračenja zabranjuje se rad licima koja saglasno članu 5 boluju od težih formi funkcionalnih neuroza, oboljenja krvotvornih organa, kanceroznih oboljenja, težih oboljenja srca i krvnih sudova, kroničnih kožnih oboljenja, ovarijalno-menstrualni poremećaji žena i od prekanceroznih stanja.

Sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja, prema članu 5 ovog Pravilnika ne mogu raditi lica sa kroničnim procesima u uhu i sinusima ili polipima u nosu. Lica koja namjeravaju da stupe na rad ili na školovanje, odnosno stručno usavršavanje sa izvorima jonizujućih zračenja, prema članu 7 moraju imati slijedeće hematološke standarde:

Broj bijelih krvnih zrnaca	od 4500	do 8000	
limfocita	od 23%	do 40%	
polimorfonukleara	od 50%	do 70%	

Broj crvenih krvnih zrnaca:

za muškarce	od 4.000.000	do 5.500.000	
za žene	od 3.500.000	do 5.000.000	
Index bojenja	od 0,9	do 1,1	

Broj trombocita ne smije biti manji od 200.000,krvarenje ne smije biti duže od 6 minuta.

Članom 8 je regulisano da lica koja se nalaze na radnim mjestima izloženim jonizujućim zračenjima, kao i za lica koja se nalaze na školovanju ili stručnom usavršavanju, moraju imati slijedeće hematološke standarde:

Broj bijelih krvnih zrnaca	4.000	do 1.000
Limfocita	20%	do 40%
Polimorfonukleara	40%	do 75%

Broj crvenih krvnih zrnaca:

za muškarce	3.800.000 do 5.500.000
za žene	3.500.000 do 5.000.000
Index bojenja	od 0,9 do 1,1

Broj trombocita ne smije biti manji od 150.000, a vrijeme krvarenja ne smije biti duže od 6 minuta.

Pri evaluaciji zdravstvene sposobnosti, pored pomenutih kriterija evidentira se takoder godina starosti pregledanih lica, dužina izloženosti zračenju i sl., što je u skladu sa članom 10 pomenutog pravilnika.

Podaci o zdravstvenim pregledima se registruju u dokumentaciji prema članu 7 Pravilnika o načinu i sredstvima evidencije pri radu na poslovima zaštite od jonizujućih zračenja (9), koji treba da sadrži podatke, kao što su: lično ime, godinu života, radno mjesto, vrstu izlaganja, ocjenu zdravstvene sposobnosti za rad na izvorima jonizujućeg zračenja i datum zdravstvenog pregleda.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na Tab. 1 smo prikazali brojno stanje, kvalifikacionu strukturu i zdravstvenu sposobnost lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima, koja su bila podvrgnuta zdravstvenim pregledima u SR Bosni i Hercegovini.

Kvalifikacionu strukturu zaposlenog zdravstvenog osoblja sačinjavaju ljekari specijalisti, ljekari opšte prakse, stomatolozi, zubni i rentgen tehničari, pomoćno osoblje i zubni asistenti, te rukovaoci sa radioizotopima u industriji.

Broj pregledanih lica za period od 1959 godine, pa naovamo je stalno rastao i kako se vidi u prvoj godini je pristupilo pomenutim pregledima 31 lice, dok je u 1969 godini bilo skoro 500.

Što se tiče broja u odnosu na djelatnost, medicinsko osoblje je najbrojnije. Unutar ove grupe po broju je bilo najviše pomoćnog osoblja. Također, znatan broj sačinjavaju lica koja rukuju sa radioizotopima u industriji i kako se vidi na tabeli njihov broj stalno raste.

Ukupni broj pregleda za period 1959-1969 godine je iznosio 3071.

Kriteriji u evaluaciji zdravstvene sposobnosti za rad sa jonizujućim zračenjima su bili usaglašeni sa Pravilnikom o zdravstvenim pregledima lica koja rade sa izvorima zračenja. (7)

Pored toga, prilikom utvrdivanja zdravstvene sposobnosti za rad sa izvorima jonizujućih zračenja, uzimali smo samo u obzir godine starosti, vrijeme provedeno na radu, dužinu izlaganja, veličinu jonizujućih doza zračenja i opšte zdravstveno stanje lica i sl.

Slijedeći pomenute kriterije od ukupno 3071 pregledanih, ustanovljeno je bilo 214 lica koja su bila privremeno ili stalno nesposobna za rad sa izvorima zračenja.

Od toga broja 96 su bile žene, a 118 muškarci.

Za period 1959-1961 godine nije bilo uopšte lica kojima je bio zabranjen rad sa zračenjima, dok je do 1965 godine bilo takvih lica samo 7. Broj zabrana u radu sa zračenjima se je povećao od 1965 godine, i to zbog toga, jer smo uskladili kriterije zdravstvene sposobnosti donesenim zakonskim propisima.

Kako se vidi na Tab. 1 u 1965 godini je bilo 9 lica nesposobnih za rad sa izvorima zračenja, 1966 - 8, 1967 - 80, 1968 - 51 i 58 lica u 1969 godini.

Za navedene slučajeve lica koja su pokazivala nezadovoljavajuće zdravstveno stanje, skladno zakonskim standardima (prikazano u našem radu na Tab. 1), nismo pravili diferencijaciju patoloških

SAMMARY

The authors present and discass the results of periodical examinations of persons exposed to ionising radiation in SR Bosna and Hercegovina during the period 1959-1969.

The method and criteria used for assessment of health standards are based on the national legislation and codes.

The results of the study are presented in one table.

In the period from 1959 to 1969, 3o71 persons were medically examined amongst these 214 were to be found temporavily or permanently unable to work with ionising radiation.

BIBLIOGRAFIJA

1. Čanić Z. i Fleischkacker M., (1969), Profesionalna oštećenja medicinskog osoblja izloženog jonizujućem zračenju u gradu Zagrebu, Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozija, o radiološkoj zaštiti, Svezak II, str. 788, Jugoslovensko društvo za radiološku zaštitu;

2. Department of Education and Science Ministry of Health (1964) Code of Practice for The Protection of Pcosons against Ionising Radiation, London, HžM.S.O.;

3. Hems, G., (1966), Detection of Effects of Ionising Radiation by Population Studies, Brit. Med. Journal, Vol. 12, 393-396;

4. International Atomic Energy (1962), Basic Safety Standards for radiation Protection. Wiena, International Atomic Energy Agency.

5. International Commision on Radiological Protection (1959), Recommendations of the International Commision on Radiological Protection, London, Pergamon Press;

6. National Acdemy of Science - National Research Council, Biological Effects of Atomic Radiation, Washington, B.C. 1956;

7. Službeni list SFRJ, br. 31/1965, str. 1199;

8. Službeni list SFRJ, br. 12/1965, str. 449;

9. Službeni list SFRJ, br. 52/1968, str. 1117;

1o. Službeni list SFRJ, br. 21/1967;

11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Report Assembly Official Records Supl. 17, New York;

12. U.S. National Bureau of Standards (1955), X-Ray Protection Handbook 6o. Washington, D.C.M.S. Concorment Printing Office.

Tab. 1.

Broj, kvalifikaciona struktura i zdravstvena sposobnost lica izloženih jonizujućim zračenjima u periodu 1959-1969 godine.

Godina	Ljekari specijalisti		Ljekari opšte prakse		Rentgen tehničari		Pomoćno osoblje		Rukovodioci izvorima zračenja u industriji		Zubari i stomatolozi		Ukupno		Ukupno		Broj lica nesposobnih za rad		
	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	m	ž	u
1959	3		6	2	3	2	4	5	6	-	-	-	22	9	31		-	-	-
1960	15	4	34	4	25	16	20	16	16	1	-	-	110	41	151		-	-	-
1961	19	4	42	8	6	9	16	16	15	2	-	1	98	40	138		-	-	-
1962	5	4	13	-	12	5	9	6	13	1	7	1	60	17	77		-	1	1
1963	23	3	38	5	20	10	8	27	25	2	12	72	176	54	180		-	2	2
1964	24	6	26	2	26	21	22	23	53	1	6	4	157	52	214		2	3	5
1965	38	10	58	13	39	24	24	24	60	2	12	8	213	72	292		4	5	9
1966	39	11	61	18	41	30	32	26	73	3	14	11	260	99	359		5	3	8
1967	40	5	117	19	49	5	106	110	149	6	48	5	502	150	652		37	43	80
1968	40	6	86	8	26	8	88	69	116	4	26	7	382	102	484		24	27	51
1969	15	5	87	15	29	5	108	51	162	1	10	15	411	82	493		24	34	58
Ukupno:	261	58	568	94	276	135	437	373	688	23	135	49	2341	718	3071		96	118	214

STEPEN PROFESIONALNIH EKSPOZICIJA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU U SR BOSNI I HERCEGOVINI ZA PERIOD 1969. GODINE

Dr Fadil Čerkez[x] i Dr Ajnija Ibrulj[x]

UVOD

Od početka ovog stoljeća, pa na ovamo dobivene su znatne informacije o biološkom efektu jonizujućih zračenja. Prema relevantnim izvještajima eksperata o biološkom dejstvu jonizujućih zračenja (United Nations Scientific Committee i Medical Research Council), ustanovljeno je da se štetne posljedice mogu manifestovati i kao somatska i genetska oštećenja (5)(9). Prema istim autorima, vrsta i učestalost, stepen oštećenja organizma ovisne od veličine primljenih doza jonizujućeg zračenja.

Polazeći od takvih shvatanja došlo je do primjene stroge kontrole u izloženosti svih lica zaposlenih sa izvorima jonizujućeg zračenja. Ovakvo organizovanoj kontroli je prethodila izrada preporuka i propisa od internacionalnih i nacionalnih organizacija. U značajne autore ovih preporuka spadaju Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP), Internacionalna agencija za atomsku energiju (IAEA) i eksperata Komiteta za zračenje Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) (1, 2, 1o).

Ove organizacije se ističu u izradi preporuka i standarda koji se odnose na sve probleme radiološke zaštite. U pogledu izrade zakonskih propisa kojima se reguliše zaštita i ograničenja izloženosti jonizujućim zračenjima u značajne autore na nacionalnom nivou spadaju propisi Ministarstva zdravlja i Ministaratva rada

---

x Institut za higijenu i socijalnu medicinu, Medicinski fakultet, Sarajevo

Velike Britanije (3, 4), te Nacionalni biro za standarde Sjedinjenih Američkih Država (6).

Ograničenje profesionalnih ekspozicija jonizujućim zračenjima u većini zemalja se zasnivaju na prilagođavanju standarda maksimalno dozvoljenih ekspozicija koje je izradila Međunarodna komisija za radiološku zaštitu. (ICRP) (2).

Naša zemlja se u principu pridržava međunarodnih standarda maksimalnih doza zračenja za profesionalnu ekspoziciju. Detaljnija objašnjenja su formulisana čl. 1 i 2 Pravilnika o dozvoljenim dozama jonizujućih zračenja (7), prema kojima uniformna zračenja po tijelu mogu biti:

a/ u toku jedne nedelje do o,1 rema;
b/ u toku 13 uzastopnih nedelja do 3 rema;
c/ u toku jedne godine do 5 rema.

Shvatajući značaj zaštite i kontrole izloženosti jonizujućim zračenjima u našoj zemlji, ovaj problem je regulisan. Saveznim zakonom (7) i saglasno čl. 6 i 7 sva lica profesionalno zaposlena na izvorima jonizujućih zračenja dužna su biti pod kontrolom o količini primljenih doza jonizujućih zračenja.

Saglasno sa pomenutim propisima Institut za higijenu i socijalnu medicinu kao ovlaštena ustanova (8) provodi tehnikom filmske dozimetrije kontinuiranu kontrolu primljenih doza jonizujućih zračenja kod lica zaposlenih sa izvorima jonizujućih zračenja, u SR Bosni i Hercegovini.

Na osnovu analize dokumentacije filmske dozimetrije, ustanovili smo da je u toku 1969 godine 883 lica zaposlenih na izvorima jonizujućih zračenja.

U ovom radu autori su prikazali stepen izloženosti jonizujućim zračenjima profesionalno izloženih lica za period 1969 godine.

METODIKA I INSTRUMENTACIJA

Jonizujuća zračenja predstavljaju energiju koja pri interreakciji sa materijom sa kojom dolazi u kontakt izaziva razne efekte, kao što su kemijske promjene, toplota, fluorescencija, osvjetljenje filma i sl. Upravo na tom principu interreakcije jonizujućih zračenja sa određenom materijom koriste se metode detekcije i mjerenja količine jonizujućih zračenja.

Pri određivanju primljenih doza u našem Institutu se koristi metoda filmske dozimetrije.

Metodika mjerenja doza zračenja pomoću filmske dozimetrije polazi od poznate činjenice da se fotografski film zacrnjuje i to srazmjerno količini zračenja kojoj je izložen.

Adox dosis film sastoji se od dva filma i to jednog osvjetljenog za područje od 2 mr - 2o mr i drugog preko 2o mr. Filmovi se nalaze u kaseti od bakelita u kojoj su ugrađena 3 različita debela bakarna filtra debljine o,o5 mm, o,5 mm i 1,2 mm i olovnih pločica za određivanje pravca ekspozicije.

Prije početka filmdozimetrijskih ispitivanja ozračeni su kontrolni standardni filmovi sa potrebnim energijama zračenja.

Za mjerenje doza, kojima smo izlagali standardne filmove, koristili smo instrument "Victoreen" model 57o, sa jonizacionim komorama.

Mjerenje zacrnjenja na filmovima smo vršili univerzalnim denzitometrom "Evans Electroselenium Limited", model "A", koji se sastoji od svjetlnsnog izvora u osnovi i fotoćelije u pokretnom kraku, te osjetljivog mikroampermetra, čija je skala baždarena u decimalnim vrijednostima optičkog zacrnjenja.

Pomoću denzitometra izrađene su kalibracione krivulje, a zatim očitavana zacrnjenja na filmu koji se upotrebljava od strane korisnika.

Pomoću kalibracionih krivulja izračunate su primljene doze za svaki film. Detaljni prikaz metodike i instrumentacije je opisan u radu Žarković, Knežević (11).

REZULTATI I DISKUSIJA

Na Tab. 1 prikazano je brojno stanje korištenja filmske dozimetrije u kontroli stepena profesionalne izloženosti jonizujućim zračenjima u SR Bosni i Hercegovini za period 1959-1969 godine. Tab. 2 prikazuje broj i strukturu korisnika po spolu i djelatnosti za period 1969 godine.

Tab. 3 prikazuje broj, strukturu po spolu i djelatnosti i veličini godišnjih doza zračenja primljenih za period 1969 godine. Kako se vidi na Tab. 1 broj lica obuhvaćenih filmskom dozimetrijom je u stalnom porastu, pošto je u 1959 godini bilo svega 19o lica, a 1969 je 883.

Upotreba jonizujućih zračenja kako se vidi na Tab. 2 se sreće u zdravstvenoj industriji i naučno-istraživačkoj djelatnosti. U pogledu brojnosti zdravstveni radnici predstavljaju najveću grupu lica koja su izložena jonizujućim zračenjima (83,9%), potom slijede industrijski radnici (1o,6%) i naučno-istraživačko osoblje svega 5,5% od ukupno pregledane populacije.

U pogledu spolne strukture među zaposlenim preovlađuju muškarci, jer od 883 lica kontrolirana filmskom dozimetrijom, 641 su muškarci, a samo 192 žene.

Stepen izloženosti jonizujućim zračenjima za period 1969 godine je prikazan na Tab. 3. Primljene doze zračenja za pojedina lica smo prikazali u rasponu 0-1o milirentgena, 11-1oo, 1o1-5oo, 5oo-5ooo i 5oo1 i više.

U pogledu veličine doze zračenja od ukupno 883 kontrolisanih 78o lica (88,4%) su primili doze zračenja do 1o mr, 77 lica

(8,7%) od 11-100, 16 lica (1,8%) od 101-500, 2 lica (0,2%) od 501-1000, 4 lica (0,45%) od 1001-5000 i preko 5001 milirentgena je bilo 4 (0,45%) lica.

Prema tome, prekoračene maksimalno dozvoljene doze jonizujućih zračenja preko 5 smo utvrdili samo kod 4 lica zaposlena u zdravstvenim ustanovama.

ZAKLJUČAK

1. Zahvaljujući savremenim shvatanjima o štetnom dejstvu jonizujućih zračenja i afekvatnim zakonskim propisima kojima se obavezno kontrolišu doze zračenja, onemogućena su prekomjerna izlaganja i time prevenirana zdravstvena oštećenja koja bi zračenja mogla proizvesti.

2. Broj lica kod kojih se provodi kontrola i mjerenje doze izlaganja jonizujućim zračenjima za period 1969 godine je bilo 883.

3. Najveći broj lica zaposlenih sa izvorima jonizujućih zračenja predstavljaju medicinski radnici.

4. Najveći broj od kontroliranih lica (780) su primili minimalne doze zračenja do 10 mr.

5. Samo 4 lica su primila doze zračenja od 1001-5000 mr, a 4 prekoračene maksimalno dozvoljene doze od 5 rentgena.

6. Znatan broj tj. 46 lica registrovanih kod službe filmske dozimetrije nije dostavljao filmske dozimetre na obradu i očitavanje.

REZIME

Autori u ovom radu izvještavaju o stepenu profesionalnih ekspozicija jonizujućim zračenjima u SR Bosni i Hercegovini. Za period od 1959-1969 godine kontrola i mjerenje primljenih doza zračenja obavlja se pomoću filmskih dozimetara.

Principi metodike mjerenja daju se prikazati.
Rezultati studije su prikazani u 3 tabele.

Utvrđeno je da većinu kontrolisanih lica primaju znatno manje doze od maksimalno dozvoljenih, dok je bilo samo 4 lica koja su primila prekoračene doze.

SUMMARY

The authors report on the information obtained about occupational exposures to ionising radiation in Bosnia and Herzegovina during 1969. The measurement of the doses received were obtained through a film dosimetric - service. The principles of the method are also presented. The results of this survey are presented in three tables. The conclusion reached, is that in general, occupational exposed workers often recesive much less than the maximum permissibile dose, but sometimes approach this amount and occasionally exceed it.

BIBLIOGRAFIJA

1. International Atomic Energy Agency (1962), Basic Safety Standards for Radiations Protection, Vienna, International Atomic Energy Agency;

2. International Commision on Radiological Protection (1959), Recommandation of the International Commision on Radiological Protection, London, Pergamon Press;

3. Ministry of Health (1964), Code of Practice for the Protection of Persons against Ionising Radiations from Medical and Dental Use, H.M.S.O., London;

4. Medical Research Council, 196o, The hazards form the Production of Perbons radiations. Ionising Report H.M.S.O. London;

5. Regulation of Radiation Exposure by Leguslative Means, National Bureau of Standards Handbooks 61, Government Printing Office

6. Službeni list SFRJ, br. 31/1965. Pravilnik o dozvoljenim dozama jonizujućih zračenja kojima mogu biti izložena lica koja rade sa izvorima tih zračenja, str. 1199.

7. Službeni list NRBiH, broj 21/1967;

8. United Nations Scientific Committee on the Effects of A omic Radiations (1962), Report New York, United Nations;

9. World Health Organisation (1961), Ionising Radiations and Health, Public Health Report 6, Geneva;

1o. Žarković G., Knežević Z., (196o), Profesionalna izloženost zdravstvenih radnika jonizujućim zračenjima u BiH, Medicinski arhiv 6.

Tab. 1.

Pregled broja lica obuhvaćenih filmskom dozimetrijom za period 1959-1969 godine.

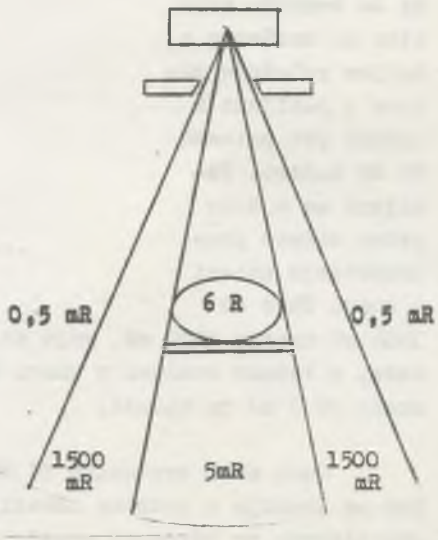
Godine	1959	196o	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Broj korisnika	19o	273	3o7	399	462	588	6o7	783	812	83o	883

RENDGEN APARAT SA TELEVIZISKIM EKRANOM ZA SKOPIJU PLUĆNIH BOLESNIKA I DOZE ZRAČENJA PRI PROSVETLJAVANJU SA PRIMENOM KLASIČNOG FLUORESCENTNOG EKRANA

IGNJATOVIĆ S.

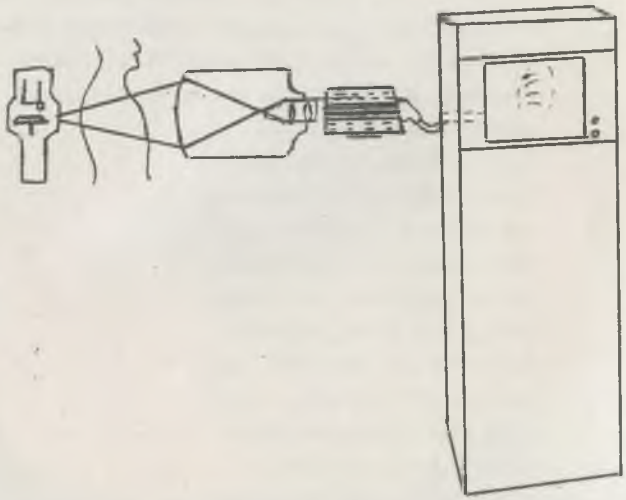
"Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu" - Beograd

Problem radiološke zaštite za radno mesto lekara pri RŠ skopiji bolesnika nije potpuno rešen postavljanjem ekrana od olovnog stakla i gumene zavese. Slučaj koji smo uzeli u razmatranje, pokazuje da navedene zaštitne mere nisu dovoljne. Naime, na Univerzitetskim klinikama za plućne bolesnike pregled na RŠ aparatu se vrši komisiski i u cilju instrukcije mladjim lekarima. Veći broj lekara, u tom slučaju, stoji u polukrugu oko ekrana i posmatraju sliku koja se projektuje sa pacijenta na ekran. Kako je praksa pokazala potrebno je pogledati čitav plućni sistem, te se zato ostavlja pun otvor blende za propuštanje snopa rendgenovog zračenja. Ovaj snop, u tom slučaju, prelazi okvire ekrana povećavajući procenat rasutog zračenja. Na taj način su i lekari koji stoje u polukrugu izloženi većem intenzi-



tetu ovog zračenja. Na šemi 1. date su doze zračenja iza ekrana i na mestima u polukrugu radijusa 1 m. Kao što se iz šeme vidi ove doze na mestu pacijenta iznose 6000 mR/minut, a na polukrugu od 0,1 do 1 mR/minut.

Primenom televiziskog Rö aparata ovo se stanje, sa aspekta radiološke zaštite, veoma popravilo. TV Rö aparat ima standardni uredjaj za televiziski prenos slike koja se stvara na fluorescentnom ekranu (šema 2). Obzirom da je primenjen i pojačivač slike, to je moguće umanjiti fluks X-zračenja, a time i dozu zračenja. U našem slučaju, sa klasičnim Rö aparatom struja prosveljavanja (anodna struja u rendgenskoj cevi) je bila 2,5 mA, dok se na TV Rö aparatu ona smanjila na 0,7 mA.



Iz gornjih podataka vidimo da se sa aspekta zaštite od zračenja u boljem položaju nalaze i pacijent i lekari pri primeni TV Rö kamere. Pacijent se u toku jedne minute prozračavanja nalazi u snopu doze od 3000 mR umesto 6000 mR, koje bi primio kod klasičnog rendgen aparata, a lekari stažeri u snopu doze od 0,2 mR po minuti umesto u snopu od 1 mR po minuti.

Osim ovih prednosti TV Rö aparat pruža i druge pogodnosti. Rad se obavlja u potpuno osvetljenoj prostoriji. Lekar ne gubi svakodnevno po petnaest minuta na adaptaciju očiju na mrak. Pa-

cijent koji ulazi u mračnu prostoriju postaje uznemiren - zbunjen, a deca se najčešće uplaše i rasplaču. Kod TV rendgena tih slučajeva nema. Lekar je u mogućnosti da vidi lice pacijenta i istovremeno da posmatra njegovu patologiju na TV ekranu. Najzad da spomenemo da uredjaj dozvoljava kuplovanje dva i više TV ekrana, tako da grupa lekara koji su na praksi ne moraju stajati uz sam rendgen aparat već 10 m. dalje kraj drugog ekrana ili čak u drugoj prostoriji.

LITERATURA: La Télévision Radiologique: son Développement en France, M.Noix

Entwicklung und Stand der Röntgenbildverstärkung und des Röntgenfernsehens, R.Janker

Automation und Automatization in der Diagnostik, Plaats

Nr /6/15

MERE RADIOLOŠKE ZAŠTITE KOD RADIOTERAPISKOG BETATRONA OD 42 MeV

VUJNIĆ V., MERKAŠ Z.

RADIOLOŠKI INSTITUT MEDICINSKOG FAKULTETA U BEOGRADU

DIREKTOR: PROF.DR.ZLATKO MERKAŠ

Kod akceleratora visokih energija, koji se koriste u radioterapiji,potrebno je rešiti više problema iz oblasti radiološke zaštite i tehničke zaštite uopšte.

Osnovni zadaci su: dimenzioniranje zidova za zaštitu od rasutog X zračenja i neutrona,raspored prostorija,ventilacija i klimatizacija prostorija,prigušenje buke koja nastaje radom mašine i vizuelni kontakt sa bolesnikom.

U saopštenju su razmatrana rešenja prihvaćena kod Siemens betatrona od 42 MeV,čije je korišćenje počelo avgusta meseca 1970 godine pri Radiološkom institutu u Beogradu.

UVOD: Puštanje u rad akceleratora visokih energija i obezbedjenje pogodnih i bezbednih radnih uslova predstavlja vrlo složen zadatak.

Projektovanje prostorija za smeštaj radioterapiskog betatrona od 42 MeV pri Radiološkom institutu u Beogradu trajalo je 2 godine, a izvodjenje gradjevinskih radova,montaža uredjaja i dozimetrijska merenja završeni su za 12 meseci.

Pre početka rada na projektu trebalo je doneti odluku o lokaciji betatrona,vodeći računa o postojećim zgradama i raspoloživom gradjevinskom gabaritu.Sledeći korak je bio u okviru gabarita izvršiti raspored prostorija,vodeći računa o svim službama potrebnim za uspešno korišćenje radioterapiskog akceleratora kao i o pravcima kretanja bolesnika i osoblja.

Posle tih bitnih odluka posao je prepušten arhitekti sa kojih je održavan neprekidan kontakt. Bunker za betatron je projektovan u saradnji sa Siemens-om i po završetku projekta dobivena je saglasnost instituta "Boris Kidrič".

Projekat bunkera za betatron morao je da reši problem debljine zidova, ventilacije i klimatizacije, prigušenja buke koja nastaje u toku rada mašine kao i vizuelni kontakt sa bolesnikom (1).

RADIOLOŠKA ZAŠTITA OKO BETATRONA. Položaj betatrona i veličina bunkera daju podatke o distancama od zračnoga snopa do pojedinih tačaka u susednim odelenjima i vanjskom prostoru /Sl. 1, Sl. 2/.

Proizvodjač garantuje izvesne brzine doze zračenja kod maksimalne energije od 42 MeV i na 1 m distance od akceleratorske cevi betatrona, a takodje i brzine doze u pravcima izvan zračnoga snopa /Sl. 3/.

Kada je reč o radioterapiskom akceleratoru koji se koristi za zračenje bolesnika, moguće je proceniti maksimalno vreme zračenja potrebno za terapiju oko 100 bolesnika dnevno. To vreme iznosi manje od 60 časova mesečno /petodnevna radna nedelja/.

Gornji podaci su dovoljni da se odrede maksimalne brzine doza zračenja u svim tačkama u okolini betatrona. Poznajući te doze zračenja i uzimajući u obzir maksimalne dozvoljene doze zračenja, moguće je naći faktor za koji treba oslabiti zračna polja da bi omogućili bezbedan rad akceleratora. Npr. kod komandnog stola, koji se nalazi na 6 m od donata, doza zračenja nesme da predje vrednos od 2 mR/h (1). Proizvodjač garantuje na 1 m distance od donata maksimalno 36.000 R/h, i to može da traje najduže 2 časa u toku radnog vremena od 7 časova.

Obzirom na distancu od 6 m, gornja doza zračenja opadne za 36 puta. Prema tome samo povećanje distance svelo je dozu zračenja od 36.000 R/h na 1.000 R/h; što je od 2 mR/h još uvek veće za faktor 5×10^5 - tj. treba upotrebiti takvu debljinu barijere koja će 500.000 puta oslabiti zračenje. To je razume se veoma visok faktor slabljenja, koji bi zahtevao barijere debljine nekoliko metara običnog armiranog betona. Zidovi takve debljine jako bi smanjili raspoloživi prostor oko akceleratora, da bi se to izbeglo upotrebljen je teški baritni beton. Baritni beton koji je kod nas korišćen ima specifičnu težinu od 3,3 gr/cm^3, tj. 41 % više nego obični beton (običan beton - 2,34 gr/cm^3). Time su i debljine zidova načinjenih od barita smanjene za faktor 141/100 u odnosu na debljine potrebne kod običnog betona.

Za odredjivanje debljine barijere korišćen je obrazac: $A_d = A_o\, e^{-ud}$, gde je A_x propušteno zračenje, A_o upadno zračenje, u linearni apsorpcioni koeficijent za X zrake od 42 MeV i baritni beton gustine 3,3 gr/cm^3 ($u=0{,}09$ cm^{-1}), d debljina baritnog betona u cm. Ukoliko se uzme da je $A_o = 1$, onda A_x treba da ima vrednost od 1/F, gde je F faktor slabljenja.
Npr. $1/500.000 = e^{-0{,}09\, d}$, rešenjem se dobije d=146 cm, tj. potrebno je 146 cm baritnog betona pa da direktni snop zračenja od 42 MeV i 36.000 R/h/m svedemo na 2 mR/h na distanci od 6 metara. Isti postupak je ponovljen za sve zidove. Na Tabeli 1 date su vrednosti za neke tačke.

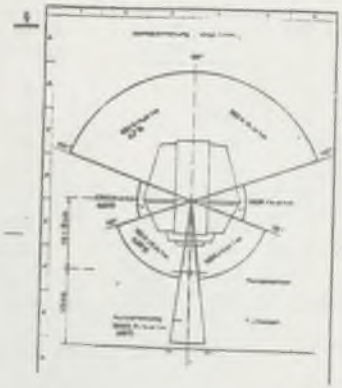
Medjutim, od 100 bolesnika koji se mogu zračiti u toku jednog dana, samo 50 njih može da se zrači u jednoj smeni, a najviše jedna četvrtina bolesnika biće zračena sa maksimalnom energijom od 42 MeV - što znači da uslovi pod kojima je izračunata zaštitna barijera predstavljaju takve ekstreme, da skoro nikada u praksi neće da se ostvare. Mogao bi se napraviti zaključak da

je zaštita možda predimenzionirana, ali ima nekoliko drugih razloga koji su zahtevali takvo rešenje. U prvome redu to je aktivacija bolesnika, zidova, kolimatora kao i vazduha, koja je utoliko veća ukoliko je ~~ukoliko je~~ veća energija zračenja. Npr. kolimator, tubus, bolesnik, terapiski sto se aktiviraju do te mere da posle ozračivanja bolesnika pokazuju i do 10 mR/h. Ova aktivacija je kratko živuća i već posle 10 minuta opadne na nemerljiv nivo, ali ipak doprinosi dozi zračenja na osoblje. Aktivacija je posledica postojanja neutrona nastalih fotonuklearnom reakcijom. Fotonuklearna reakcija je poznata kod više od 20 elemenata, kao npr.: O^{16}, N^{14}, C^{12}, Cu^{63} itd, za većinu elemenata prag reakcije je kod energije iznad 10 MeV. Izbacivanjem neutrona skoro svi elementi postaju pozitronski emiteri, sa vremenima poluraspada od nekoliko sekundi do nekoliko minuta. /Tabela 2/.
Pošto su elementi nastali aktivacijom pozitronski emiteri, to dolazi do pojave gama zračenja sa energijom od 0,51 MeV. To gama zračenje dolazi iz bolesnika, kolimatora itd. i doprinosi dozi zračenja na osoblje (2).

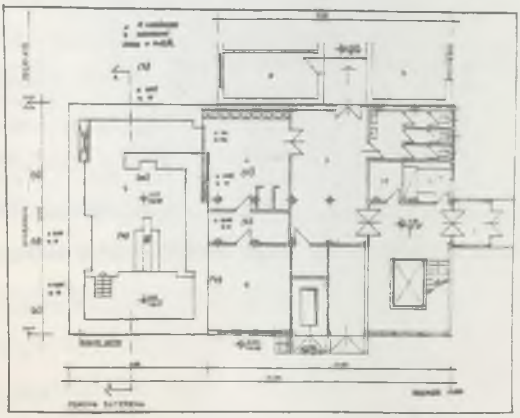
Važniji i opasniji je fluks neutrona koji dostiže i do 10^6 n/sek/cm^2 u neposrednoj blizini mašine. Baritni zidovi su dovoljna zaštita i od ovog neutronskog fluksa. Nastali neutroni imaju energiju od oko 14 MeV i uspore se na termalne energije posle prolaska kroz baritne zidove u kojima se nalazi dovoljna količina vodonika, koji služi kao moderator. Vodonik u betonu je zapravo vodonik u hemiski vezanoj vodi. Prema tome zaštita od X zračenja je dovoljna i kao zaštita od neutrona. Izuzetak predstavljaju vrata za ulazak u bunker. Ona su morala da budu načinjena od parafina u debljini od 31 cm. Parafinu je dodavan boraks radi zahvata usporenih neutrona.

Na osnovu ovakvih mera zaštite mogle su se očekivati doze

Sl.1 Situacija



Sl.3 Garantovane maksimalne brzine doza u okolini betatrona /Siemens/.



Sl.2 Raspored prostorija i izmerene doze zračenja.

TABELA 1

Zid Br.	R/h/m	M.D.D.Z mR/h	Rastojanja u metrima	Faktor slabljenja	Debljina barijer izračunata	odab
Z 1	36.000	2	6,0	500.000	149	150
Z 2	960	2	4,8	20.800	113	100
Z 3	960	7	8,0	2.140	87	95
Z 5	960	7	4,1	8.150	102	90
Z 6	36.000	2	5,2	665.000	151	150
Z 7	960	2	4,3	26.000	115	100
Z 8	100	2	5,6	1.600	84	100
T 9	960	0,7	2,7	188.000	137	137
T 10	960	0,7	4,2	77.800	127	100

DEBLJINE ZIDOVA BUNKERA ZA BETATRON

/ Energija zračenja: X zraci 42 MeV, baritni beton 3,3 gr/cm^3,60 h zračenja mesečno/,

TABELA 2

Elementi	Reakcija	Prag energije u MeV	Poprečni presek cm^2/atom,x10^{-24}	$T_{1/2}$	Energija elektron/- Pozitron/
C^{12}	/γ,n/	18,6	0,013	20,5 min.	+ 0,99 M
N^{14}	" "	16,5	0,030	10,1 "	+ 1,24
O^{16}	" "	15,6	0,011	118 sec	+ 1,68 "
Cu^{63}	" "	10,9	0,10	9,9 min.	+ 2,83 "

/ PRAG ENERGIJE X ZRAČENJA KOD NEKIH FOTONUKLEARNIH REAKCIJA/

zračenja ispod maksimalnog dozvoljenog nivoa što su merenja i pokazala (Sl. 2).

VENTILACIJA I KLIMATIZACIJA. Ventilacija prostorije za zračenje je bitna ne samo iz razloga što je to zatvoren prostor, već naročito zbog pojave radioaktivnih gasova nastalih kao posledica fotonuklearne reakcije, kao i pojave ozona nastalog zbog jake jonizacije vazduha sa elektronima. Predvidjeno je 6 totalnih izmena klimatizovanog vazduha na svaki čas. Zbog režima rada uredjaja relativna vlažnost vazduha je podešena na 70%. Prilikom rada betatrona jedan deo vazduha iz prostorije koristi se za hladjenje magneta betatrona i tada se broj izmena vazduha povećava za oko 10%. Ova brzina izmene potpuno eliminiše nastale radioaktivne gasove O^{15} i N^{13} kao i ozon. Klima uredjaj se nalazi u samoj prostoriji za zračenje, uklopljen u plakar u zidu, što se pokazalo kao veoma funkcionalno rešenje.

PRIGUŠENJE BUKE. Oko betatrona se formiraju zvučni šumovi koji dostižu i do 90 dB i nastaju uglavnom zbog cirkulacije vazduha za hladjenje magneta betatrona. Radi većeg komfora bolesnika koji se zrače potrebno je ublažiti taj zvuk. Apsorpcija zvuka je postignuta na zadovoljavajući način postavljanjem tapisona na pod, i oblaganjem zidova sa specijalnim dekaterm pločama koje upijaju i do 90% zvučnih šumova.

VIZUELNI KONTAKT SA BOLESNIKOM. Najracionalniji način za posmatranje bolesnika bio je u našem slučaju televiziski sistem koji se sastoji od kamere i monitora. Prozori od olovnog stakla ili od rastvora soli teških metala nisu dolazili u obzir zbog velikih debljina zidova. Nedostatak TV sistema je mogućnost kvara i gubljenja kontakta sa bolesnikom. Medjutim, prednosti su velike a naročito se ističe mogućnost fokusiranja kamere na deo tela bolesnika, što olakšava kontrolu imobilnosti za vreme zračenja.

ZAKLJUČAK. Zadatak je bio planirati lokaciju i raspored prostorija radioterapiskog betatrona od 42 MeV, zatim odrediti: debljine zaštitne barijere od baritnog betona, režim ventilacije i klimatizacije prostorija, način prigušenja zvučnih šumova koji nastaju u toku rada mašine i sistema za vizuelni kontakt sa bolesnikom.

Posle završetka izgradnje i kalibracije uredjaja izvršena su merenja doza zračenja u okolini i konstatovano je da su sve mere radiološke i tehničke zaštite osoblja i bolesnika sprovedene u potpuno zadovoljavajućem obimu. Ovo je omogućilo da se po prvi put u našoj zemlji otpočne sa terapijom malignoma uz korišćenje brzih elektrona energije od 5 do 42 MeV i X zračenja od 42 MeV.

Kt/6/16

ZAŠTITA BULBUSA KOD IRADIJACIJE SUSJEDNIH REGIJA SA TELEGAMA UREDJAJEM

I. Voskresensky, V. Voskresensky

Nr/6/16

ZAŠTITA BULBUSA KOD IRADIJACIJE SUSJEDNIH REGIJA SA TELEGAMA UREĐAJEM

Dr. Voskresensky I. i Dr. Voskresensky V.
Iz Zavoda za kliničku onkologiju i radioterapiju i očne klinike Medicinskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

UVOD

Veliki problem u tehnici zračenja malignih tumora glave sa Röntgen dubokom terapijom predstavljala je zaštita oka. Zbog toga su se i tehnike zračenja mijenjale, kako bi se što manje oštetio vid pacijenta, a zadovoljila doza zračenja malignog tumora. Sve to bilo je teško postići Röntgen terapijom zbog toga, što je postojala neoštra granica zračenog polja, (velika apsorpcija X zraka i veliko ionizantno zračenje okoline, te znatno sekundarno zračenje). Taj je problem ponukao Hellriegela (1) 1956g. da nam izračuna, koliko je iznosilo sekunderno zračenje u okolini od ruba zračenog polja.

Ustanovilo se da je doza i do cca. 500 R na datih 10.000 R. 1 cm. od ruba polja, (površine 50-100 cm^2). Na 2 cm. i do 50 R. na datih 10.000 R., kod iste vel. polja. Kod većih udaljenosti bulbusa od ruba polja doza naglo opada.

Iz toga možemo zaključiti da su to dovoljne doze koje nakon duljeg perioda mogu izazvati kataraktu. Zbog toga se

koliko je bilo moguće vršila zaštita bulbusa sa olovnom protezom, da bi se doza nepotrebnog zračenja, smanjila na što je moguće manju mjeru, odnosno izbjegla mogućnost zračenja oka (2).

ZRAČENJE SA TELEGAMA UREĐAJEM

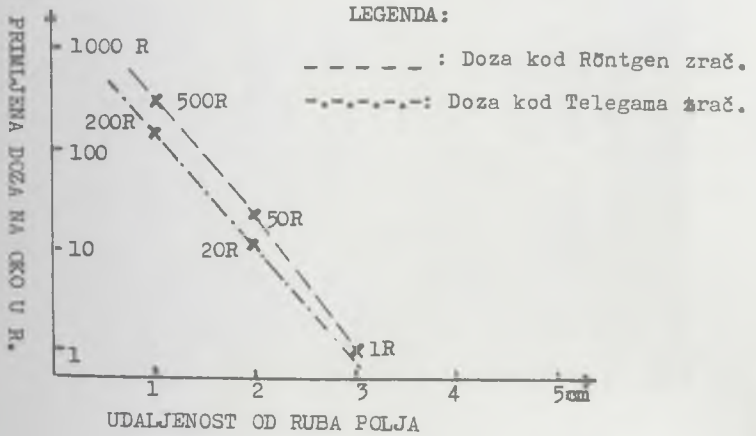
Uvođenjem telegama terapije u liječenje malignih tumora tehnika zračenja se znatno poboljšala, pogotovo pošto se oslanjamo na precizno dozimetrijsko mjerenje tumorske doze, a i doze zračenja okoline, (zbog tvrdoće gamma zraka, koje se šire u pravcu snopa zračenja, a i točne granice polja zračenja, kao i manje ionizacije na rubovima polja). Preciznim fizikalnim mjerenjem doza, gotovo da se uspjelo zaštititi bulbus potpuno od nepoželjnog zračenja.

NAŠA METODA MJERENJA DOZA NA BULBUS

Mi smo vršili seriju mjerenja doza sa 2 različita aparata za telegama terapiju ("Siemens" telecobalt uređaj u Heidelbergu od 7000 Ci. i "Barazetti Jupiter-Junior" telecobalt uređaj od 1200 Ci. u Zagrebu). Mjerenja smo vršili na fantomu od riže i na našim bolesnicima.

Tehnika mjerenja sastojala se u mjerenju pomoću kondenzatorske komore i očitavanja na kondiometru, te penkala dozimetara. Oba instrumenta stavljali smo na fantom na mjesto zamišljenog oka i zračili na horizontalnoj udaljenosti od 1-5 cm. rubom polja do bulbusa, površinom 50-100 cm^2. Isto tako postupali smo

i kod bolesnika, s time da smo mjerenja vršili iznad bolesnikovog oka. Naši rezultati pokazali su da je doza zračenja bulbusa, ukoliko je bio 1 cm. udaljen od ruba polja, kod vel. polja 50-100 cm^2, na datih 10.000 R. i do 200 R. Ukoliko je bulbus 2 cm. udaljen od ruba polja dobije 10-20 R., a kod udaljenosti od 3 cm do 1 R. To je u usporedbi sa Röntgen terapijom za cca 2/3 manja doza (3) Tabela 1.



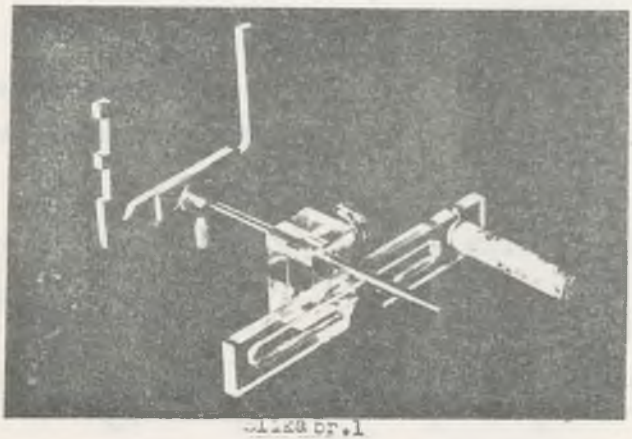
DATO UKUPNO 10.000 R

Tabela br. 1

REZULTATI

Ukoliko je zračenje potrebno provesti tako, da nam se bulbus nalazi u neposrednoj blizini granice polja zračenja, i postoji mogućnost oštećenja od zračenja, (u slučajevima kada je maligni tumor prodro krov sinus maxillarisa ili kod tumora paranazalnih šupljina, kao i kod tumora CNS (4) i dr.), tako da je nemoguće zračiti, a da se ne ošteti i bulbus oka, upotrebljavamo za monokularnu zaštitu bulbusa aksijalni solidni

olovni valjak (blei absorber). Dugačak je 12 cm. i debeo u promjeru 3 cm., tako da svojom širinom od 3 cm. pokrije zatvoreno oko vjedom, a svojom duljinom od 12 cm. štiti oko. Na taj način zaštitit ćemo potpuno oko, a maligni tumor odzračiti sa željenom dozom. Ovakova zaštita dolazi u obzir samo u slučajevima obasjavanja direktnim poljem Slika 1.



Slika br.1

Prije svake serije zračenja u području blizine bulbusa, učini se pregled prozirnih očnih medija, očne pozadine i visusa. U toku se zračenja po potrebi kontrolira, a nakon završetka zračenja ponovno okulistički pregleda u određenim vremenskim razmacima. Na seriji naših bolesnika, koji dolaze na kontrolu tokom vremenskog perioda od 1967g.-1970g., vrši se također pregled prozirnih očnih medija, očne pozadine i visusa. Niti kod ijednog pacijenta sa takovom metodom zračenja, uz zaštitu oka olovnim valjkom, nismo našli razvoj katarakte uslijed zračenja, niti bilo koju drugu pojavu oštećenja vida.

Z A K L J U Č A K

Metodom zaštite sa olovnim valjkom, koju primjenjujemo kod zračenja malignih tumora direktnim poljem u blizini bulbusa, nismo vidjeli oštećenja vida. Modernim telegama uredajima dopušta se zračenje i u najvećoj blizini oka, do pune tumorske doze, a uz sigurnost neoštećenja oka i vida. Na taj način postignut je znatan napredak u tehnici zračenja, nasuprot Röntgen terapiji, gdje nisu postojala tako egzaktna mjerenja doza i egzaktna mogućnost zaštite bulbusa. Telecobalt terapijom postoji bolja mogućnost saniranja procesa u blizini orbite, nego sa Röntgen dubokom terapijom.

S U M M A R Y

With the protective method of the leaden roller, which we apply by irradiation in malignant tumours by the direct field near bulbus, we did not notice any damage of the sight. The up-to-date telegamma devices allow the treatment with radium even in the greatest closeness to the eye and sight, until the full tumour dosage, and the safety of undamaged sight. In such a way a considerable progress is attained in the techniques of the treatment with radium by contrast to the X-ray therapy, where there did not exist either such exact measurments of dosage, or the exact possibility of protecting the bulbus. There is a greater possibility of curing the patient with malignant tumour in the closenness of the orbit by the way of telecobalt therapy than with the deep X-ray therapy.

L I T E R A T U R A

1. Hellriegel W.: Die Verteilung der Streustrahelendosis im Korper bei der Röntgenbestrahlung. Strahlentherapie 100, 153, (1956).
2. Fulgosi A.: Problemi rane oftalmološke dijagnostike radijacionih oštećenja. Doktorska disertacia , 73-76. (1965).
3. Konstantinović M., Voskresensky I.i Bistrović M.: Ozračenje gonada kod terapije bolesnika na telekobalt uređaju. IV. Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, (Baško Polje 1968g)
4. Wycis H.T., Robbins R., Spiegel-Adolf M., Meszaros J. and Spiegel E.A.: Studies in Stereoencephalotomy III. Treatment of a Cystic Craniopharyngioma by Injection of Radioactive P^{32}. Confinia Neurologica Vol.14 No.4, 193-202, (1954).

INSTITUT ZA KLINIČKU ONKOLOGIJU I RADIOTERAPIJU MEDICINSKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Nr / 6 / 17

Doc.dr.M.Kubović

Dr.S.Pavičić

OŠTEĆENJA PLUĆNOG PARENHIMA KOD BOLESNIKA S KARCINOMOM BRONHA LIJEČENIH TCT

Oštećenja plućnog parenhima uslijed djelovanja ionizantnih zraka su česte predmet kliničkih ispitivanja (1, 2, 3, 4, 6).

Uglavnom se razmatraju oštećenja pluća koja nastaju iza primjene radioterapije u svrhu liječenja malignog tumora koji nije smješten u plućima (dojka, vrat itd).

Daleko manje kliničkih ispitivanja posvećeno je oštećenjima pluća koja nastaju uslijed djelovanja ionizantnih zraka kod zračenja karcinoma bronha (4).

To je zato što jedan dio izliječenih bolesnika s malignim tumorom izvan pluća doživljava u periodu vremena iza radioterapije smetnje u plućnoj ventilaciji koja ih prisiljava da potraže liječnika. Tada se i otkriju oštećenja pluća koja su uzrokovala njihove tegobe (5, 6).

Veliki dio bolesnika s karcinomom bronha koji se liječi ionizantnim zrakama živi nekoliko mjeseci iza završetka radioterapije. Ovi bolesnici dolaze vrlo rijetko na redovite kontrolne preglede (4). Liječnici kojima se i obraćaju bolesnici s karcinomom bronha iza završetka zračenja sve njihove smetnje u plućnoj ventilaciji obrazlažu s osnovnim malignim procesom. Kod toga ne urade kontrole rentgenske snimke pluća, bez kojih je nemoguće registrirati plućna oštećenja.

Mi smo uz pomoć liječničke ekipe Bolnice za plućne bolesti na Jordanovcu izvršili kontrolne rentgenske pretrage pluća kod 46 bolesnika s karcinomom pluća koje smo liječili TCT.

Naši bolesnici zračeni su uglavnom preko dva torakalna naspuprotna polja veličine 10/15 cm. Na polja smo primijenili pojedinačnu eksposicionu dozu od 300 r. Dnevno smo zračili samo jedno polje. Ukupna eksposicionа doza po polju iznosila je 4500-5200 r. Doza u tkivu tumora iznosila je od 4800-5600 r. Neki bolesnici su se zračili samo 6-8 dana sa dva suprotna torakalna polja - iste veličine. Kod njih je dnevna ekspozicijona doza iznosila 600 r. Zračili smo dnevno takodjer samo jedno polje.

Doza u tkivu tumora kod ove metode zračenja odgovara po biološkom efektu približno dozi u tkivu tumora kod prve metode. Kod kontrolnih pregleda naših 46 bolesnika posvetili smo posebnu pažnju intervalu vremena iza završetka zračenja.

Oštećenja plućnog parenhima od ionisantnih zraka možemo podijeliti na dvije grupe: a) rana oštećenja i b) kasna oštećenja.

Rana oštećenja javljaju se nekoliko dana do nekoliko sedmica iza zračenja, a manifestiraju se dilatacijom i napetošću krvnih žila, promjenom permeabiliteta stijenki kapilara, edemom stijenki alveola, te bjelančevinastim ekzudatom u alveolama.

Druga grupa oštećenja javlja se nekoliko sedmica do nekoliko mjeseci iza završetka zračenja. Nailazimo na bujanje kolagenih vlakna te sve veća zadebljanja interalveolnih septi.

Sve ove promjene nazivaju se zajedničkim imenom radiopenumonitis. Sekundarna infekcija u intervalu iza zračenja igra bitnu ulogu u razvitku jačih oštećenja pluća. Tada dolazi i do indurativnih promjena u samoj alveoli što sve više sputava plućnu ventilaciju.

Na kontrolnim pregledima 46 bolesnika s rakom pluća registrirali smo kod petnaest bolesnika izraslita oštećenja na plućima u intervalu iza završetka radioterapije. Svi bolesnici koji su doživjeli oštećenja iza zračenja izjavili su da su u periodu vremena iza zračenja obolili od bronhopenumonije (a neki od njih čak i u nekoliko navrata) (slika 1 i 2). Devet (od tih 15 bolesnika) donijeli su i rendgensku snimku pluća koju su učinili u mjestu stanovanja na kojoj je bila prikazana bronhopneumonija. Šest bolesnika nije imala rendgensku dokumentaciju već je dijagnoza postavljena na temelju pregleda liječnika i laboratorijskih pretraga.

Kod ostalih 31 bolesnika nismo uspjeli na kontrolnim pregledima uočiti znakove za radiopneumonitis. I u toj grupi osam bolesnika je prebolilo penumoniju, a kod devet smo naišli na podatak u zdravstvenoj knjižici da su u intervalu vremena iza zračenja imali povremeno visoku temperaturu, ali zato "uzrok" ordinarius je okrivio osnovni maligni proces na plućima.

Dvanaest bolesnika od trideset i jednog primao je u vremenu iza zračenja povremeno antibiotike i kortikosteroide ([1]. Lincocin, Depo Medrol[2].+).

Iz te grupe od 12 bolesnika registrirali su se slučajevi koji su imali najdulje vrijeme preživjelosti iza radioterapije.

Kod svih bolesnika vršili smo kontrole KKS, SE, hepatograme, elektroforeze bjelančevina, funkcionalne testove pluća, te plinske analize krvi.

+ 1. nekoliko dana u mjesecu

2. 2 puta mjesečno i.m. kroz 1-5 mjeseci.

Z a k l j u č a k

46 bolesnika s rakom pluća liječili smo TCT. Ukupna doza u tkivu tumora kretala se oko 4500 r (u 4-5 sedmica) odnosno

1800-2000 r u 6-8 dana.

Na kontrolnim rendgenskim snimkama iza završetka TCT našli smo kod 15 slučajeva oštećenja plućnog parenhima u smislu radiopneumonitisa.

Kod svih slučajeva s radiopneumonitisom dobili smo anamnestički podatak da su u intervalu iza završetka TCT obolili od bronhopneumonije (neki od ovih čak u više navrata).

Promjene na plućnom parenhimu iza TCT pogoduju razvitku sekundarne infekcije. Ona igra važnu ulogu u razvitku i jačini indurativnih promjena koje nalazimo iza uobičajenih tkivnih doza kod liječenja karcinoma bronha s TCT.

S u m m a r y

The pulmonary injuries in the course of the treatment of patients with Ca bronchi after TCT.

The authors have studied the injuries of pulmons in 36 patients having been treated with TCT because of Ca bronchi. The injuries have been observed in a larger number of patients who in the interval of time after the radiation went ill with Bronchopneumonia.

L i t e r a t u r,a

1. Desjardins A.V.: Amer.J.Roent. 16 (1926); 444
2. Hensi H.: Strahlenth. 100/3 (1956); 385
3. Borić-Matovinović D.: Usmeno saopćenje, Zagreb, 1969.
4. Kubović M.: Ionizantna terapija Ca bronha, Zagreb, 1966;
5. Kubović M., Jakaša D., Bistrović: IV Jugoslav. simp. o radiološkoj zaštiti, 1969.
6. Nealon T.: Management of the patient with cancer, Philadelphia, 1966.
7. Vieten H., Wachsman F.: Methods and procedures of radiation therapy Berlin-New York, 1970.

Slika 1

Slika 2

Dva slučaja iz grupe od 15 bolesnika kod kojih se je razvio radiopneumonitis tri odn. pet mjeseci iza TCT.

Nr. /7/02

O INSTRUMENTACIJI POTREBNOJ ZA RAD JEDNOG CENTRA

ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

Križman M.

Nr. / 7 / 02

O INSTRUMENTACIJI POTREBNOJ ZA RAD JEDNOG CENTRA ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

Križman M.

Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

Jedan centar za radiolosku zaštitu bavi se sledećom delatnošću:

A. Rutinski radovi. To je delatnost koju propisuju pozitivni zakonski propisi.

B. Spremnost za intervenciju u akcidentima.

C. Specifična delatnost pojedinog centra. To je delatnost za koju su se pojedini centri specijalizirali.

A. Rutinski radovi.

A.a. Dozimetrija

1. Filmdozimetrija
2. Ostala lična dozimetrijska sredstva

A.b. Merenje radioaktivnosti životne sredine

1. Absolutna beta aktivnost u aerosolima
2. Absolutna beta aktivnost u falloutu
3. Absolutna beta aktivnost u geografskim i pijaćim vodama
4. Stroncijum-9o u falloutu, zemlji, hrani, silaži i ljudskim kostima
5. Cezijum-137 u falloutu

A.c. Kontrola izvora zračenja

1. Kontrola rentgen aparata i zatvorenih izotopa
2. Kontrola otvorenih izotopa, kontaminacija radnih površina i kontrola kontaminacije vazduha u radnim prostorijama
3. Kontrola instrumenata koji se upotrebljavaju kod rada sa izvorima jonizujućih zračenja
4. Kontrola i merenje radioaktivnih nuklida u biološkim materijalima lica koja rade sa otvorenim izvorima zračenja

B. Spremnost za intervenciju u akcidentima.

B.a. Detekcija i utvrdjivanje doznog polja
1. Lična zaštitna oprema stručne ekipe
2. Radijacioni monitori

B.b. Komunikaciona sredstva stručne ekipe

B.c. Oprema za dekontaminaciju

C. Specifična delatnost pojedinog centra.
Neke od ovih delatnosti obavezno koriste ostali centri:

C.a. Baždarenje filmdozimetara

C.b. Baždarenje radijacionih monitora i ličnih dozimetara

C.c. Kontrola zaštitnih sredstava (kecelje i slično)

C.d. Izrada izodoznih kriva

C.e. Izrada standarda za kalibraciju aparatura

Za čitavu tu delatnost trebamo aparature koje zadovoljavaju sledećim uslovima rada:

A.a.1.1. Denzitometar za merenje zacrnjenja filma do S = 4
A.a.1.2. Kalibracioni klin za kalibraciju denzitometra
A.a.1.3. Numerator za numerisanje filmova

A.a.2.1. Taj posao se obavlja u specijaliziranim centrima
A.b.1.1. Aparatura za oduzimanje uzoraka aerosola
A.b.1.2. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka
A.b.1.3. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti od o,1 pCi do 1 nCi
A.b.1.4. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.b.2.1. Aparatura za oduzimanje uzoraka fallouta
A.b.2.2. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka
A.b.2.3. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti od o,1 pCi do 1 nCi
A.b.2.4. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.b.3.1. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka
A.b.3.2. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti od o,1 pCi do 1 nCi
A.b.3.3. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.b.4.1. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka

A.b.4.2. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti od o,1 pCi do 1 nCi

A.b.4.3. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.b.5.1. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka

A.b.5.2. Oklopljena gama sonda sa well-type kristalom 3 x 3 "

A.b.5.3. Višekanalni analizator sa izlazom za printer

A.b.5.4. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.c.1.1. Monitori X i gama zračenja za sledeća merna područja:
od μr/h do 100 μr/h
od o,1 mr/h do 10 mr/h
od 10 mr/h do 1000 mr/h
od 1 r/h do 100 r/h
od 100r/h do 10 000 r/h

A.c.1.2. Dozimetri X i gama zračenja za sledeća merna područja:
10 mr, 100 mr, 1 r, 10 r, 100 r, 1000 r

A.c.2.1. Uredjaj za oduzimanje uzoraka vazduha

A.c.2.2. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka

A.c.2.3. Oklopljena gama sonda sa well-type kristalom 3 x 3 "

A.c.2.4. Višekanalni analizator sa izlazom za printer

A.c.2.5. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.c.2.6. Oklopljena poluprovodnička alfa sonda

A.c.2.7. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti

A.c.3.1. Taj posao se obavlja u specijaliziranim centrima

A.c.4.1. Pretočna alfa sonda za merenje alfa aktivnosti u vazduhu

A.c.4.2. Automatska aparatura sa niskim fonom za merenje beta aktivnosti

A.c.4.3. Oklopljena gama sonda sa well-type kristalom 3 x 3 "

A.c.4.4. Višekanalni analizator sa izlazom za printer

A.c.4.5. Printer za registraciju mernih vrednosti

A.c.4.6. Oklopljena poluprovodnička alfa sonda

A.c.4.7. Laboratorijska oprema za pripremu uzoraka

B.a.1.1. Visokotlačni kompresori
B.a.1.2. Bombe sa reducirnim ventilima
B.a.1.3. Maske
B.a.1.4. Zaštitna odjela
B.a.1.5. Gumene čižme i rukavice
B.a.1.6. Materijali za dekontaminaciju

B.a.2.1. Monitori X i gama zračenja za sledeća merna područja:
od 1 μr/h do 100 μr/h
od 0,1 mr/h do 10 mr/h
od 10 mr/h do 1000 mr/h
od 1 r/h do 100 r/h
od 100 r/h do 10 000 r/h
B.a.2.2. Neutronski monitor zračenja
B.a.2.3. Višekanalni analizator sa izlazom za printer
B.a.2.4. Printer za registraciju mernih vrednosti
B.a.2.5. Oklopljena gama sonda sa well-type kristalom 3 x 3 "

B.b.1. Prenosni primopredajni uredjaji
B.b.2. Komunikacija sa javnim sredstvima obaveštavanja

B.c.1. Sredstva za dekontaminaciju (bačve,deterdženti i sl.)

Instrumentacija za rad grupe C je specifična.

Vidimo da se u današnjoj situaciji sve potrebe po novim instrumentima jednog centra za radiološku zaštitu reduciraju na dva instrumenta:

1. Tekučinski scintilacioni automatski brojač sa printerom.
2. Mnogokanalni analizator sa alfa i gama sondom i printerom.

Ostalu instrumentaciju u prvom redu radjacione monitore i dozimetre centri danas poseduju.

Oprema ekipe za dekontaminaciju odnosno njena nabavka stvar je suradnje centra sa Upravom za civilnu zaštitu.

Na svojim medjusobnim sastancima pretstavnici centara za radiološku zaštitu već su razgovarali o zajedničkoj nabavci instrumenata. Kod odabiranja tih instrumenata moramo voditi računa o sledećim kriterijumima:

- suvremenost i originalnost koncepta instrumenta
- pouzdanost i sigurnost kod upotrebe
- racijonalizacija vremena kod upotrebe
- reference o firmi
- upotrebljivost kod nastave i odgoja kadrova
- upotrebljivost za naučno-istraživački rad
- univerzalnost u upotrebi
- funkcionalnost upotrebe
- mogućnosti održavanja aparatura
- "popularnost" aparature
- obseg garancije od strane dobavljača
- obseg dokumentacije
- organizacija servisne službe
- suradnja dobavljača kod montaže.

Ako pogledamo ove kriterijume našim bi potrebama odgovarala dva dobavljača:

1. Intertechnique, Francuska
2. Nuclear Chicago, USA

Pored svih uslova nam će biti od velike važnosti kreditni uslovi koje pojedina firma nudi. Nabavka ta dva instrumenta za pet jugoslovenskih centara iznosila bi 175 ooo $. Kod zajedničke takve nabavke firma Nuclear Chicago nudi vanredno ugodne kreditne uslove. Na ovom mestu mogu kazati još to da su kod nabavke opreme za novi klinički centar u Ljubljani baš kreditni uslovi odlučivali o dobavljaču.

Nr. / 7 / 03

KONVERTOR MALIH JEDNOSMERNIH STRUJA U POVORKU IMPULSA

M.Šobajić , D.Danilović
D.Veselinović , R.Blagojević

U radu je opisano elektronsko kolo za konverziju malih jednosmernih struja u povorku impulsa.Konvertor je namenjen za merenje ječine ekspozicione doze zračenja upotrebom jednosmernih jonizacionih komora.Predvidjen je za kontinualan rad, a izradjen korišćenjem savremenih komponenata: MOS tranzistora i integrisanih kola.Instrument omogućava bez promene mernog opsega linearnu konverziju jednosmernih struja u povorku impulsa u području od 4 dekade od 10^{-14} A do 10^{-10} A.Sa jonizacionom komorom tipa CD-2 zapremine 24 litra ima osetljivost 72 imp/min za 1 mR/h.

U V O D

Za merenje jačine ekspozicione doze zračenja pomoću jonizacionih komora koriste se pojačavači malih jednosmernih struja reda 10^{-10} A do 10^{-15} A.Postoji potreba da se poveća osetljivost ovih instrumenata da bi se i sa komorama relativno male zapremine mogle meriti jačine ekspozicione doze zračenja koje su u području bliskom prirodnom fonu.

Merenje struje vrši se merenjem pada napona koje te struje stvaraju na otporniku poznate velike otpornosti ili merenje brzine promene napona na kondenzatoru poznate male kapacitivnosti (1).Koriste se pojačavači koji kao aktivne ulazne komponente imaju elektrometarske cevi, a u posled-

nje vreme i tranzistore sa izolovanim gejtom. Upotreba ovih tranzistora, integrisanih kola i drugih savremenih komponenata omogućava da se projektuju relativno jednostavni instrumenti, sa malom potrošnjom električne energije, koji imaju veliku osetljivost i daju rezultate merenja u digitalnom obliku.

U ovom radu opisano je jednostavno elektronsko kolo za direktnu konverziju jednosmerne struje u povorku impulsa. Upotrebljen je pojačavač sa tranzistorima sa izolovanim gejtom koji ima ulaznu odvodnu struju manju od 10^{-15} A[2]. Kao prekidački elementi korišćena su "reed" relea. Instrument omogućava bez promene mernog opsega linearnu konverziju jednosmernih struja u povorku impulsa u opsegu od 4 dekade do 10^{-14} A do 10^{-10} A.

PRINCIP RADA

Princip rada instrumenta može se razumeti posmatranjem blok šeme instrumenta prikazane na sl. 1. Struja iz jonizacione komore puni integracioni kondenzator vezan u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača. Kada napon na izlazu pojačavača dostigne odredjen nivo, komparator K_1 prebacuje monostabilni multivibrator u kvazistabilno stanje. Izlazni napon monostabilnog multivibratora uključuje visokoomsko rele R_1 preko čijih se kontakata prazni integracioni kondenzator C. Posle nekog vremena odredjenog dužinom trajanja kvazistabilnog stanja multivibratora kontakti relea se otvaraju i počinje ponovni proces punjenja kondenzatora. Komparator K_2 služi za automatsko startovanje konvertora.

Da bi postojala linearna zavisnost broja impulsa od jačine jednosmerne struje koja se meri potrebno je da budu ostvareni sledeći osnovni uslovi:

- Struja koja se meri mora biti znatno veća od ulazne odvodne struje pojačavača, i struja koje otiču preko izolacionih otpornosti prekidača i integracionog kondenzatora.

- Jednosmerno pomeranje nule pojačavača mora biti malo u odnosu na maksimalni izlazni napon integratora.
- Dužina trajanja kvazistabilnog stanja multivibratora mora biti dovoljna da dodje do uključenja kontakata visokoomskog relea i pražnjenja integracionog kondenzatora.

ELEKTRIČNA ŠEMA

Električna šema instrumenta prikazana je na sl. 2.

Pojačavač se sastoji od kaskadne veze diferencijalnog pojačavačkog kola sa tranzistorima sa izolovanim gejtom i integrisanog pojačavačkog kola. Otpornici u kolu sorsa, dreina i gejta omogućavaju da se tranzistori postave u temperaturno stabilne radne tačke. Za upotrebljene tranzistore tipa FI 100 temperaturna stabilnost se postiže kod struje dreina od približno 200 μA. Ulazni tranzistor T_1 ima približno isti jednosmerni napon na dreinu i sorsu, ali suprotnog polariteta. Na taj način je postignuta kompenzacija odvodnih struja od dreina prema gejtu i gejta prema sorsu tako da je ukupna struja gejta manja od 3.10^{-15} A sa proizvoljno uzetim komponentama tipa FI 100. Sa izabranim komponentama može se postići struja manja od 10^{-15} A.

U negativnoj povratnoj sprezi pojačavača postavljena su dva redno vezana kondenzatora od stiroflekSa kapacitivnosti od po 10 pF. Redna veza kondenzatora povećava ekvivalentnu izolacionu otpornost kondenzatora i u slučaju delimične kontaminacije smanjuje greške koje zbog toga nastaju u merenjima. Upotrebljena ekvivalentna kapacitivnost od 5 pF predstavlja minimalnu kapacitivnost koju je moguće koristiti a da se može smatrati zanemarljivim uticaj električne indukcije od namotaja relea. Ekvivalentna ukupna izolaciona otpornost je veća od 10^{16} Ohma.

Za pražnjenje integracionog kondenzatora korišćeno je minijaturno elektromehaničko rele tipa GS 6[3]. U uslovima minimalne vlage ovo rele ima izolacionu otpornost veću od

10^{16} Ohma. Parazitni kapacitet izmedju krajeva relea iznosi manje od 0,5 pF. Pri isključenju relea pojavljuje se usled električne indukcije na krajevima relea količina elektriciteta manja od 10^{-13} Q.

Komparator K_1 je izveden sa integrisanim pojačavačkim kolom tipa μA 710. Da bi sistem za konverziju bio što osetljiviji potrebno je da nivo kompariranja bude što niži. Nivo kompariranja je ograničen jednosmernim pomeranjem nule pojačavača, stabilnošću samog nivoa kompariranja i uticanjem električne indukcije namotaja relea na opterećenje integracionog kondenzatora. Nivo kompariranja iznosi 0,4 V.

Komparator K_2 je izveden sa integrisanim kolom tipa μA 710. Služi za automatsko startovanje konvertora. Nivo kompariranja iznosi 2 V.

Monostabilno kolo daje impuls odredjenog trajanja za uključivanje relea. Dužina trajanja impulsa odredjena je pasivnim elementima R_7 i C_4. Obzirom na karakteristike relea GS 6 elementi su odredjeni da trajanje impulsa iznosi približno 1 msec.

Električna šema zahteva izvore stabilisanog jednosmernog napona od + 12 V, - 12 V i - 6 V, stabilnosti bolje od 0,5 ‰.

EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Rezultati izvršenih merenja prikazani su na sl. 3. Broj impulsa u minuti, koji se dobija na izlazu instrumenta, u zavisnosti od vrednosti merene jednosmerne struje, prikazan je na sl. 3.a., a greška koja se dobija kod ove konverzije na sl. 3.b. Vidi se da se mogu vršiti merenja struje u opsegu od 4 dekade bez promene integracionog kondenzatora.

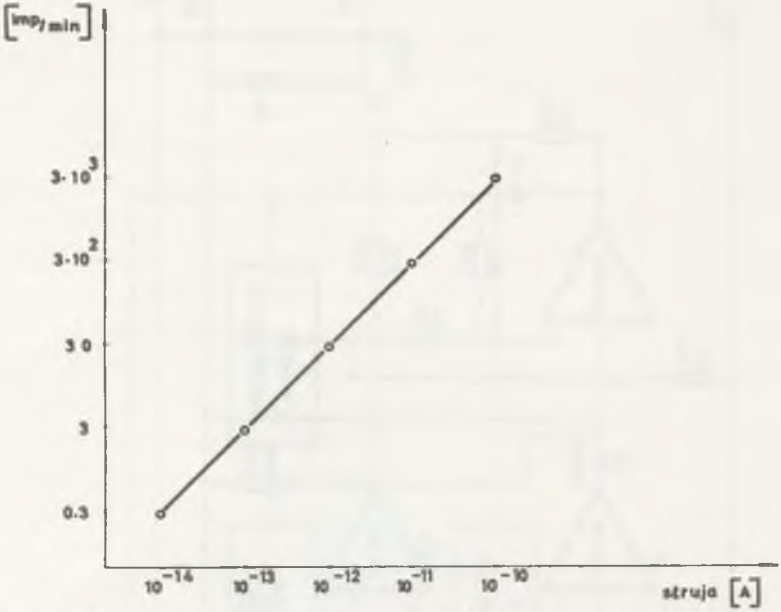
Kod merenja jednosmernih struja manjih od 10^{-13} A nastaju greške zbog uticaja odvodne struje pojačavača i izolacionih otpornosti prekidača i integracionog kondenzatora. Kod merenja struja većih od 10^{-11} A greške nastaju zbog uti-

caja vremena potrebnog za uključenje i isključenje visokoomskog elektromehaničkog prekidača kojim se vrši pražnjenje integracionog kondenzatora. U opsegu od 10^{-13} do 10^{-11} A greška je minimalna. Dok smanjenje greske u području vrlo malih struja zavisi isključivo od kvaliteta upotrebljenih komponenata i ne može se znatno smanjiti, greška kod relativno većih struja lako se smanjuje ako se izvrši povećanje kapacitivnosti kondenzatora u povratnoj sprezi. Ako se pri svakoj promeni merene struje za jednu dekadu izvrši odgovarajuća promena kapacitivnosti ovog kondenzatora, može se održati tačnost merenja bolja od 1% za široki opseg merenja struja većih od 10^{-12} A.

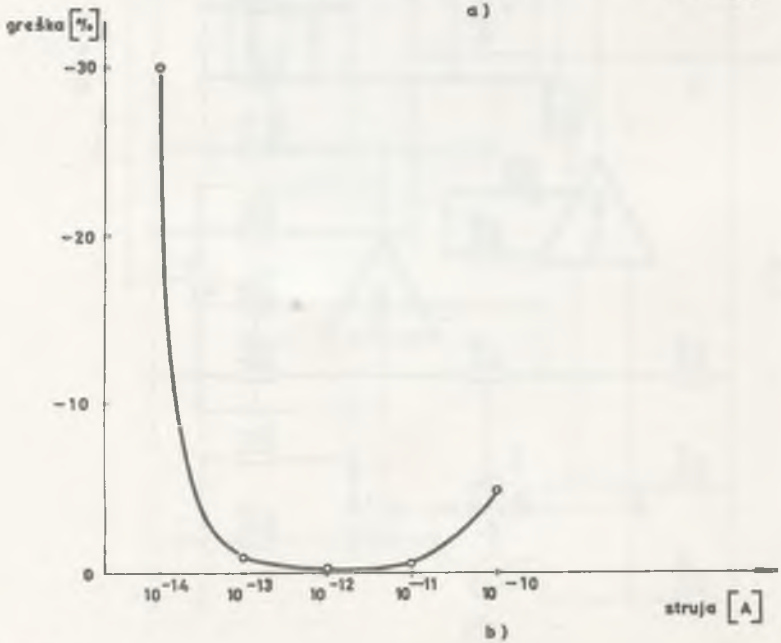
Sa jonizacionom komorom tipa CB-2 zapremine 2A lit. postignuta je osetljivost od 72 imp/min. za jačinu ekspozicione doze zračenja od 1 mR/h. Na taj način opseg merenja od 0,3 - 3000 imp/min. pokriva područje promene jačine ekspozicione doze zračenja od 4 μR/h do 40 mR/h.

LITERATURA

1. Kandiah K. Brown D.: "High-Gain D.C.Amplifiers", Proceedings IEE, 1952, Part II, pp 314-326
2. Sobajić M., Danilović D.,: "A Circuit for Protection of Insulated Gate Field Effect Transistors in D.C. Low Current Amplifiers", Electronic Engineering (u štampi)
3. Kemp L., Woodall J.: "Evaluation of a High-Insulation Dry-Reed Switch for Electrometer Applications", Electronic Engineering, 1968, May, pp. 236-239.



a)



b)

PK 840/70

SL. 3

KOLA ZA INDIKACIJU POUZDANOSTI PRI RADU SA IMPULSNIM DETEKTORIMA ZRAČENJA

B. Ćirilov, S. Muždeka, M. Šmelcerović, B. Lolić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

U v o d

Monitori zračenja često koriste zbog pouzdanosti rada i jednostavnije gradnje, impulsne detektore, a kako su namenjeni merenjima polja zračenja od nivoa prirodne aktivnosti do vrlo intenzivnih polja u akcidentalnim uslovima, to se pri konstrukciji uredjaja ove vrste mora ispuniti uslov relativno dobre efikasnosti, kao i njemu kontradiktoran uslov, sigurnog rada i pri vrlo intenzivnim zračenjima.

Slična situacija javlja se i pri merenjima uzoraka sa impulsnim detektorima ako se merenja vrše u jakim poljima zračenja ili ako uzorci imaju velike aktivnosti.

Iz analize prikazane u delu teksta "proračun efekta nagomilavanja i mrtvog vremena", vidi se da za svaki impulsni sistem postoji neka brzina brojanja kada se dobijaju pogrešni rezultati merenja, da bi sa povećanjem brzine brojanja merenje postalo praktično nemoguće. Zavisno od parametara mernog sistema i od spektra merene aktivnosti, pri prelazu brzine brojanja preko odabrane vrednosti indikatorski sistem pokazuje ili male vrednosti brzine brojanja, ili se indicira nulti odbroj. Da bi se opisana neželjena pojava sprečila, neophodno je u sistem ugraditi elektronska kola koja će indicirati prelaz impulsnog brojača u režim preopterećenja ili stalne

provodnosti, a ukoliko su bitan uzrok greške pri velikim brzinama brojanja parametri elektronskih kola, onda će prikazana kola indicirati neispravan rad elektronskog sistema.

Proračun efekta nagomilavanja i mrtvog vremena

Pojačavački sistem obično daje na ulazu u analizator signal oblika

$$v(t) = \frac{V_o \tau}{\tau - \theta} \left(e^{-t/\theta} - e^{-t/\tau}\right) \qquad (1)$$

Pošto nas interesuje efekt nagomilavanja, signal se može aproksimativno prikazati izrazom

$$v(t) = V_o e^{-t/\theta} \qquad (2)$$

Korisno je naglasiti da signal dat jednačinom (2), dobro odgovara uobičajenim uslovima rada scintilacionih brojača.
U jednačinama (1) i (2) uvedene su oznake

$v(t)$ - napon na izlazu iz pojačavača u funkciji vremena
τ - vremenska konstanta detektora
θ - integraciona konstanta u kolu pojačavača
V_o - maksimalna vrednost izlaznog signala

Dogadjaj detekcije je statistička promenjiva i sledi Poissonovu distribuciju. Verovatnoća da se u posmatranom intervalu vremena T dogodi r dogadjaja je

$$P(r) = \frac{(RT)^r}{r!} e^{-RT} \qquad (3)$$

gde je R - srednja brzina brojanja detektovanih čestica.

Posle dovoljno dugog vremena t + nT doprinos od jednog signala izlaznom naponu iz pojačavača, dat je sa dovoljnom tačnošću izrazom

$$v_1(t+nT) = V_o \cdot e^{-t/\Theta} \cdot e^{-nT/\Theta} \qquad (4)$$

Očekivana vrednost izlaznog napona kao rezultata superpozicije velikog broja signala, čija se pojava u posmatranom intervalu vremena očekuje sa verovatnoćom P, je

$$\bar{V} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} V_o\, e^{-nT/\Theta}\, r\, \frac{(RT)^r}{r!}\, e^{-RT} = V_o RT \frac{1}{e^{1/R\Theta}-1} \qquad (5)$$

Ukoliko se izvrši zamena T = 1/R dobija se

$$\bar{V} = V_o \frac{1}{e^{1/R\Theta}-1} \qquad (6)$$

Kod uobičajeno izvedenih integralnih diskriminatora, kolo je blokirano za sledeću registraciju signala, sve dok vrednost napona ne dostigne nivo diskriminacije Vd. Pri dovoljno velikim brzinama brojanja, mrtvo vreme brojačkog sistema iznosi

$$T_m = \Theta \ln \frac{V_o}{V_d(1-e^{-1/R\Theta})} \qquad (7)$$

Uzimajući u obzir da je bilo kom tipu diskriminatora potrebno vreme T_1 da se posle opadanja ulaznog napona ispod vrednosti V_d, vrati u početno stanje, mrtvo vreme sistema je T_m+T_1.

Ukoliko se radi sa spektrima i uz pretpostavku linearnosti detektorskog i pojačavačkog sistema, može se naći očekivana vrednost izlaznog napona.

$$\bar{V} = \sum_{i=o}^{i_{max}} V_{oi} \frac{R_i}{R} \frac{1}{e^{1/R_i\theta}-1} ; \quad R = \sum_{i=o}^{i_{max}} R_i \qquad (8)$$

gde je R_i - srednja brzina brojanja za zračenje odredjene energije. Prelaz sa konačne sume upotrebljene u relaciji (8) na integral bio bi opravdan samo ukoliko je poznat eksplicitan izraz raspodele R(E), i ukoliko se isti bez velike greške može predstaviti jednostavnom funkcijom.

Ako se dogodi i-ti dogadjaj (registracija čestice E_i-te energije), mrtvo vreme se nalazi iz relacije

$$V_d = (V_{oi} + \sum_{i=o}^{i_{max}} V_{oi} \frac{R_i}{R} \frac{1}{e^{1/R_i\theta}-1}) e^{-T_{mi}/\theta} \qquad (9)$$

tj.

$$T_{mi} = \theta \ln \frac{V_{oi} + \sum_{i=o}^{i_{max}} V_{oi} \frac{R_i}{R} \frac{1}{e^{1/\theta R_i}-1}}{V_d} \qquad (10)$$

Verovatnoća da se desi i-ti dogadjaj odgovara verovatnoći pojave mrtvog vremena T_{mi}. Uzimajući u obzir da se posmatra veliki broj slučajnih i nezavisnih dogadjaja i to sa različitim funkcijama raspodele verovatnoće, pogodno je radi jednostavnosti definisati očekivanu vrednost mrtvog vremena izrazom

$$\bar{T}_m = \theta \frac{1}{R} \sum_{i=o}^{i_{max}} R_i \ln \frac{V_{oi} + \sum_{i=o}^{i_{max}} V_{oi} \frac{R_i}{R} \frac{1}{e^{1/R_i\theta}-1}}{V_d} \qquad (11)$$

Za pravu vrednost mrtvog vremena sistema, potrebno je rezultatu dodati vreme T_1.

Ako je proizvod $R_1\theta \ll 1$ i $R\theta < 1$, izrazi (8) i (10) mogu se svesti na oblik

$$\bar{V} = \bar{V}_o R\theta$$

$$\bar{T}_m \simeq \theta \left[\frac{\bar{V}_o(1+R\theta)}{V_d} - 1 \right] \quad \text{za } 0 < \frac{V_{oi} + \bar{V}R\theta}{\theta R_i V_d} < 2 \qquad (8a)$$

gde je

$$\bar{V}_o = \frac{\sum_{i=o}^{i_{max}} R_i V_i}{R} \qquad (10a)$$

Ovakve aproksimacije dozvoljavaju relativno laka izračunavanja, ali se moraju oprezno upotrebljavati.

Rezultati za mrtvo vreme brojačkog sistema dati relacijama (7), (10), (7a) i (10a) mogu se koristiti za projekciju rezultata merenja na već uobičajen način. Na grafiku (sl. 1), prikazana je funkcija stvarnog odbroja R u zavisnosti od indiciranog odbroja Rin. Dijagram je dobiven brojnim izračunavanjem vrednosti iz relacije

$$R = R_{in} + R\, R_{in}\, \theta \ln \frac{V_o}{V_d(1-e^{-1/R\theta})} \qquad (12)$$

Na grafiku (sl. 2) prikazano je mrtvo vreme u funkciji brzine brojanja. Primenom ovako nadjenih korekcija moguće je povećati gornju granicu brojanja za nekoliko puta, a iz analize pojedinih rezultata slede i uslovi koje mora zadovoljiti brojački sistem u slučaju akcidenta.

Interesantno je analizirati uticaj srednje vrednosti napona usled nagomilavanja signala, na efikasnost brojačkog sistema. Zbog povećanja srednje vrednosti napona dolazi do prividnog smanjenja nivoa diskriminacije na vrednost

$$V_d' = V_d - \bar{V} \qquad (13)$$

što ima za posledicu promenu efikasnosti brojačkog sistema, naročito ako se merenje vrši u fotopiku spektra. Greške ovog tipa su izrazite ako je nivo diskriminacije nizak, tako da se pri daljem snižavanju počinje brojati šum pojačavača, ili, na primer, odbroj struje mraka kod scintilacionih brojača.

Ako se brzina brojanja i dalje povećava, prividni nivo diskriminacije se osetno snižava (videti jednačine 6 i 13), pa dolazi do zagušenja brojačkog sistema, što se indicira, ili pokazivanjem veoma malih vrednosti odbroja, ili nultim pokazivanjem. Posledice ovakvog rada instrumenata mogu biti veoma štetne, zbog čega je neophodno u instrumente ugraditi posebne indikatore preopterećenosti brojačkog sistema.

Realizovana kola za indikaciju preopterećenosti brojačkog sistema

Da bi kolo indikatora sistema moglo ispravno da radi i u slučaju prelaza impulsnog brojača u režim stalne provodnosti, mora se izvesti u spoju jednosmernog pojačavačkog sistema i direktno spregnutog diskriminatora. Drugi uslov je, da sistem ne bude aktiviran od pojedinačnih signala, a to je najlakše ostvariti upotrebom RC integratora. Ukoliko je izvršena integracija sa konstantom RC, aproksimativni izraz za srednju vrednost napona signala oblika (2), je

$$\bar{V} = V_o \frac{\theta_i}{\theta_i - \theta} \left(\frac{e^{1/R\theta_i}}{e^{1/R\theta_i} - 1} - \frac{e^{1/R\theta}}{e^{1/R\theta} - 1} \right) \qquad (14)$$

Za vrednost konstante θ_i može se preporučiti vrednost nekoliko puta veća od vrednosti θ.

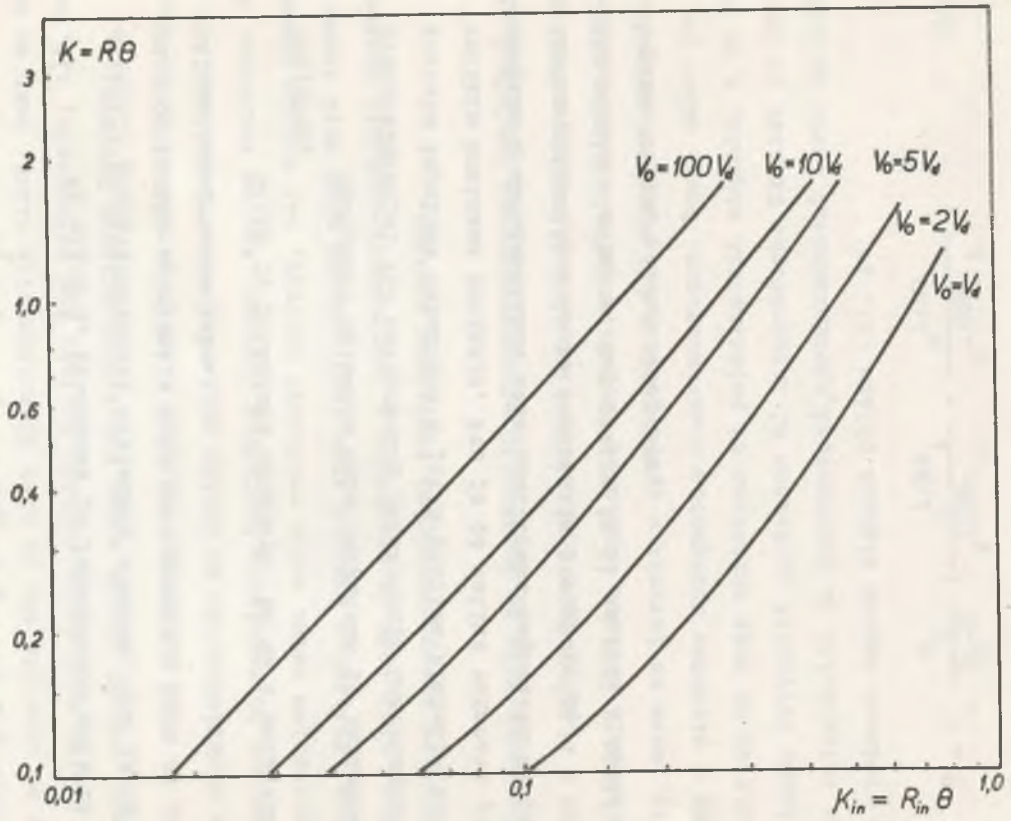
Nivo diskriminacije sistema indikatora odabira se prema unapred odredjenoj vrednosti odbroja R_k i nalazi se iz relacije

$$V_D = V_o \frac{\Theta_i}{\Theta_i - \Theta} \left(\frac{e^{1/\Theta_i R_k}}{e^{1/\Theta_i R_k - 1}} - \frac{e^{1/R_k \Theta}}{e^{1/\Theta_i R_k} - 1} \right) \qquad (15)$$

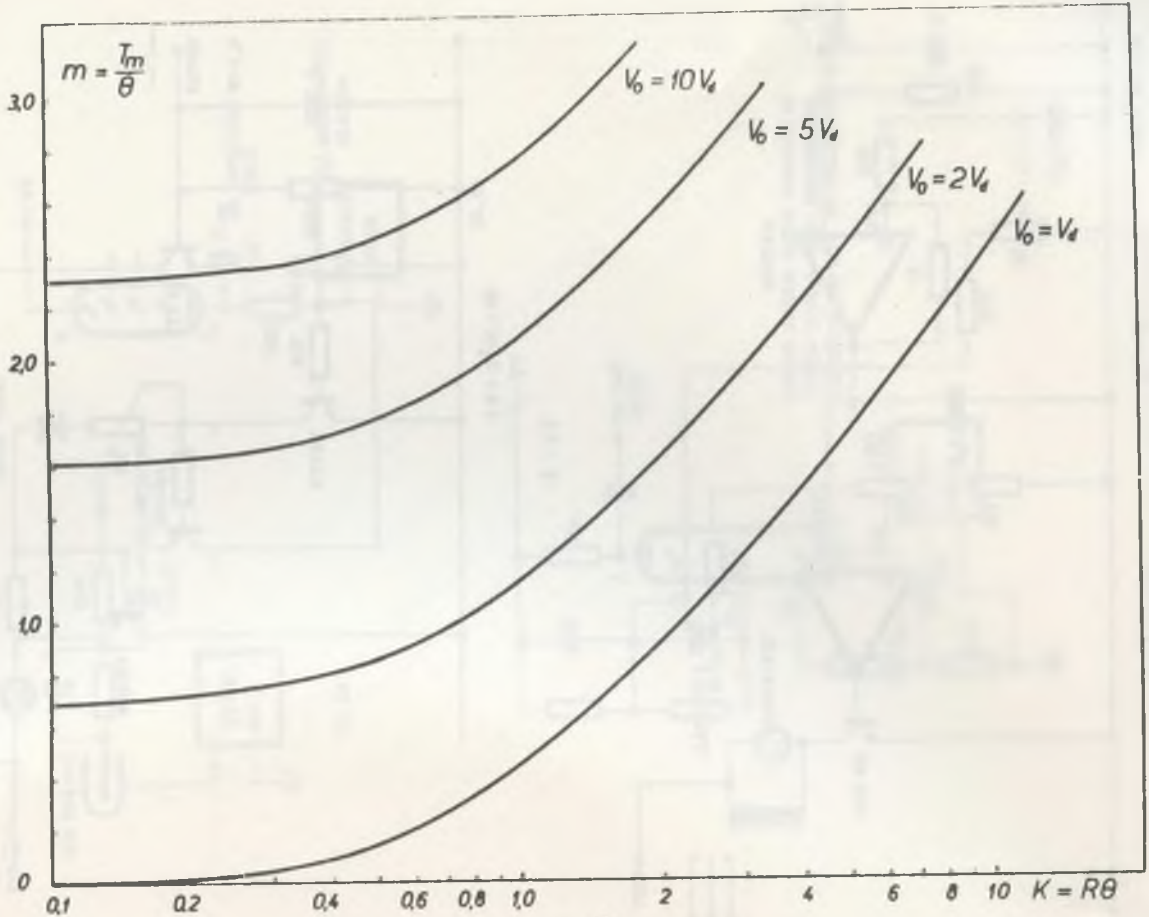
Na slici 3, prikazano je jednostavno kolo za indikaciju preopterećenosti brojačkog sistema, dok je na slici 4 prikazano savršenije kolo iste namene u kome su upotrebljena integrisana kola.

Slika 5. prikazuje uredjaje sa GM i scintilacionim brojačem.

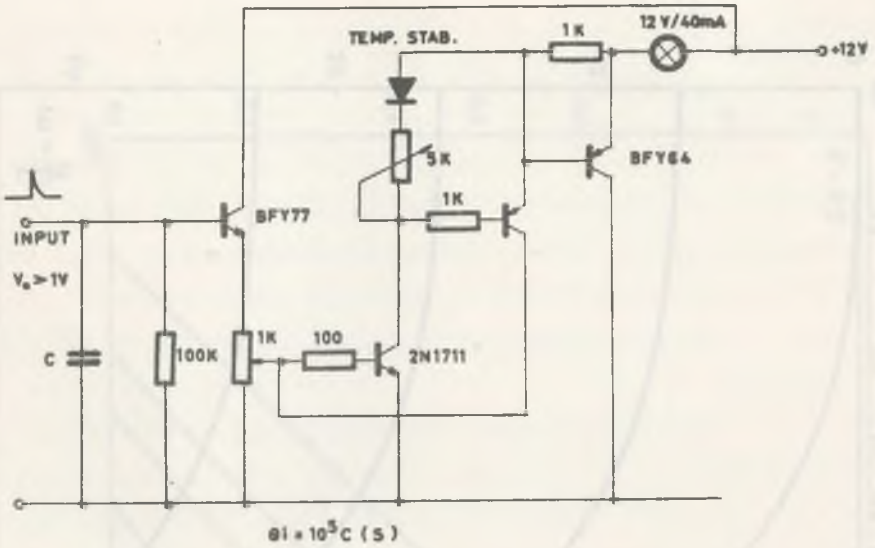
Upotrebom opisanih kola omogućena je indikacija preopterećenja, ili neispravnog pokazivanja instrumenata koji koriste impulsne detektore u jakim poljima zračenja, ili pri velikim brzinama brojanja, što je od velike važnosti pri merenjima u akcidentalnim uslovima. Treba naglasiti da je potrebno primeniti kola za indikaciju preopterećenja u navedenim mernim sistemima, bez obzira da li se radi o meračima brzine brojanja ili o skalerima.


K = Rθ
3
2
1,0
0,6
0,4
0,2
0,1
0,01
0,1
1,0
$K_{in} = R_{in}\theta$
$V_0 = 100 V_d$
$V_0 = 10 V_d$
$V_0 = 5 V_d$
$V_0 = 2 V_d$
$V_0 = V_d$

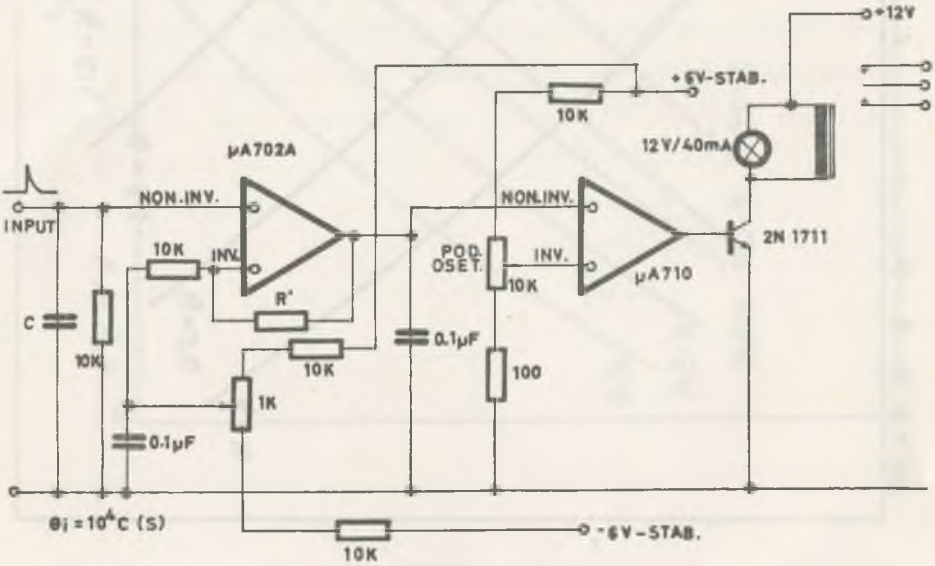
SL. 1


$m = \frac{T_m}{\theta}$
$V_0 = 10V_d$
$V_0 = 5V_d$
$V_0 = 2V_d$
$V_0 = V_d$
3,0
2,0
1,0
0
0,1
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
2
4
6
8
10
$K = R\theta$

SL. 2

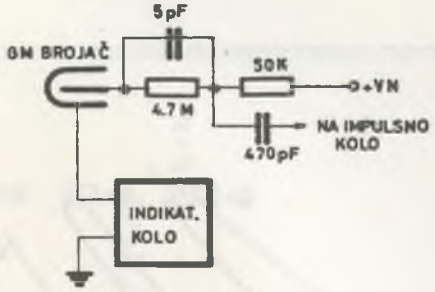


SL. 3

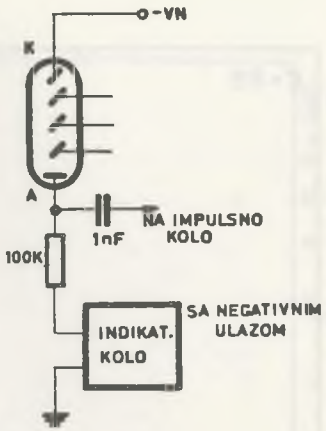


R'–DEFINIŠE POJAČANJE I ODABIRA SE PREMA VRSTI DETEKTORA

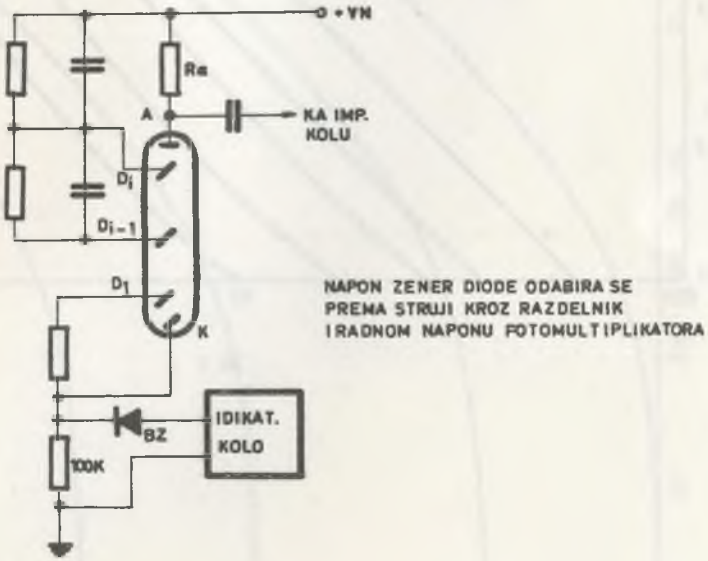
SL. 4



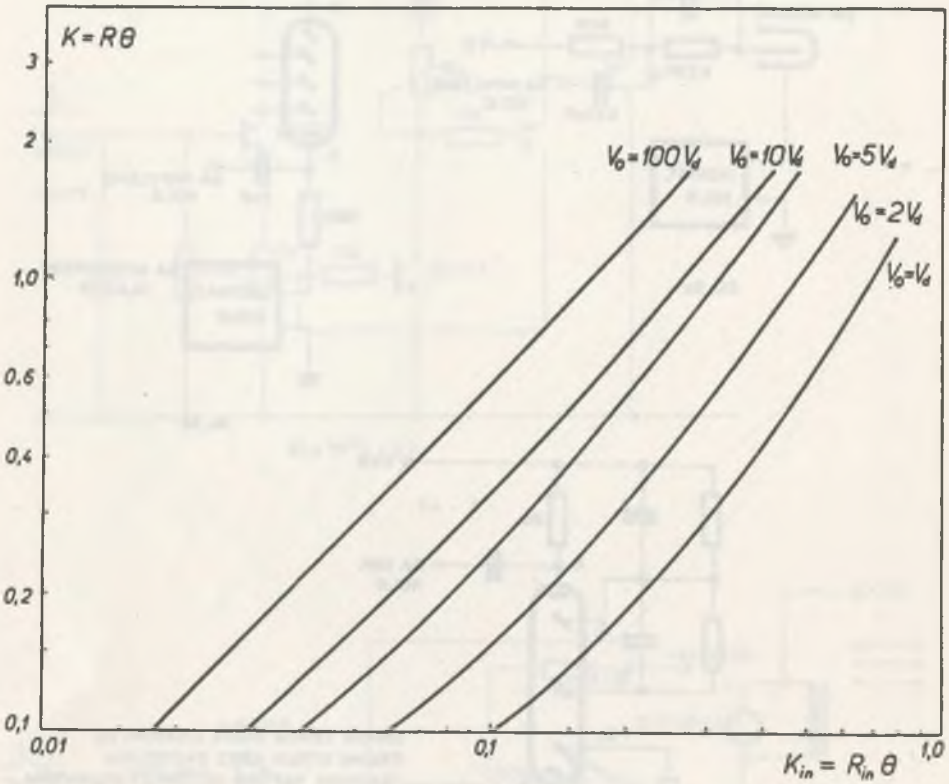
SL. 5a



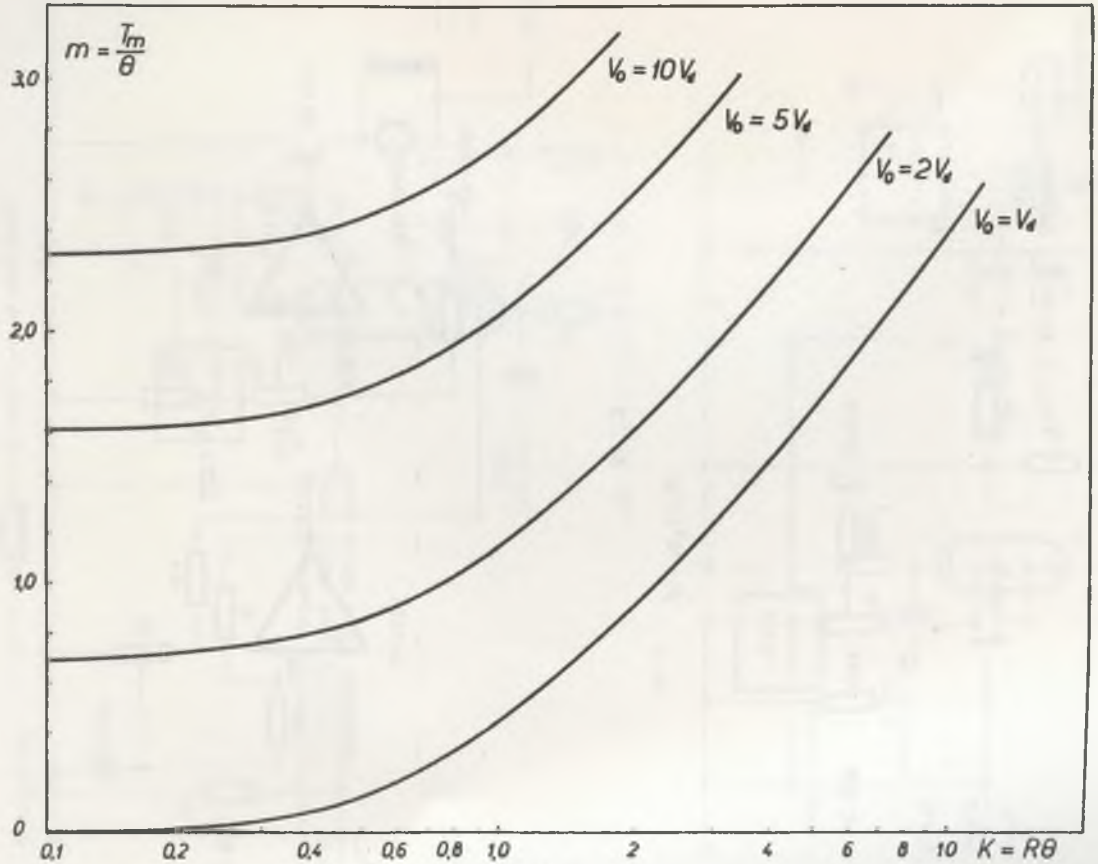
SL. 5b



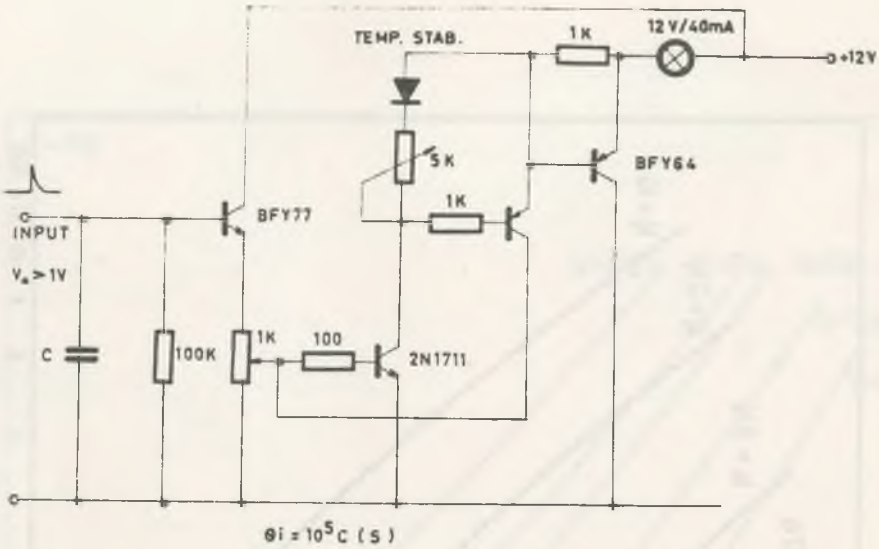
SL. 5c


K = Rθ
3
2
1,0
0,6
0,4
0,2
0,1
0,01
0,1
1,0
V₀ = 100 V_d
V₀ = 10 V_d
V₀ = 5 V_d
V₀ = 2 V_d
V₀ = V_d
K_in = R_in θ

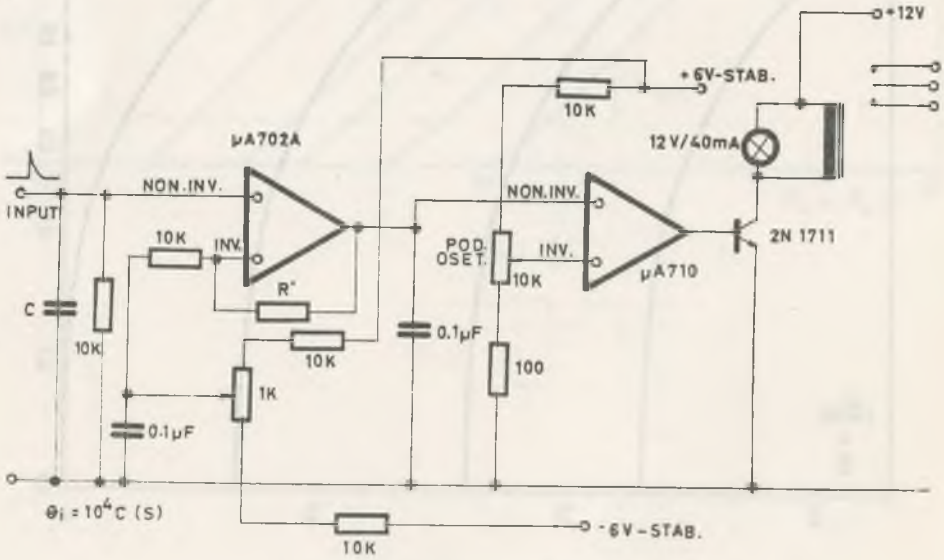
SL. 1


$m = \frac{T_m}{\theta}$
$V_0 = 10V_d$
$V_0 = 5V_d$
$V_0 = 2V_d$
$V_0 = V_d$
3,0
2,0
1,0
0
0,1
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
2
4
6
8
10
$K = R\theta$

SL. 2

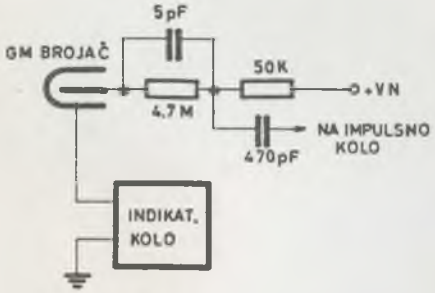


SL. 3

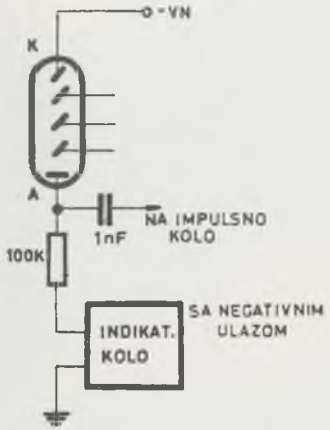


R'-DEFINIŠE POJAČANJE I ODABIRA SE PREMA VRSTI DETEKTORA

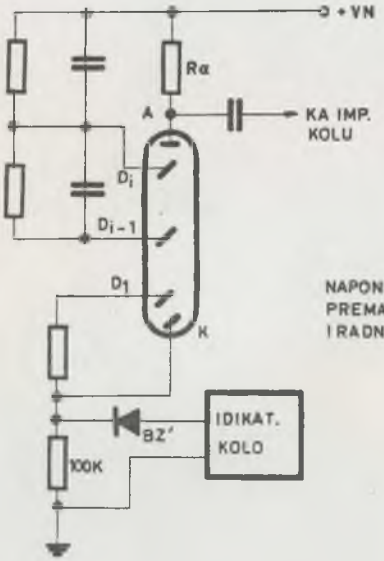
SL. 4



SL. 5a



SL. 5b



NAPON ZENER DIODE ODABIRA SE PREMA STRUJI KROZ RAZDELNIK I RADNOM NAPONU FOTOMULTIPLIKATORA

SL. 5c

M/7/05

DETEKTORI ZRAČENJA VELIKE EFIKASNOSTI I VELIKE BRZINE BROJANJA

S. Muždeka, B. Ćirilov, M. Šmelcerović, S. Kostić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča

U V O D

Ako se od sistema za detekciju i merenje zračenja očekuje velika dinamika u radu, na primer od brzine brojanja nekoliko impulsa u sekundi do vrednosti koje su za 6 do 3 redova veličine veće, pri konstrukciji takvih sistema dolazi do velikih teškoća. Navedena postavka je jasna ako se zna da je pri brzini brojanja od 10^8 imp/s, neophodno da mrtvo vreme celog brojačkog sistema bude manje od 10% od srednjeg vremena izmedju dve uzastopne detekcije tj. u navedenom primeru manje od 1 ns. Primenom najnovije tehnologije i novih komponenata u konstrukciji elektronskih kola, postignute su do sada brzine registracije periodičnih signala do 10^8 Hz, a u nekim eksperimentalnim uredjajima i veće. Ako se daljim razvojem elektronskih kola i reši uspešno problem mrtvog vremena elektronskog dela brojačkog sistema, ostaje problem mrtvog vremena detektora zračenja, kao i problem obrade dobijenih signala na oblik pogodan za pobudjivanje elektronskog brojača.

Dosadašnja rešenja brojačkih sistema velike dinamike zasnivaju se uglavnom na korišćenju dva ili više detektora zračenja, koji se uključuju u brojački sistem zavisno od veličine merenog efekta. Sem toga, problem velike dinamike brojačkog sistema delimično se rešava i promenom vremena merenja, čime se postiže poboljšanje dinamike za 3 do 4 reda veličine.

U daljem tekstu dati su proračuni i prikazi rešenja koja dozvoljavaju upotrebu detektora zračenja poluprovodničkog i scintilacionog tipa, za brzine brojanja do 10^7 imp/s.

SCINTILACIONI DETEKTORI SA ORGANSKIM SCINTILATOROM

Svetlosni signal iz scintilacionog detektora može se uz dobru aproksimaciju pretstaviti jednačinom

$$e(t) = E_b\, e^{-t/T_b} + E_s\, e^{-t/T_s} \qquad (1)$$

gde je $e(t)$ - svetlosni signal u funkciji vremena

E_b - Amplituda brze komponente

E_s - Amplituda spore komponente

T_b - Vremenska konstanta deekscitacije brze komponente

T_s - Vremenska konstanta deekscitacije spore komponente

t - vreme

Kod niza organskih scintilatora doprinos spore komponente u odnosu na brzu je zanemarljiv. Tipičan primer scintilatora ovakvih karakteristika je NE102, kod koga je vrednost konstante $T_b = T = 2{,}5$ ns. Signal iz ovog tipa scintilatora može se predstaviti jednačinom

$$e(t) = E_o\, e^{-t/T} \qquad (2)$$

Pri velikim brzinama brojanja strujni impulsi iz fotomultiplikatora, čiji je oblik dat jednačinom 2, dovode usled efekta nagomilavanja do pojave jednosmerne komponente napona

$$\bar{V} = KE_o \frac{1}{e^{1/RT}-1} \qquad (3)$$

gde je K - konstanta zavisna od parametara elektronskih kola i scintilacionog detektora

R - srednja brzina brojanja

Jednosmerna komponenta napona, data gornjom jednačinom, utiče na kola za uobličavanje impulsa. Da bi se sprečilo gušenje brojačkih kola usled porasta napona $\bar{V}$, potrebno je signal iz fotomultiplikatora, pre dovodjenja na kolo uobliča-

vača, diferencirati i iz uslova da je srednja vrednost jednosmerne komponente napona jednaka nuli, naći optimalnu vrednost diferencijalne konstante. Signal posle diferenciranja ima oblik

$$e_d(t) = \frac{KE_o}{T - \theta_d} (T\, e^{-t/\theta_d} - \theta_d\, e^{-t/T}) \qquad (4)$$

Ukoliko se potraži uslov minimalne srednje vrednosti napona u odnosu na diferencijalnu konstantu, nalazi se da je srednja vrednost napona jednaka nuli pri $\theta_d = T$, tako da jednačina (4) prima oblik

$$e_d(t) = KE_o(1-t/T)\; e^{-t/T} \qquad (5)$$

Uz ovakav izbor kola za uobličavanje signala i pomenutu vrednost konstante za diferenciranje, može se postići maksimalna brzina brojanja, bez opasnosti da se brojački sistem zaguši.

Ukoliko kolo za uobličavanje signala sadrži i integracionu konstantu θ_i, što je redovno slučaj u pojačavačima, pri proračunu vrednosti diferencijalne konstante kojom se eliminiše efekt nagomilavanja, mora se uzeti u obzir i medjusobni odnos T i θ_i. Vrednost optimalne diferencijalne konstante je

$$\theta_{do} = T\left[x - \sqrt{x(x-2)}\right] \qquad \text{za } x > 2 \qquad (6)$$

gde je $x = \theta_i/T$.

Talasni oblik signala 2,5 i integrisanog signala $e_d(t)$ pri $\theta_d = \theta_{do}$, prikazani su na slikama (1, 2, 3).

Ako se mrtvo vreme brojačkog sistema definiše kao vreme potrebno da napon signala opadne ispod nivoa diskriminacije V_D, za vrednost mrtvog vremena ispitivanog signala (jedn. 2) nalazi se

$$T_m = T \ln \frac{KE_o}{V_D(1-e^{-1/RT})} \qquad (7)$$

Primenom kola za diferenciranje, pored sprečavanja efekta nagomilavanja, smanjuje se i mrtvo vreme sistema za

nekoliko puta u zavisnosti od vrednosti napona diskriminatora.

Ukoliko se rezultati izvedene analize primene na scintilator NE102, dolazi se do zaključka da je mrtvo vreme brojačkog sistema oko 10 ns, a maksimalna brzina brojanja 10^7 imp/s.

Izneta analiza nije primenjiva kada se radi sa spektrima zračenja, jer je tada treba dopuniti pri proračunu sa težinskim funkcijama. Aproksimativni rezultati tačnosti do 50%, dobijaju se kada se u jednačinama za mrtvo vreme i jednosmernu komponentu napona, vrednost E_o zameni odgovarajućom srednjom energijom merenog spektra.

POLUPROVODNIČKI DETEKTORI

Vreme sakupljanja slobodnih nosioca naelektrisanja u poluprovodničkim detektorima reda je veličine ns. Ovako mala vrednost vremena sakupljanja naelektrisanja, pruža mogućnost upotrebe poluprovodničkih detektora pri konstrukciji uredjaja namenjenih velikim brzinama brojanja. Specifičan problem kod ovog tipa detektora je njihov sopstveni šum, čije smanjenje zahteva uvodjenje u brojačko kolo odgovarajuće filterske mreže. U najprostijem slučaju, kada je filterska mreža tipa RC-CR, sa vremenskim konstantama znatno većim od konstanata signala iz detektora, naponski signal na ulazu diskriminatora je oblika

$$v(t) = V_o \frac{\theta_i \theta_d}{\theta_i - \theta_d} \left(e^{-t/\theta_i} + e^{-t/\theta_d}\right) \qquad (8)$$

Optimizacija konstante θ_d, o kojoj je govoreno ranije, ovde nije dozvoljena, jer bi inače, usled velike razlike u vrednostima θ_d i θ_{opt} u odnosu na signal/šum, došlo do nedozvoljenog povećanja šuma, odnosno prividnog povećanja odbroja. Kompromisno rešenje predstavlja primena filterskih mreža sa vremenskom konstantom reda veličine 100 ns. Aproksimativan izraz za mrtvo vreme sistema, sa mrežom za uobličenje signala tipa RC-CR je

$$T_m = \frac{\theta_i \theta_d}{\theta_i - \theta_d} \ln \frac{\theta_i}{\theta_d} + \theta_d \ln \frac{V_D}{V_D\,(1-e^{-1/K\theta_d})} \qquad (9)$$

Uz pomoć datih podataka i jednačine (9) sledi da je T_m reda veličine 100 ns, u zavisnosti od V_D, a maksimalna brzina brojanja 10^6 imp/s.

Pri ovim odbrojima signal se ne sme pojačavati predpojačavačem naelektrisanja, jer bi usled velike konstante ulaznog kola došlo do brzog saturisanja predpojačavača.

Očigledno je da se pri spektroskopskim merenjima gde se zahteva stroga proporcionalnost izmedju amplitude signala na ulazu u diskriminator i količine oslobodjenog naelektrisanja, odnosno ukupnog svetlosnog doprinosa iz scintilatora, opisana obrada signala iz detektora zračenja ne sme upotrebiti.

Za unapred datu dinamiku merenja, povećanje gornje granice brzine brojanja, dozvoljava primenu detektora zračenja velike efikasnosti, koji i pri malim vrednostima merenih veličina (uzorci male aktivnosti ili slaba polja zračenja), daju rezultate prihvatljive sa stanovišta statističke obrede rezultata. Mogućnost da se za unapred zadanu vrednost statističke greške smanji vreme merenja za nekoliko redova veličine, a da se pritom ne umanji gornja granica merenja, pruža izvanredne mogućnosti pri kontroli polja zračenja, ili procesa u kojima dolazi do pojave radioaktivnog zračenja sa velikom dinamikom merenje veličine.

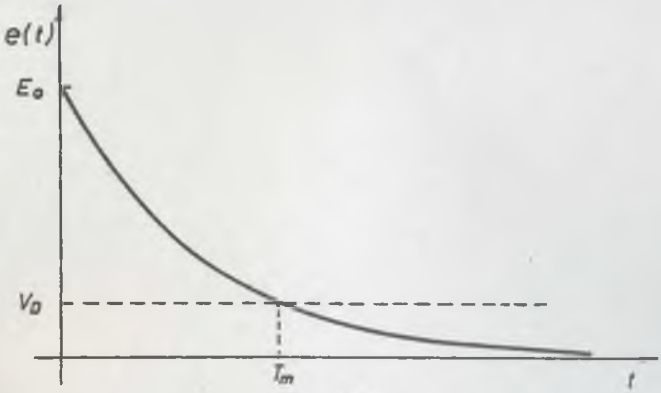
LITERATURA

1. Uticaj filterske mreže, na odnos signal/šum predpojačavača naelektrisanja.
Interna publikacija instituta "Boris Kidrič" IBK-768,1969
B. Ćirilov, S. Kostić, M. Smelcerović

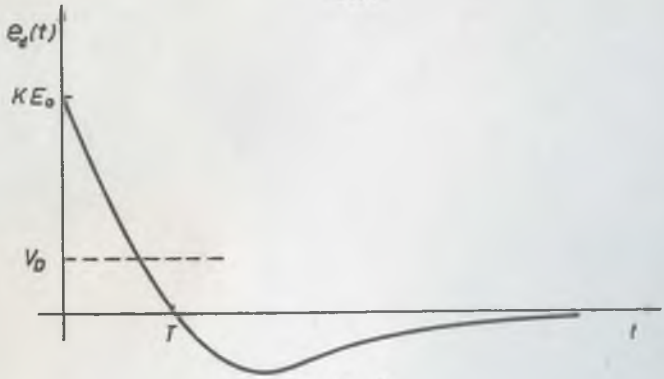
2. Predpojačavači za gasne proporcionalne brojače
IBK-885, 1969
M.Smelcerović, B. Ćirilov, Dj. Bek-Uzarov

3. Measurement of De-Excitation Time of Scintilators in Nanosecond Region
"Isotopenpraxis" 6.Jahrgang, Heft 4/197o
M. Smelcerović, B. Ćirilov

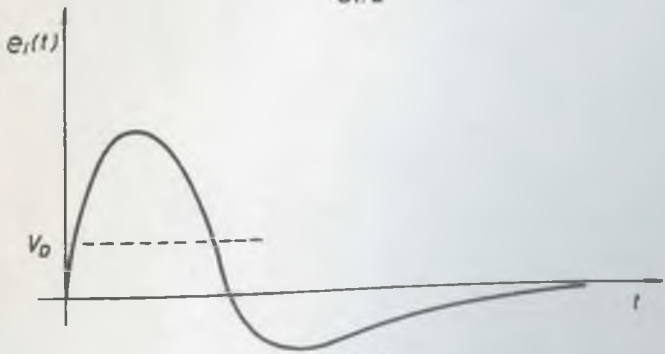
4. Low-Noise Preamplifiers for Nuklear Detektors
Nuclenics Juli 1965



Sl. 1



Sl. 2



Sl. 3

PK 640/70

Nr/7/06

UREDJAJ ZA MERENJE EKSPOZICIONE DOZE I JAČINE EKSPOZICIONE DOZE SA DIGITALNIM POKAZIVANJEM

A.Koturović, S.Muždeka, M.Šmelcerović, B.Stamenković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

UVOD

Kao donja granica merenja polja zračenja, može se uzeti prirodan fon, koji u normalnim uslovima ima vrednost od oko 10^{-5} R/h, dok se za gornju granicu merenja može predvideti vrednost od 10^{4} R/h. Da bi merenje polja zračenja niskog inteziteta imalo smisla sa stanovišta obrade i predočavanja rezultata, potrebno je da detektor u impulsnom radu daje bar nekoliko impulsa u sekundi (ovo se odnosi na uredjaje namenjene stalnoj kontroli polja zračenja). Iz iznetog sledi da je neophodna bolja osetljivost detektora zračenja od 1 imp/s za 10^{-5}R/h, što za gornju granicu kontrolisanog polja zračenja daje vrednost od 10^{9} imp/s. Jasno je da se za sada ne raspolaže detektorima i elektronskim sistemima sposobnim za tako velike brzine brojanja. Rešenje problema ovako širokog intervala merenja može se potražiti u korišćenju više detektora različite efikasnosti.

Ako se upotrebe GM brojači, čija je primena opravdana sa stanovišta pouzdanosti rada i jednostavnosti ugradnje, sa jednim brojačem koji bi na fonu imao zadovoljavajuću efikasnost, moguće je pokriti opseg merenja do vrednosti od 1 R/h. Da bi se opseg merenja proširio na veće vrednosti, potrebno je upotrebiti detektor male efikasnosti, a do sada su izgradjeni detektori zračenja tipa GM brojača sposobni za rad u poljima zračenja do 1000 R/h.

Kako pri merenju ekspozicione doze, tako i pri merenju jačine ekspozicione doze, potrebno je prema intezitetu polja zračenja vršiti izbor detektora zračenja, bilo ručno ili automatski. Pri merenju integralne doze ne sme se u toku merenja menjati efikasnost detekcionog sistema kako se ne bi dobili pogrešni rezultati, dok se pri merenju jačine ekspozicione doze pri promeni detektora zračenja, dobija eventualno pogrešan rezultat samo u vremenu jednog očitavanja, tako da se može primeniti i automatska kontrola efikasnosti brojačkog sistema.

OPIS ŠEME INSTRUMENTA

U šemi instrumenta datoj na sl.1, uočavaju se četiri funkcionalne celine: detektori sa ulaznim kolima, sistem merača integralne doze, sistem za merenje jačine doze sa kolom za automatsku izmenu brojača i izvor vremenskih signala.

Kao brojač u rengenskom području upotrebljen je GM brojač DT1, tipa 18529 (Philips), koji pri jačini doze od 1 R/h daje 6o imp/s i koji je posebnim oklapanjem načinjen energetski manje zavisnim u oblasti energija od 5o KeV do 2 Mev. Pri radu sa ovim brojačem indikacija na instrumentu je 1 R/h do 5oo R/h za merenje jačine doze, a integralna doza se meri u Rengenima.

Za merenje pri manjim poljima upotrebljava se GM brojač DT2, tipa 185o4 (Philips) čiji odgovor je 2o imp/s za polje zračenja od 1 mR. Jedinice u kojima se prikazuju rezultati pri upotrebi ovoga brojača su mR/h za jačinu doze i mR za vredmost integralne doze.

Brojači se napajaju posebno iz dva visokonaponska stabilizatora. Signal iz brojača se uobličava monostabilnim multivibratorom i vodi dalje na brojačka kola i kolo automatskog izbora detektora.

Da bi se prilagodila uzajamna efikasnost brojača na odnos $1:10^3$, signali iz detektora DT1 vode se na delitelj modula N (DMN), čiji je moduo za upotrebljeni brojač 3.

Sistem za merenje integralne doze sastoji se od skupa pristupnih logičkih kola i deliteljskog-brojačkog lanca. Pristupna logička kola propuštaju signale iz detektora DT1 ili DT2, zavisno od položaja preklopnika S kojim se ručno bira opseg merenja integralne doze. Da bi se rezultat dobio u mR odnosno R, potrebno je izvršiti podešavanje razmere koje se obavlja dovodjenjem propuštenih impulsa na delitelj modula 2 (DM2). Impulsi se dalje vode na integrisane dekadne brojače D i mehanički brojač MB sa indikacijom I. Elektronski i mehanički brojači imaju kapacitet od sedam dekada, što omogućava merenje ekspozicione doze do 10^4 R. Anuliranje sadržine radi otpočinjanja novog merenja, vrši se ručno - električnim impulsom za elektronska brojačka kola i mehaničkim putem za mehanički brojač.

Kolo za automatski izbor detektora RD i skup logičkih kola čine ulazna kola sistema za merenje jačine doze. Reitmetarsko-diskriminatorsko kolo RD daje na svom izlazu jedan od dva moguća nivoa u zavisnosti od toga da li je srednji odbroj iz detektora DT1 i DT2 veći ili manji od unapred odredjene vrednosti. Odabrana vrednost odbroja na kojoj reaguje reitmetarsko-diskriminatorsko kolo odgovara vrednosti jačine doze od 1 R/h.

Izlazni signal iz reitmetarsko-diskriminatorskog kola preko logičkih kola, u zavisnosti od merenog polja zračenja, dovodi impulse iz detektora DTI ili DT2 na brojačka kola sistema za merenje jačine doze. Pri automatskoj promeni brojača isto tako se automatski indicira svetlosnim signalom opseg merenja.

Dovodjenjem propuštenih impulsa na delitelj modula 2 (DM2) vrši se grubo podešavanje razmere da bi se rezultat merenja dobio

u R/h odnosno mR/h. Dalje prilagodjavanje razmere obavlja se deljenjem broja impulsa sa faktorom 10. Delenje se obavlja integrisanom brojačkom dekadom D. Impulsi se posle toga odbrojavaju sa tri integrisane brojačke dekade D. Optičkom indikacijom I, prikazuje se rezultat brojanja, odnosno merenja.

Merenje jačine doze zahteva da se brojanje impulsa obavlja u definisanom vremenskom intervalu, u našem slučaju on iznosi približno jednu sekundu. Fino podešavanje razmere pri merenju jačine doze vrši se preciznim izborom vremena brojanja. Izmerena vrednost ostaje na indikatorskim elementima približno tri sekunde - vreme dovoljno da se očitaju tri cifre. Za vreme očitavanja brojanje se ne obavlja. Pre počinjanja novog ciklusa odbrojavanja sadržina brojačkih dekada se anulira.

Potrebne signale za kontrolu ciklusa odbrojavanja, prikazivanja i brisanja obezbedjuje izvor vremenskih signala T.

Mada be se osetljivost sistema za merenje jačine doze mogla povećati za 10 puta uključivanjem u u indikaciju i prve brojačke dekade D, zbog statističke prirode merene veličine prikazani rezultat na toj dekadi bi bio pogrešan.

Vršenjem korekture očitanih rezultata merenja pri jakim poljima zračenja, pomoću dijagrama efikasnosti detektora, moguće je proširiti gornju granicu merenja do vrednosti 1000 R/h.

Deo uredjaja predvidjen za merenje integralne doze može ispravno da radi samo u poljima zračenja manjim od 1000 R/h.

ZAKLJUČAK

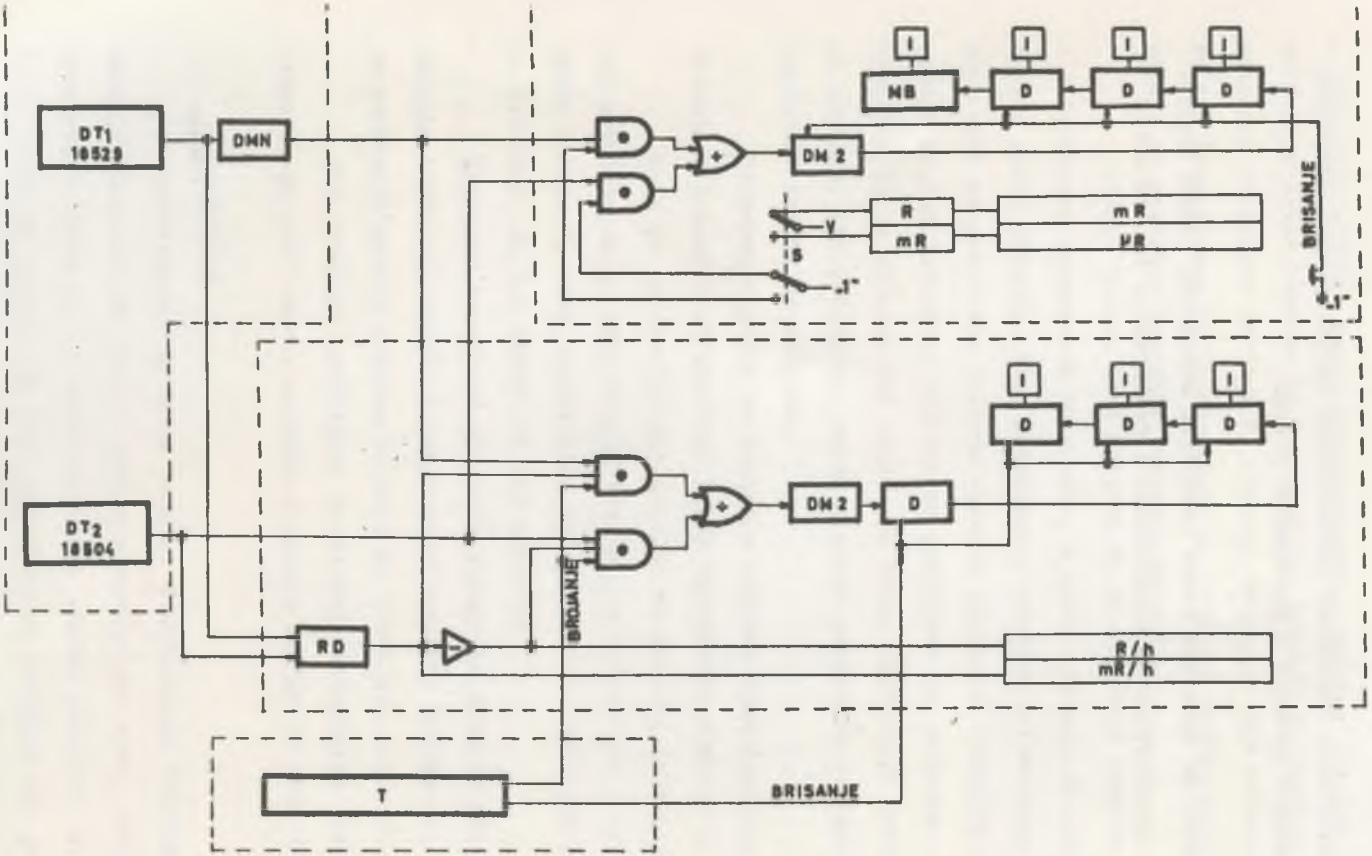
Korišćenjem digitalne tehnike u prikazanom instrumentu za merenje ekspozicione doze i jačine ekspozicione doze, dobijen je instrument kojim se cifarski prikazuje mereni rezultat dva parametra važna za radiološku zaštitu. Time su dobijene sve prednosti digitalnih instrumenata, kao što su : brzo, jednostavno i tačno

čitanje rezultata, mogućnost jednostavnog registrovanja rezultata, uvećana tačnost merenja i pouzdanost u radu.

. . .

Autori su zahvalni svome tehničkom saradniku Ivanki Stanojević za angažovanje na ispitivanju i realizaciji instrumenta.

PK 640/79



BLOK ŠEMA
SL.1

Nr /7/09

JEDNO REŠENJE NEUTRONSKOG MERNOG LANCA ZA PRIMENU U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

N.Lero , P.Frantlović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Uvod

U sklopu merenja koja se vrše na reaktorskim postrojenjima u cilju zaštite od zračenja,značajno mesto pripada merenju fluksa termalnih neutrona. Danas postoji više različitih metoda za odredjivanje ove veličine,koje se medju sobom najviše razlikuju u konstrukciji detektora. Često se kao detektori koriste različite varijante impulsnih proporcionalnih gasnih brojača (BF_3 brojači i sl.). Dalja obrada informacije iz ovih detektora svodi se na $n - \gamma$ diskriminaciju i na odgovarajuće pojačanje detektorskih signala,kako bi se uz minimalni gubitak informacije oni mogli registrovati podesnim brojačkim uredjajem. Uobičajeni tretman detektorskog signala pre njegovog dovodjenja na brojački uredjaj pokazuje u praksi odredjene nedostatke. Današnji nivo razvoja poluprovodničkih komponenata u integrisanoj tehnici daje mogućnost da se većina ovih nedostataka otkloni. U radu je izloženo jedno rešenje neutronskog mernog lanca pogodnog za primenu u zaštiti od zračenja,kod kojeg usvojeni tretman detektorskog signala i primenjene elektronske komponente daju odredjene prednosti u odnosu na konvencionalne sisteme iste namene.

Konvencionalno rešenje mernog lanca sa BF_3 detektorom i njegovi nedostaci

Konvencionalni merni lanac sa BF_3 detektorom može se predstaviti blok-šemom prikazanom na sl.1. Izlazni signal BF_3 detektora,koji se može smatrati impulsom struje (sl.2a) integrira se na pogodno odabranoj RC konstanti izlaznog kola detektora i dobija se naponski impuls (sl.2b),koji traje duže od same pojave u detektoru. U neposrednoj blizini detektora nalazi se predpojačavač,koji uglavnom ima ulogu transformatora impedanse (prelaz sa visoke impedanse izlaznog ko-

la detektora na nisku karakterističnu impedansu kabla). Signal se dalje prenosi koaksijalnim kablom do glavnog pojačavača i diskriminatora, koji su, zajedno sa brojačkim uredjajem i odgovarajućim izvorima napajanja smešteni u kontrolnoj sobi reaktora.

Opisana konfiguracija mernog lanca ima, naročito u primeni na reaktorskim postrojenjima, više funkcionalnih i eksploatacionih nedostataka. Ovi nedostaci uglavnom proističu iz činjenice da je usvojeni tretman detektorskog signala u naponskom (integralnom) obliku. Prva posledica ovog tretmana je da pri većim brzinama brojanja dolazi do izražaja efekat nagomilavanja, s obzirom da naponski impuls ima veće trajanje od primarne pojave u detektoru. Za dalji tretman dobijenog naponskog signala zahteva se elektronski sistem velike ulazne impedanse, s obzirom na relativno visoku impedansu detektorskog izlaznog kola. To podrazumeva korišćenje predpojačavača uz sam detektor. Ovakvo lociranje predpojačavača nepovoljno je zbog uticaja ambijenta (temperatura, zračenje) na elektronske komponente. Potreba za dovodjenjem napona napajanja za predpojačavač zahteva primenu višežilnog kabla. Provera ispravnosti i eventualno servisiranje predpojačavača veoma su otežani u uslovima kontinualnog rada reaktorskog postrojenja.

Rešenje neutronskog mernog lanca sa tretmanom detektorskog signala u primarnom obliku

Imajući u vidu sve navedene nedostatke konvencionalnog rešenja mernog lanca sa BF_3 detektorom, razmotrena je mogućnost drugačijeg prilaza tretmanu detektorskog signala.

U predloženom rešenju pošlo se od detektorskog signala u njegovom primarnom vidu. To je dalo mogućnost da se izbegne korišćenje predpojačavača neposredno uz detektor, s obzirom da je ovde bilo moguće uzeti malu vremensku konstantu izlaznog kola detektora, jer nije vršeno integriranje primarnog detektorskog signala. Time je omogućeno da se detektor veže neposredno na koaksijalni kabl.

Konkretno rešenje mernog lanca prikazano je na sl.3.

BF_3 detektor priključen je direktno na kabl. S obzirom na relativno visok nivo elektromagnetnih smetnji na reaktorskom postrojenju,upotrebljen je triaksijalni kabl,kako bi se odnos signal - šum održao na odgovarajućem nivou. Ovim kablom signal se vodi od detektora do kontrolne sobe reaktora,u kojoj je koncentrisana elektronska instrumentacija mernog lanca. Dužina kabla može iznositi do 100 m. Centralni (signalni) provodnik kabla iskorišćen je istovremeno i za dovodjenje potrebnog visokog napona na detektor.

Ulazno kolo pojačavačkog dela mernog lanca izvedeno je tako da omogući zatvaranje kabla njegovom karakterističnom impedansom,tako da se izbegava pojava refleksije na kablu. U tom cilju je na ulaz pojačavača postavljen dodatni promenljivi otpor R_t,koji se superponira sa ulaznom impedansom pojačavača,a vrednost mu se podešava tako da se rezultantna ulazna impedansa kola izjednači sa karakterističnom impedansom kabla.

Za tretman detektorskog signala u njegovom primarnom obliku potrebno je koristiti impulsni pojačavač sa propusnim opsegom oko 20 MHz,dok je potrebno pojačanje odredjeno osetljivošću diskriminatora. Savremeni integrisani diskriminatori visoke osetljivosti (npr. μA 710) zahtevaju prethodno pojačanje detektorskog signala reda 30 - 40 dB. Rezultati analize i eksperimentalnog rada pokazali su da se kao impulsni pojačavač koji zadovoljave gornje zahteve može primeniti linearni integrisani pojačavač μA 702A,uz odgovarajuću frekventnu kompenzaciju.

U konfiguraciji koja je ovde primenjena (sl.3),pojačavač ima sledeće karakteristike u impulsnom režimu :

Naponsko pojačanje	36 dB ;
Propusni opseg	21,6 MHz ;
Prednje premašenje imp.	5% ;
Zadnje premašenje impulsa	10% ;
Šum pojačavača (sveden na ulaz)	$< 20\ \mu V_{pp}$;
Vreme oporavka pri preopterećenju od 30 puta :	$< 0,5$ us.

Kao diskriminator primenjena je linearna integrisana komponenta μA 710 (diferencijalni komparator),čiji se nivo

diskriminacije može regulisati,a pouzdan rad u širokom temperaturnom opsegu može se postići sa impulsima čija amplituda prelazi 5 mV.

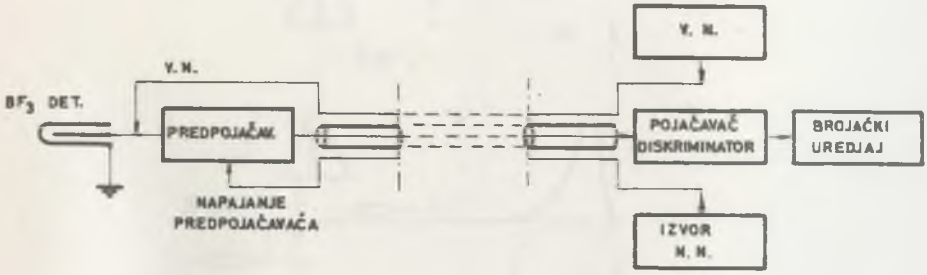
Signal se dovodi na jedan od simetričnih ulaza komparatora,a referentni napon,kojim se podešava nivo komparacije, na drugi ulaz. Nominalno vreme razlaganja komparatora iznosi 40 ns. Izlazni impulsi mogu se direktno voditi na digitalnu obradu,jer su prilagodjeni zahtevima pobude digitalnih integrisanih kola.

U realizovanom mernom lancu za brojanje i indikaciju detektorskih impulsa upotrebljen je brojački uredjaj STV-1 konstruisan u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič". Uredjaj je skalerskog tipa,sa digitalnom indikacijom rezultata merenja. Indikacija se vrši na šest cifarskih mesta pomoću "Nixie" cevi. Uredjaj sadrži i stabilisani izvor visokog napona,koji je kontinualno promenljiv u granicama od 300 V do 3000 V.,čije performanse u potpunosti odgovaraju zahtevima BF_3detektora. Postojeći digitalni indikacioni sistem iskorišćen je i za merenje vrednosti visokog napona.

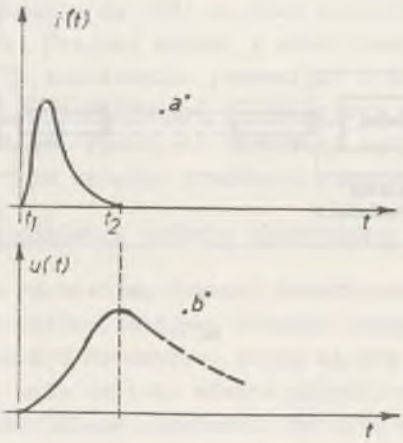
Prednosti predloženog rešenja neutronskog mernog lanca

S obzirom da je usvojen tretman detektorskog signala u njegovom primarnom obliku,dobijeni strujni signal ima isto trajanje kao i pojava u detektoru. Stoga ni pri velikim brzinama brojanja ne može doći do efekta nagomilavanja,čime su u potpunosti iskorišćene mogućnosti detektora. Pri tome se detektorski signal može voditi neposredno na kabl,čime se izbegava korišćenje predpojačavača. Time se eliminiše potreba za korišćenjem višežilnog kabla,već se radi dobijanja optimalnog odnosa signal - šum preporučuje korišćenje triaksijalnog kabla. Celokupna elektronska instrumentacija impulsnog lanca može biti koncentrisana na jednom mestu (kontrolna soba reaktora),što omogućuje jednostavnu proveru ispravnosti i servisiranje u uslovima kontinualnog rada postrojenja.

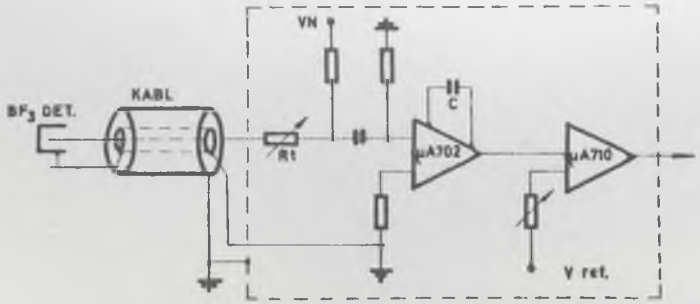
Pomenuta poboljšanja u odnosu na klasičnu koncepciju mogu se postići po cenu pooštrenih zahteva u odnosu na tehniku izvodjenja ulaznog kola , kao i na karakteristike upotrebljenog impulsnog pojačavača.


V. N.
BF_3 DET.
PREDPOJAČAK
NAPAJANJE
PREDPOJAČAVAČA
V. N.
POJAČAVAČ
DISKRIMINATOR
BROJAČKI
UREDJAJ
IZVOR
N. N.

SL. 1



SL. 2



SL. 3

PRENOSNI ČITALNIK TERMOLUMINESCENČNIH DOZIMETROV

ČTLD - 6912

Z.Milavc, F.Celar

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, p.p.199

Uvod

Način delovanja termoluminescenčnih dozimetrov (TLD) je bil že večkrat opisan (1, 2), zato se bomo omejili le na razlago aparature, ki smo jo izdelali v letu 1969. Uporabljamo jo za merjenje TLD z direktnim gretjem.

Vsak TLD ima vgrajen električni grelec, ki je pritrjen na kovinsko ohišje z dvema kontaktoma za električni tok, s katerim zelo konstantno dovajamo toploto v dozimeter. Zaradi tega temperatura TLD kot funkcija časa stalno narašča in sicer vedno na enak način.

Kakor je znano, zavisi količina izsevane svetlobe v TLD pri dovolj počasnem gretju od prejete doze v radih, to je od energije ionizirajočih žarkov, ki se je absorbirala v TLD. Ker je segrevanje zelo dobro ponovljivo, ni potrebno določevati celotne izsevane svetlobe, temveč se omejimo le na merjenje največje intenzitete svetlobe. S tem smo zmanjšali vpliv fluktuacije in šuma aparature pri določanju malih doz. Da bi še nadalje izboljšali občutljivost aparature za majhne doze v miliradskem področju in odpravili vpliv "temnega toka" v fotopomnoževalki, ki služi kot detektor svetlobe, smo svetlobni tok iz TLD razsekali z vrtečo ploščo, izmenično ojačili, fazno demodulirali ter šele po tem določamo maksimalno vrednost izsevane svetlobe. Ker je zaželjeno objektivno čitanje rezultata, smo dodali analogno-digitalni pretvornik, tako da dobimo rezultat merjenja na numeričnih indikacijskih ceveh. Pri aparaturi ČTLD-6912 ne izkoriščamo

velike občutljivosti omenjenega chopperskega sistema, saj je kalibrirana le za doze od 1 do 999 radov z napako ± 1 rad ± 10%. Na sliki 1 vidimo izgled čitalnika, na sliki 2 pa je narisana njegova blok shema. Ker je merilnik prenosen, smo napajanju z energijo posvetili veliko pozornosti (slika 3). Namreč izkušnje, ki smo jih dobili pri delu s prenosnimi aparaturami kažejo, da je problem energije za pogon vedno prisoten, saj zahteva vzdrževanje akumulatorjev, posebno še svinčenih, veliko pazljivosti, vestnosti in solidnosti od osebja. Čitalnik TLD-6912 je možno napajati iz vsakega 12 V akumulatorja, iz omrežja ali kombinirano. Merilnik lahko uporabimo tudi kot avtomatični polnilnik akumulatorja.

Napajanje

Če priključimo merilnik preko spojke na čelni plošči (slika 1) le na omrežje, deluje vezje na sliki 3 kot običajen stabilizirani usmernik za 12 V z omejitvijo toka na 3 A.

Lahko pa delamo samo z akumulatorjem, ki je priključen preko druge spojke. V tem primeru tlivka na čelni plošči signalizira, ko se akumulator sprazni do meje, kjer je koristno prenehati z merjenjem TLD, in je potrebno ponovno napolniti akumulator. Za prižiganje tlivke uporabljamo Schmittovo vezje. Električno polnjenje akumulatorja velikosti 10 Ah zadostuje za meritev nad 1000 komadov TLD. Elektronsko vezje v čitalniku je varno pred eventuelno napačno priključitvijo akumulatorja, vendar aparatura takrat ne deluje.

Ko vtaknemo kabel za akumulator v spodnji priključek na sliki 1, spojimo točki A in B na sliki 3. S tem izklopimo tranzistorsko stabilizacijo napetosti. Napajalna napetost je sedaj odvisna le od akumulatorske napetosti, tudi če priključimo omrežje (puferska vezava). Posebno Schmittovo vezje skrbi, da se

akumulator preveč ne napolni ali izprazni. Vedno, kadar merilnik priključimo na omrežje, se vezje postavi v stanje, da se akumulator polni z omejenim tokom cca 1,5 A do predpisane napetosti, potem pa se ventilni tranzistor zapre. Ponovno polnjenje se prične šele tedaj, ko se zmanjša napetost pod določeno vrednost. Tako ne moremo poškodovati svinčenega akumulatorja in ga lahko obdržimo stalno polnega preko celega leta na ta način, da imamo merilnik priključen na omrežje in akumulator. Skrbeti moramo le za nivo elektrolita in čistočo kontaktov na akumulatorju.

Detekcija svetlobe (slika 4)

Svetloba iz obsevanega in gretega dozimetra pada skozi filter za rdečo in infrardečo svetlobo na katodo fotopomnoževalke. Z motorčkom gnana segmentna plošča izmenoma prekinja ta svetlobni tok. Istočasno prekinja še infrardečo svetlobo, ki jo seva laserska dioda napajana iz + 4 V. Anodni tok fotopomnoževalke, ("temni" in prištet izmenični tok iz fotopomnoževalke) povzroči na anodnem uporu ustrezen napetostni signal. Z izmeničnim ojačevalnikom z vhodno upornostjo velikosti 100 Mohm, ki ga tvori prvi operacijski ojačevalnik μA 709, signal ojačimo in s FET-om fazno demoduliramo. Ta tranzistor poganjamo s pravo fazo s pomočjo fotodiode, občutljive na infrardečo svetlobo omenjene laserske diode.

Polvalno usmerjeno napetost ojačimo in zgladimo s časovno konstanto 0,24 sek v negativni povratni vezi drugega operacijskega ojačevalnika. Pozitiven vhod ojačevalnika uporabimo za reguliranje ničle merilnika, s pomočjo potenciometra na čelni plošči. Izhodni signal je neodvisen od velikosti temnega toka, pa tudi šum smo s tem sistemom zelo zmanjšali, saj ojačuje le lastno choppersko frekvenco cca 700 Hz z eksponentcialno širino

pasu 4 Hz. Na ta način lahko merimo zelo šibke svetlobne signale, ne da bi bilo potrebno fotopomnoževalko hladiti. Pozitiven napetostni signal iz ojačevalnika vodimo na merilnik vrha.

Detekcija vrha*(slika 4)

Uporabljena sta operacijska ojačevalnika, od katerih deluje prvi kot napetostni komparator med vhodno napetostjo in napetostjo na izhodu detektorja največje vrednosti. Drugi operacijski ojačevalnik pa deluje kot integrator izhodne napetosti komparatorja, vendar le v eno smer, ki zavisi od uporabljenega tipa FET-a med obema operacijskima ojačevalnikoma. S pomočjo tega tranzistorja določamo ali deluje detektor vrha kot navaden ojačevalnik ali kot detektor vrha. Največja vrednost napetosti, ki se je med gretjem TLD pojavila na vhodu detektorja vrha, ostane shranjena kot naboj na integracijskem kondenzatorju 10 μF za nekaj ur. Ko TLD vzamemo iz čitalnika, se detektor vrha avtomatično spremeni v ojačevalnik in izhod se vrne na ničlo. Na detektor vrha je vezan pretvornik, da napetost oziroma dozo odčitamo numerično.

Analogno-digitalni pretvornik(slika 5)

Negativni izhod iz detektorja vrha vodimo na vhod pretvornika, to je na vhod napetostnega komparatorja Op 3. Na drugi vhod istega komparatorja vodimo žagasto napetost, ki jo generirata Op 1 in Op 2. S časom linearno naraščajočo napetost iz Op 1 primerjamo torej z vhodno napetostjo. S komparatorjem Op 4 pa določimo kdaj je ta linearna napetost enaka nič. Ko se eden izmed obeh komparatorjev preklopi, se preko vezja, ki ga tvori skupina NAND elementov, odprejo vrata trodekadnega števca impulzov (μCL 9958) in impulzi iz generatorja Op 5 se seštevajo tako dolgo, dokler drugi komparator ne konča štetja. Iz Op 2 dobimo sig-

*Vložena je zahteva po patentni zaščiti.

nal, ko je konec linearnega dela napetosti iz Op 1. Ta signal uporabimo za prenos (transfer) preštetih impulzov iz dekad v spominske enote (μCL 9959), ki so povezane z dekoderji in driverji (μCL 9960) za prižiganje numeričnih indikacijskih cevi. Na teh ceveh dobimo številko, ki pomeni dozo v radih.

Takoj za tem se vrne integrator in števne dekade v začetno lego (reset) in pretvorba se ponovi.

V slučaju, da je doza večja od 999 radov, se prekucne dvojček vezan na izhod tretje števne dekade in indikacija ostane na številki 999 s pomočjo šestih tranzistorjev na dekadah.

Gretje

Kakor smo že uvodoma omenili, je vgrajen v vsakem TLD grelec iz uporovnega materiala z nizkim temperaturnim koeficientom. En konec upora je privarjen na izolirano sredino kovinskega ohišja, drugi konec pa direktno na ohišje TLD. Ko vstavimo tak TLD v čitalnik, pritisnemo s posebnim mehanizmom električne kontakte iz zlitine zlato-iridij na oba konca uporovnega grelca.

Z vezjem na sliki 6 stabiliziramo električen tok skozi grelec. Zaradi tega prehodna upornost na električnih kontaktih TLD ne vpliva na Joulovo toploto, ki se razvija v TLD. Moč, potrebno za segretje dozimetra na 350°C je 10 ÷ 20 W in je odvisna od konstrukcije in toplotne izolacije. Stabilizacija toka je izvedena s preklapljanjem tranzistorja 2N 5036. Tok merimo s padcem napetosti na uporu 0,2 ohm in ga primerjamo z referenčno napetostjo, ki jo nastavimo z nastavljivim uporom 5 kohm. Razliko obeh napetosti ojačimo z operacijskim ojačevalnikom, ki deluje kot komparator s histerezo. Tako je tranzistor 2N 5036 ali popolnoma odprt ali popolnoma zaprt. Tok zgladimo z elektrolitom in feritno dušilko, ki ima sklenjen tokokrog na maso preko diode,

za katero smo uporabili kolektor-baza tranzistorja. S tem vezjem dosežemo, da se porabi v TLD nad 80% energije za stabilizirano gretje.

Meritev začnemo z ročnim vrtenjem glave čitalnika za tretjino v desno. S tem smo pritisnili kontakte na TLD, odprli mehansko zaslonko pred fotokatodo in pritisnili stikalo MS, ki vključi detektor vrha, vključi gretje, in začne teči timer na sliki 6 spodaj.

Po preteku nastavljenega časa, npr. 20 sek, timer preko Zehner-diode BZ 18 (slika 6) izklopi gretje. Sedaj odčitamo izmerjeno dozo na numeričnih ceveh. Ko zavrtimo glavo čitalnika v levo, izpade TLD, briše se rezultat, resetira se timer in čitalnik je pripravljen za novo meritev.

S takim načinom segrevanja smo dosegli dobro ponovljivost naraščanja temperature v TLD, ki direktno vpliva na natančnost meritve.

Pretvorniki napetosti (slika 7 zgoraj)

Potrebujemo jih za spremembo baterijske napetosti, ki se lahko spreminja od 11 do 16 V, v delno stabilizirane napetosti za napajanje operacijskih ojačevalnikov ± 12 V, napajanje digitalnih mikrovezij + 4 V in + 200 V za numerične indikacijske cevi.

Visoka napetost in kalibracija

Za napajanje fotopomnoževalke uporabljamo visokostabilen vir napetosti, ki ga lahko nastavljamo od - 500 V do - 1500 V (slika 7 spodaj). Oscilator je vezan v serijo z ventilskim tranzistorjem, ki ga krmili operacijski ojačevalnik. Na vhod tega ojačevalnika je preko verige uporov vezan izhod usmerjane visoke napetosti in referenčna napetost. S spreminjanjem uporov bodisi v visokonapetostni verigi ali s spremenljivim uporom v refe-

renčni veji lahko nastavimo poljubno napetost v prej omenjenih mejah. Na ta način kalibriramo čitalnik na pravilne doze v poljubnem območju. Čitalnik TLD-6912 potrebuje napetost okoli - 500 V, dočim dosežemo pri napetostih nad - 1200 V okrog tisočkrat večjo občutljivost.

Kot sekundarni standard, ki služi za kontrolo pravilnega delovanja in za kalibracijo čitalnika, uporabimo izvor svetlobe firme "Betalight". To je steklena cevka s fluorescenčno prevleko in napolnjena s tritijem. Čitalnik kalibriramo na ta način, da s TLD umerimo najprej svetlobni standard. Ko je znano kolikim radom ustreza svetloba iz standarda, ga vstavimo v čitalnik in spreminjamo visoko napetost tako dolgo, dokler numerične cevi ne kažejo ustrezajoče številke.

Ker ima tritij dovolj dolgo razpolovno dobo (12,3 let), sekundarni standard ni potrebno pogosto umerjati, zadostuje kontrola z dozimetri n.pr. enkrat letno.

Šasija čitalnika

Izdelana je iz čelne in zadnje plošče, ki sta povezani s štirimi nosilci (slika 8). Vsa opisana elektronika sestoji iz dveh plošč tiskanega vezja, pričvrščenih na nosilce. Tak način montaže nam omogoča, da so vsi sestavni elementi čitalnika in vezje zelo lahko dostopni pri morebitnih popravilih (glej sliko 8), razen tega pa je relativno malo medsebojnih žičnih povezav.

Čitalnik je vstavljen v standardno škatlo TG-1 (280x240x 160 mm^3) in je tako zaščiten proti vremenskim neprilikam. Dodatno je čelna plošča delno zatesnjena, kar omogoča merjenja pri škropljenju z vodo. Celotna teža čitalnika je 7,7 kg.

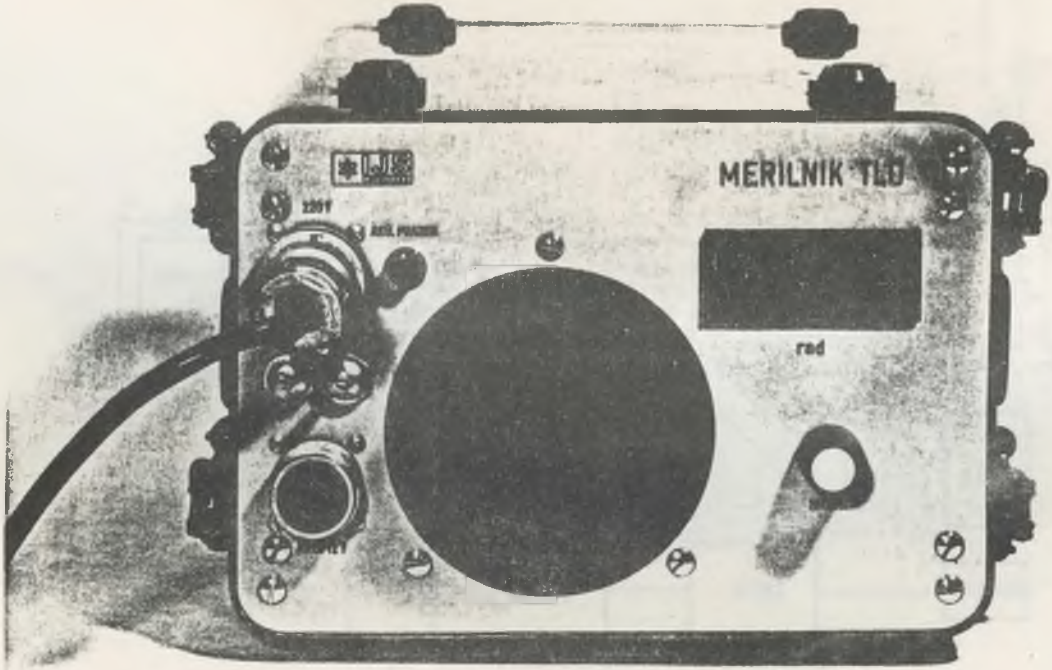
Zaključek

Preiskusi v temperaturni komori so pokazali pričakovano delovanje čitalnika od -15° do + 45°C. Tudi nekaj preiskusnih meritev s TLD ja dalo dobre rezultate, vendar do trajnostnega preiskusa z uporabo v osebni dozimetriji ni prišlo, ker je šel razvoj naprej k TLD, ki jih grejemo z zunanjim grelcem.

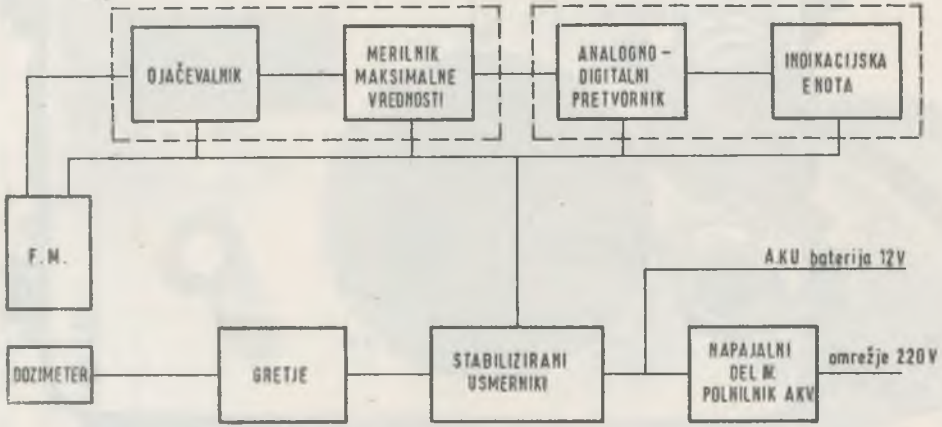
Opisani čitalnik je pokazal veliko občutljivost za merjenje zelo majhnih svetlobnih tokov brez hlajenja fotopomnoževalke ter je zato primeren za merjenje malih doz s TLD.

Literatura

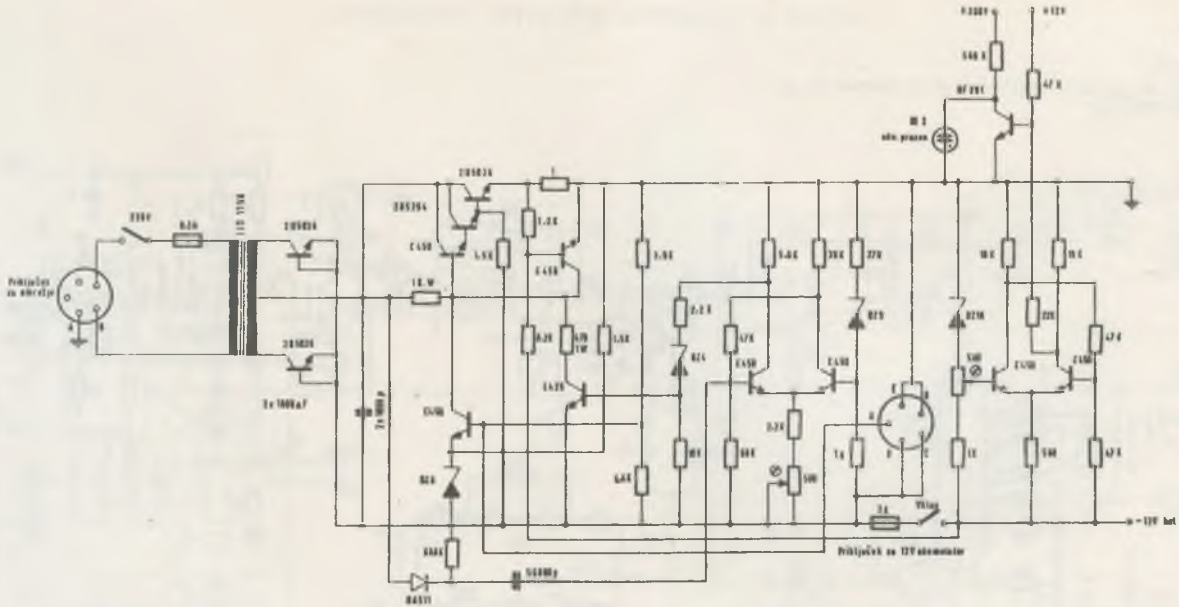
1. M.Mihajlović, V.Kosi, M.Mihajlović, Z.Milavc, A.Podgoršek, S.Smrekar, L.Sedej, Termoluminescenčni dozimetri sa CaF_2:Mn ugradjenim u emajl i odgovarajući čitači doza, III.jugoslovanski simpozij o zaščiti pred sevanjem, 23. do 26.10.1967, Banja Luka.
2. M.Mihajlović, V.Kosi, M.Mihajlović, Z.Milavc, An Enamel Coated CaF_2:Mn Thermoluminescent Dosemeter and the Reading Instrument, Phys.Med.Biol.,Vol.12, No.3(1967), 395-402.



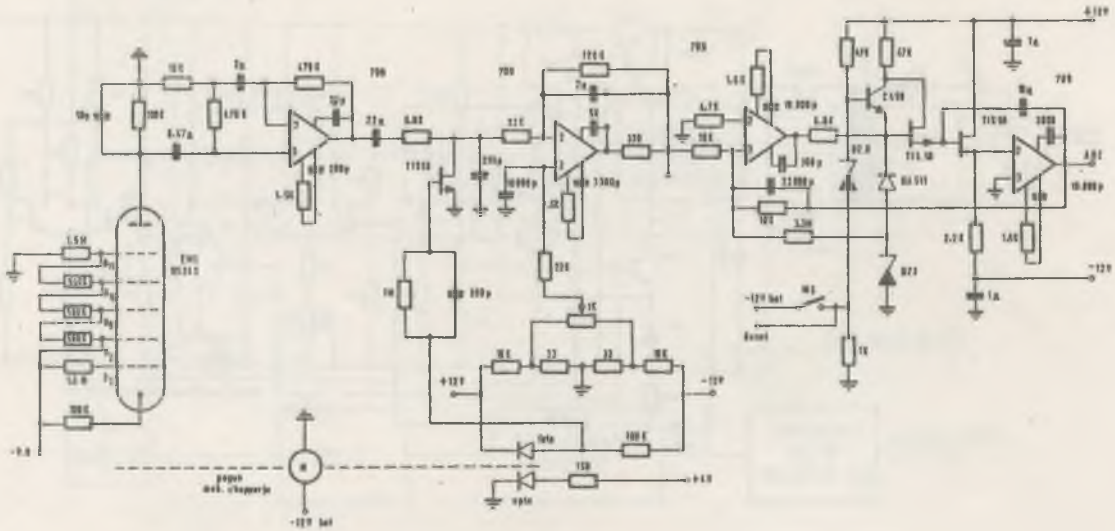
Slika 1. Foto čelne plošče



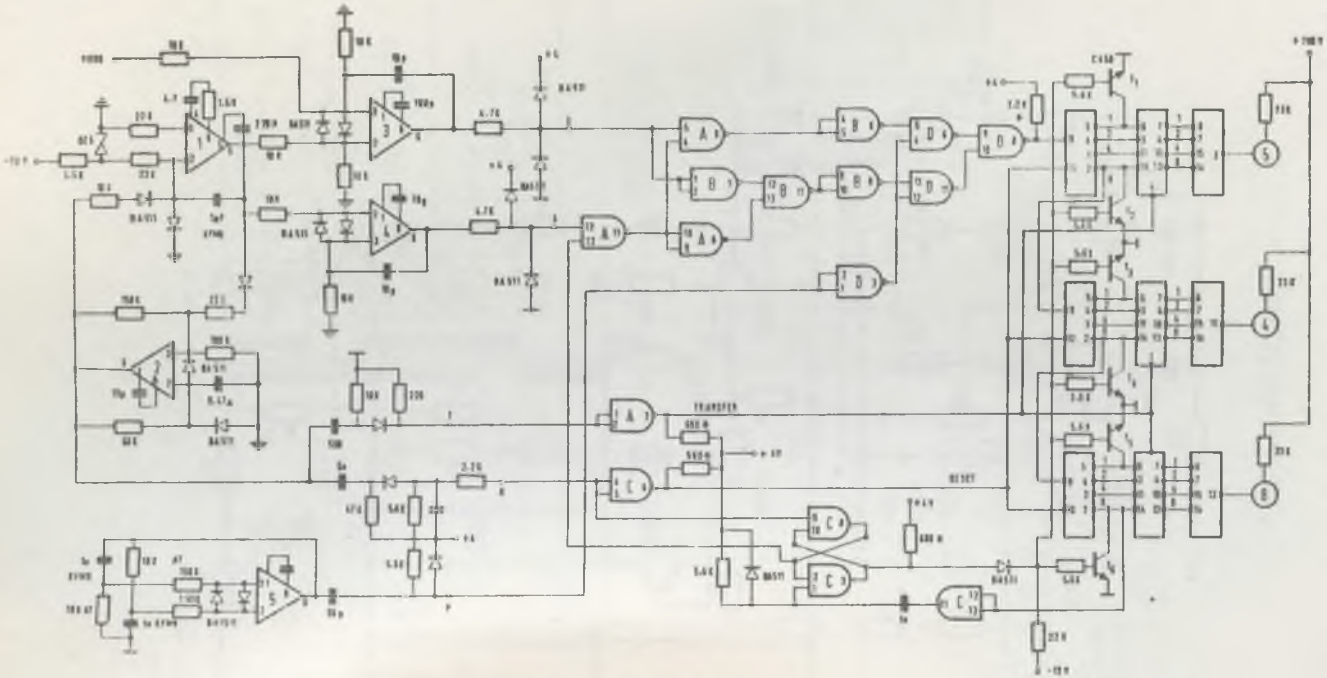
Slika 2. Blok shema



Slika 3. Napajanje

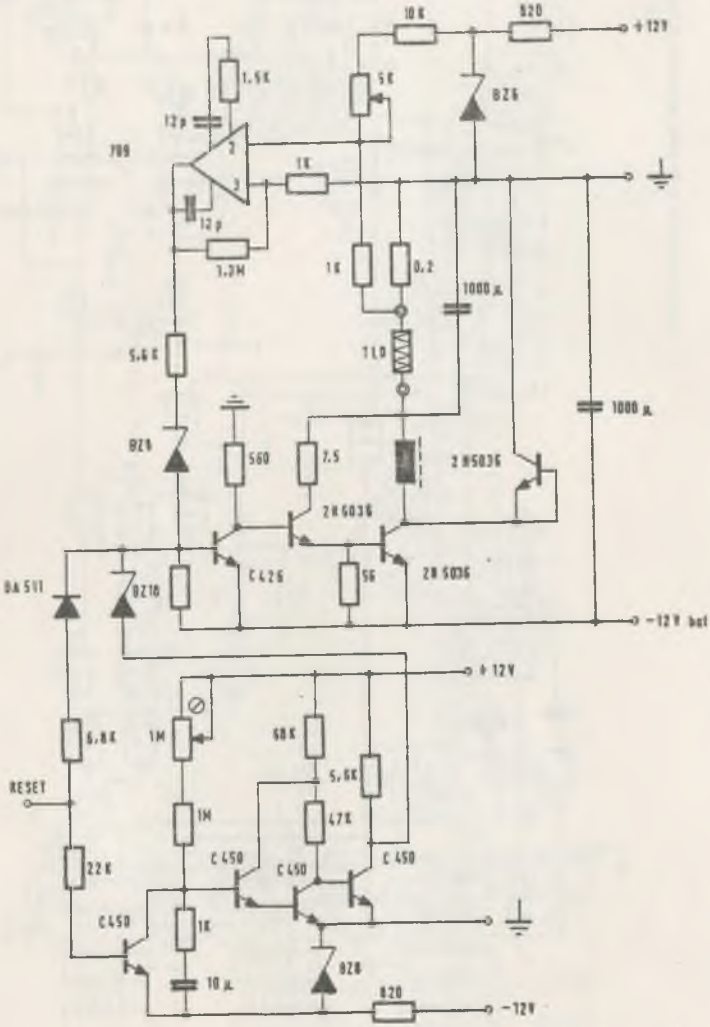


Slika 4. Merilnik svetlobe

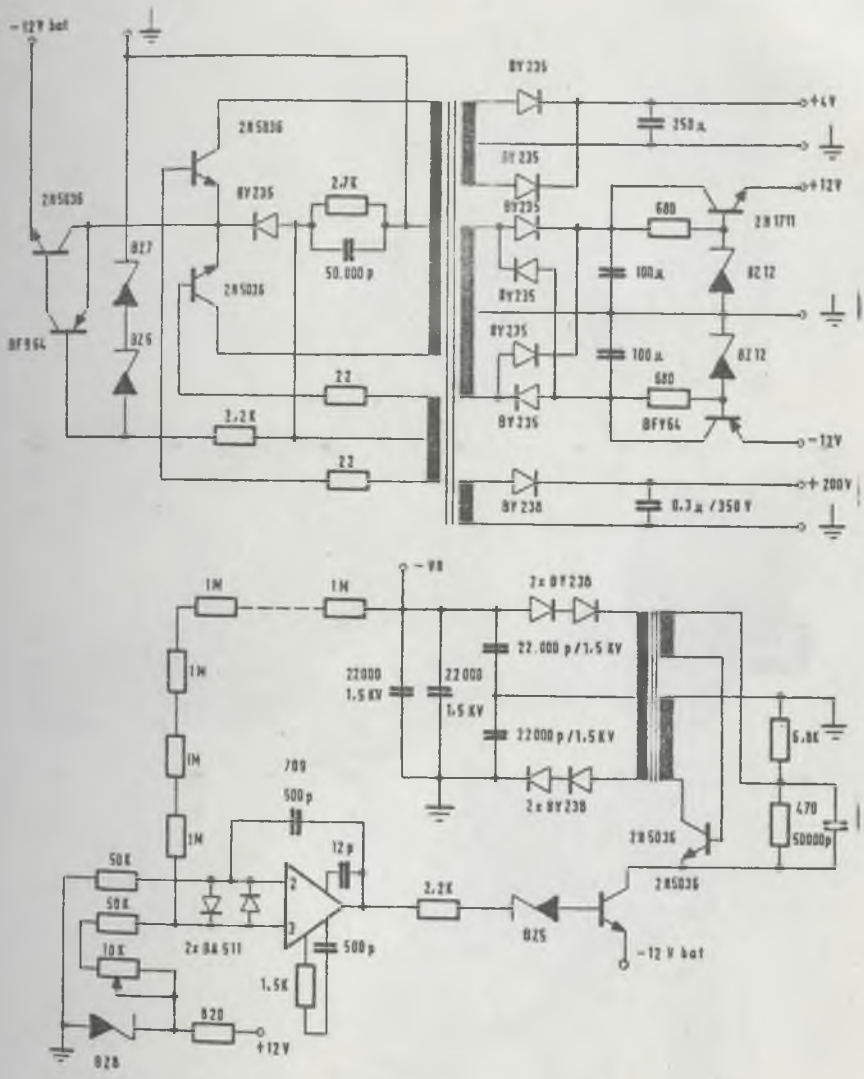


Oper ojačevalniki 709
gati TTL 002, SN4700. (* označeni upori so,če uporabimo DTL 946.)
diode BA 511

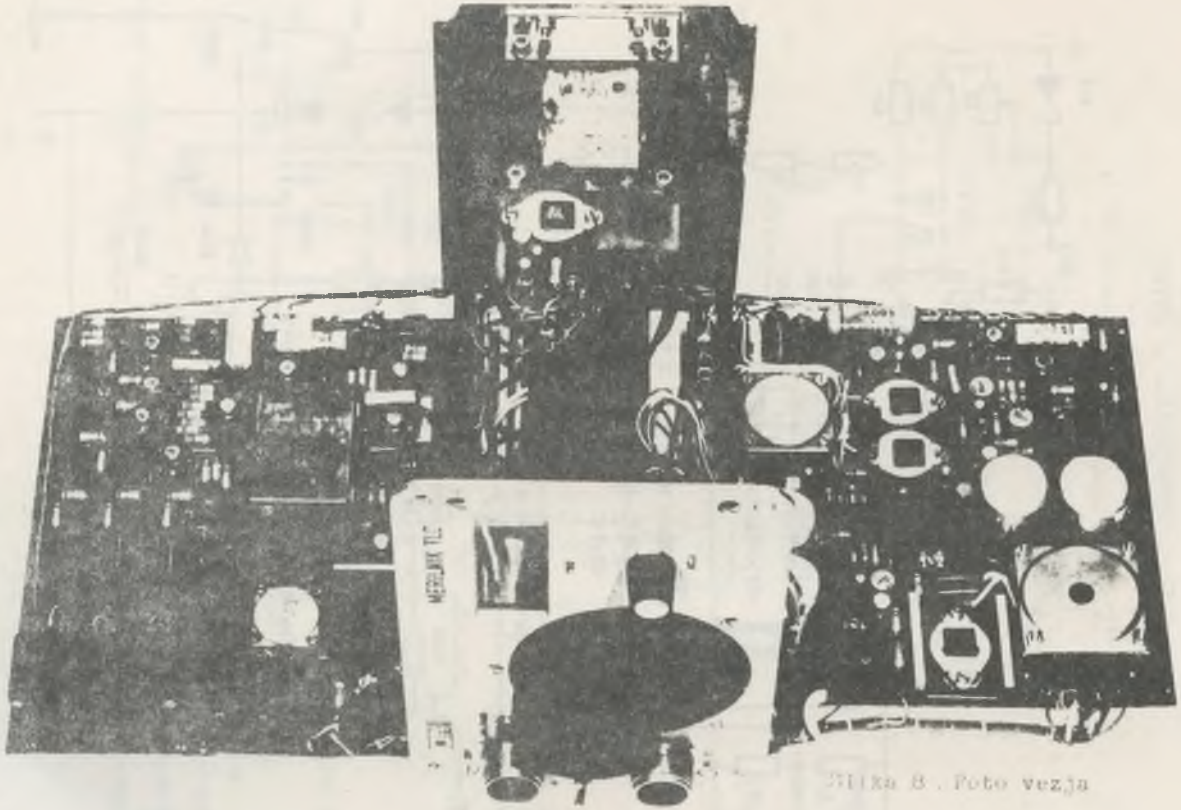
Slika 5. Analogno-digitalni pretvornik



Slika 6. Stabilizator toka



Slika 7. Pretvorniki



Slika 8. Foto vezja

ČITALNIK TERMOLUMINISCENČNIH DOZIMETROV - ČTLD 7008

Dimitrij Uran, Ferdinand Kolenko
Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana, Jamova 39

Čitalnik za termoluminiscenčne dozimetre ČTLD 7008 je specifično konstruiran za rutinsko odčitavanje dozimetrov, ki jih izdelujemo na IJS, z oznako TLD 08. Konstruiran je v kompaktni prenosni izvedbi v ohišju TG-1. Aparat je izredno enostaven za rokovanje, ker je vse delovanje avtomatizirano.

Napajanje je možno iz zunanjega akumulatorja 12 V ali preko 12 V usmernika iz omrežne napetosti. Vgrajeni stabilizatorji omogočajo brezhibno delovanje aparatur pri napajalni napetosti od 11 do 16 V. Odčitavanje rezultatov je digitalno. Merilno območje je predvideno med 1 R in 999 R. Predvidena je zunanja kalibracija in nastavitev ničle. Kalibracija svetlobne občutljivosti se sproži s pritiskom na gumb na desni strani merilne glave. V aparatu je vgrajen svetlobni izvor za kalibracijo.

Ko vstavimo TL tableto na grelec se sproži grelni program. Pri tableti nameščeno tipalo TV povzroča signal T, ki je analogno sorazmeren temperaturi tablete. V mešalnem členu se odšteje od programskega signala Ž in dobimo signal G, ki definira analogno vrednost intenziteti gretja. Signal T pa vpliva tudi na komparatorja P in K, ki določata logične signale o nivojih temperature. Ko doseže temperatura tablete vrednost T_1 nastopi izjavna funkcija P in PA. P povzroči spremembo signala U, ki logično vključuje in izključuje grelno stopnjo S.G. Signal P.A. pa vključi časovni rele, ki po določenem časovnem intervalu ponovno spremeni signal U.

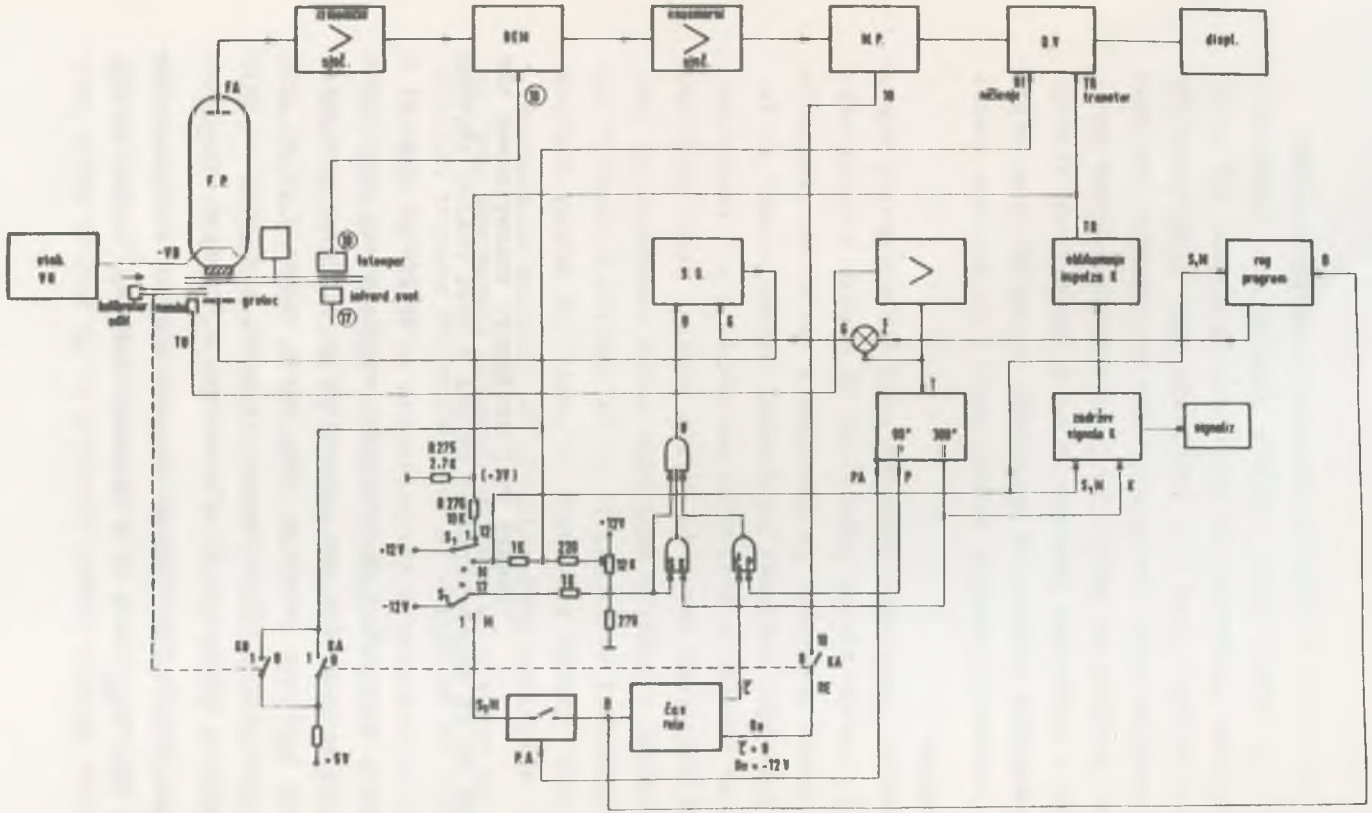
kar ponovno vključi signal gretja S.G. To gretje traja toliko časa, da dosežemo na tableti temperaturo T_2, kar povzroči ponoven izklop grelne stopnje. Podrobnejši pregled merilnika dobimo iz bočne sheme na sl.1. Merilni signal dobimo iz tablete, če segrevamo s pomočjo fotopomnoževalke. Izbrali smo cev EMI 9524 S, ki se odlikuje po stabilnem delovanju in nizkem šumu. Elektrostatski in magnetni ščiti zagotavljajo, da čitalnik deluje tudi pri nizkih signalih. Anodni tok prilagodimo z ojačevalnikom na nivo, ki krmili MP. Signal, ki ga dobimo je proporcionalen sevalni krivulji tablete. Na sliki 2 je tipična krivulja obsevanega CaF_2 TL fosforja. Amplituda take krivulje je linearno sorazmerna prejeti dozi. Naloga čitalnika je torej, da zadrži podatek o vršni vrednosti na krivulji, ki je označen s točko A. Meritev izvedemo s pomočjo merilnika vršne vrednosti MP. Merilnik je aktiviran šele, ko deluje časovni rele. Dobljena vrednost se prenese v digitalni voltmeter D.V., vendar se vpiše v številčni register šele nekaj sekund zatem, ko je dosežena vršna vrednost. To dosežemo z vezjem za zadržanje signala K. Prepis sproži impulz, ki ga dobimo z oblikovalnikom impulza. Istočasno sprožimo tudi signalizacijo opravljene meritve.

Merilnik vzpostavi ničelni signal takoj, ko povleče operator dozimetersko tableto iz merilnega položaja. Novo tableto vložimo v nasprotno ležišče in se z istim gibom vstavi na grelec. Meritev se začne, ko je tableta nameščena natančno v merilni legi. Za kalibracijo instrumenta smo uporabili dve metodi. Prva je z vgrajenim beta-svetlobnim izvorom, katerega temperaturna odvisnost je podana z 1 % na 8°Celzija. To metodo lahko občasno uporabi vsak operator. Druga metoda pa je s pomočjo standardiziranih vzorčnih

TLD-08 tablet. Tablete obsevamo z 2o R na ^{60}Co. Pri tem so kalibracijske tablete izbrane po teži in občutljivosti.

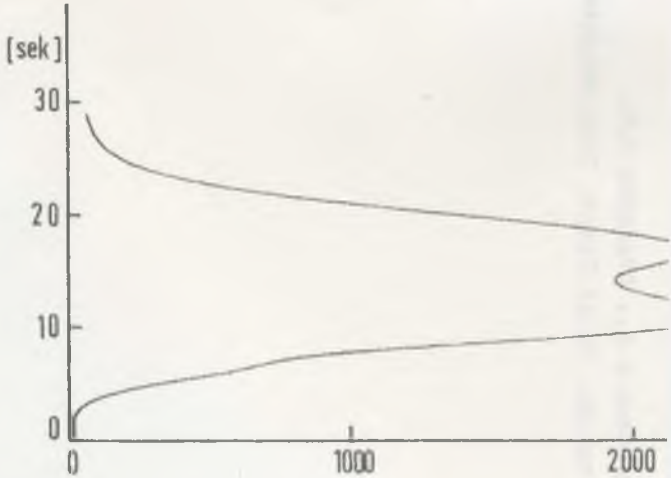
Kompletna navodila o vzdrževanju in delovanju sklopov merilnika so opisana v tehnični dokumentaciji o čitalniku TLD 7008 in bi presegla okvir tega referata. Dobljeni merilni rezultati uvrščajo ta instrument med najhitrejše in najzanesljivejše dozimeterske merilnike za objektivno čitanje doz s širokim področjem.

Dodatni razvoj teži k večjim občutljivostim in za uporabo pri neakcidentni laboratorijski praksi.


F.P.
fotomer
infrared svet
S.G.
displ.
reg program
zadržev signala X
signalizr
Čas rele

Slika 1

SEVALNI DIAGRAM TLD



Slika 2

A
3000
Enote merilnika

LITERATURA

Mihailović M., Kosi V., Mihailović M.V., Milavc Z.
1967 Phys.Med.Biol. Vol.12, No 3, p 395

Lippert J., Meidahl V.
1965 Proc.Int.Conf.on Lum.Doz. Stanford p 204

Karzmark C.J., Fowler J.F., White J.T.
1965 Proc.Int.Conf.on Lum.Doz. Stanford p 265

Spurny Z. Ref.No 54 on II Congr.Int.Rad.Prot.Ass. 1970
Brighton pp 54

Mc Call R.C., Babcock G.L., Svensson G.K.
Ref.No. 65-II Congr. IRPA-Brighton 1970 pp 65

Nr. / 8 / 01

EVALUACIJA METODE ROTACIJE ZA MJERENJA GAMA AKTIVNOSTI NEHOMOGENIH UZORAKA BIOLOŠKOG MATERIJALA

M. Harmut, I. Šimonović, S. Popović, V. Jovanović

Hr/8/01

EVALUACIJA METODE ROTACIJE ZA MJERENJA GAMA AKTIVNOSTI NEHOMOGENIH UZORAKA BIOLOŠKOG MATERIJALA

M.Harmut

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

I.Šimonović, S.Popović, V.Jovanović

Klinika Rebro, Medicinski fakultet Zagreb

U metaboličkim istraživanjima sa radioizotopima ukazuje se potreba za jednostavnim, jeftinim sistemom za određivanje gama aktivnosti velikih uzoraka biološkog materijala kao što su to npr. humane fekalije. Kod takvih uzoraka radi nepravilnosti oblika i eventualnih nehomogenosti aktivnosti efekt na mjerenja je veći, nego kod malih uzoraka. Zato se u takvim slučajevima obično vrši homogenizacija ili spaljivanje uzoraka, da bi se postigla istovjetnost uzorka i standarda kojim se uspoređuje uzorak za određivanje aktivnosti. Spaljivanje je međutim metoda, koja se sve manje upotrebljava, stoga svuda postoji tendencija da se ona izbjegne iznalaženjem direktnih metoda za određivanje aktivnosti u uzorcima radioaktivnog biološkog materijala.

Uređaj za direktno određivanje radioaktivnosti prvi put je opisao McKenna (1). Za sličan tip mjerenja upotrebljavani su i tekući i plastični scintilatori (2, 4, 5, 6). Osim McKenne rotirajući uređaj su upotrebljavali Dratz i Coberly(3), te Buchan (7, 8).

Mi smo ispitali metodu rotacije sa jednim uređajem djelomično konstruiranim na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada. Cilj našeg istraživanja bio je naći optimalni kompromis između osjetljivosti mjerenja i mjerne pogreške uslovljene nehomogenošću uzorka. Metodu smo ispitali sa ^{85}Sr i ^{47}Ca.

Na osnovu naših eksperimentalnih rezultata došli smo do zaključka, da su rezultati sa integralnim brojanjem bolji od onih sa diferencijalnim brojanjem. Integralno brojanje se međutim može primijeniti samo ako se ne radi sa dvostrukim obilježivačem kada se mora primijeniti diferencijalno brojanje.

Eksperimentalno smo određivali i procentualne retencije radioaktivnosti u nespaljenim i spaljenim uzorcima humanih fekalija. Nespaljene uzorke izmjerene sa našim novim uređajem smo spalili i usporedili sa odgovarajućim nespaljenim uzorcima. Rezultati usporedbe pokazuju da se rezultati na nespaljenim direktno izmjerenim uzorcima i spaljenim uzorcima vrlo dobro slažu (unutar 10%).

Na osnovu naših rezultata može se doći do zaključka da za određivanje radioaktivnosti velikih uzoraka biološkog materijala mogu poslužiti relativno skromne aparature pristupačne svim kliničkim ustanovama koje rada sa radioizotopima.

Literatura

1. McKenna R.D., Bourne R.H., Matzsko A.: Gastroenterology, 32 (1957) 17
2. Warner G.T., Oliver R.J.: Radiol., 35 (1962) 349
3. Dratz A.F., Coberley J.C.: Gastroenterology, 41 (1961) 380
4. Dunavant B.G., Christian J.E.: Int.J.appl.Radiat.Isotopes, 8 (1960) 223
5. Cook J.D., Valberg L.S.: J.Lab.Clin.Med., 61 (1963) 317
6. Smith A.H., Clarke S., Reed G.W.: Int.J.appl.Radiat. Isotopes, 18 (1967) 647
7. Buchan R.C.T.: Int.J.appl.Radiat.Isotopes, 19 (1968) 807
8. Buchan R.C.T.: Int.J.appl.Radiat.Isotopes, 21 (1970) 53
9. Harmut M., Maljković T., Kostial K.: Arh.hig.rada, 19 (1968) 61.

ODREDJIVANJE Cs-137 U RIBAMA

Alica Bauman

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada, JAZU-Zagreb

UVOD

Riba je važna karika u lancu radioaktivne kontaminacije životne sredine. Da bi se ustanovio opseg kontaminacije koja tim putem nastaje, treba poznavati koncentracije fisionih produkata u tom važnom sastavnom dijelu ljudske ishrane. Od prisutnih fisionih produkata u ribama za čovjeka su najvažniji Sr-90 i Cs-137.

U ovom radu prikazane su 3 praktične metode za odredjivanje Cs-137 u slatkovodnoj i morskoj ribi.

METODA

Priprema uzorka

Uzima se 2-5 kilograma svježe ribe i po mogućnosti suši u sušioniku na 100°C do konstantne težine. Sušenje traje od 36 sati do nekoliko dana. Samelje se i kada je aktivnost u uzorku dovoljno visoka uzme aliikvotni dio i direktno se izmjeri na gama-spektrometru. Kod vrlo niskih aktivnosti kao što su te aktivnosti danas, potrebno je ukupnu količinu suhe tvari veoma polagano spaljivati u plinskoj peći na 300°C. Tokom spaljivanja može kod pojedinih masnijih vrsta

ribe doći do većih gubitaka zbog iznenadnog prskanja. Zbog toga se i preporuča prvo spaljivanje na 300°C a zatim se temperatura polagano diže na 450°C. U koliko u laboratoriju ne postoji plinska peć spaljivanje se vrši pod IR lampama uz stalan nadzor (1).

a. Instrumentalna metoda

Cs-137 odredi se gama-spektrometrijom. Uzorak osušen do konstantne težine ili žaren na 450°C stavi se u staklenu posudu promjera 11,o cm i visine 6,5 cm. Potrebno je staklo u čijem se sastavu nalazi malo kalija. Posuda se napuni pepelom ribe do visine 5 cm i pepeo natisne, da se postigne što jednoličniji sloj. U posudu stane maksimalno 500 gr pepela. U našem slučaju za mjerenje uzorka poslužio je kristal NaJ/Tl 100x100 mm i 256 kanalni analizator. Nakon što je izmjeren spektar vrši se "stripping".Prvo se rezultat mjerenja prebaci na komplement, posuda s uzorkom izvadi i prazna stavi u brojač, te se odbija osnovno brojanje isti broj minuta koliko je mjeren uzorak. Iz dobivenog rezultata računa se kalij i Cs-137. U koliko je u uzorku prisutno više fisionih produkata preporuča se njihovo postepeno odbijanje od ukupnog spektra (2) dok ne ostane samo spektar aktivnosti koju želimo odrediti tj. Cs-137.

b. Odredjivanje Cs-137 taloženjem pomoću AMP (3)

Potrebne kemikalije: CsCl/10 mg-Cs/ml/, HNO_3 konc. $NH_4Mo_7O_{24}xH_2O$, H_3PO_4. Sve kemikalije p.a.
Filter papir plava vrpca

1. U čaši se otopi 20 - 50 gr pepela u 2N HNO_3, doda 20 mg Cs-nosača. Otopina se profiltrira.

2. Filtratu se doda 6 ml H_3PO_4 kon. i 30 ml 10%-tnog amonijeva molibdata i snažno mješa. Otopina se ostavi stajati preko noći.

3. Žuti talog se odvoji filtriranjem preko dvostrukog filter-papira plava vrpca. Talog se pere 10%-tnom HNO_3.

4. Talog se suši u peći na temperaturi ispod 400°C i mjeri u gama-spektrometru.

c. Odredjivanje Cs-137 taloženjem Cezignostom (NaTPCB)[4,5]

Potrebne kemikalije: CsCl/10 mg Cs/ml/, Cezignost = Na [/C_6H_5/B/CN/] tt. Heyl u. Co, Berlin i to: 1%-tna i 7%-tna otopina; HNO_3 konc. aceton, Al/OH/$_3$. Sve kemikalije p.a. Filter papir Schleicher u. Schuell 595

1. U čaši se otopi 20-50 gr pepela u 2N HNO_3 i doda 20 mg Cs-nosača. Otopina se profiltrira.

2. Filtratu se podesi pH na 2 - 3 i doda 5 ml 7%-tne otopine Na TPCB. Taloženje se vrši kod sobne temperature uz snažno miješanje.

3. Talog se nakon pola sata odvoji preko sinter lončića G-4, pere nekoliko puta otopinom 1%-tnog NaTPCB, 2 puta s nekoliko ml destilirane vode. Oprani talog suši se 1 sat na 105°C, vagne i izračuna kemijsko iskorištenje. Gravimetrijski faktor za preračunavanje iznosi Cs/CsTPCB = 0.331.

Odredjivanje kalija: kod metode b. i c. kalij se odredjuje gravimetrijski (6).

Potrebne otopine: Kalignost-Na [/C_6H_5/B] , Al/OH/$_3$, filter-papir Schleicher u. Cshuell 595.

Odvagne se 1,5 g Kalignosta i otopi u 250 ml destilirane vode. Doda se 1 gr Al/OH/$_3$ i profiltrira preko filter papira SS 595. Otopina je stabilna nekoliko tjedana.

1. Odvagne se pola grama pepela, otopi u 2N HNO_3 i filtrira. pH otopine treba podesiti na 1-2. Doda se 100 ml otopine Kalignosta, promješa i ostavi 10-15 minuta stajati (ne dulje).

2. Filtrira se preko sinter lončića G-4, pere 1%-tnom otopinom Kalignosta, suši 30 minuta na 105°C i važe. Gravimetrijski faktor za preračunavanje iznosi K/Kalignost = 0.1091

ZAKLJUČAK

Od prikazanih metoda svakako je najjednostavnija instrumentalna. Radiokemijske metode su takodjer dovoljno brze, iako se i ovdje, kao i u prethodnom radu preporuča, taloženje Cs-137 Cezignostom, zbog mogućnosti odredjivanja kemijskog iskorištenja. Posebno treba paziti kod spaljivanja uzorka, jer ribe zadaju veće poteškoće od drugog biološkog materijala. U našem laboratoriju ispitane su sve tri metode.

LITERATURA

1. Lično saopćenje dr. Cigne, Rim Casaccia CNEN
2. Bauman A.: Zbornik materijala III.Simp.o radio.zaštiti, Banja Luka 1967/1968 312-315.
3. Yamagata N.: Bull.Inst.Publ.Health (1964) Preprint
4. Bauman A.: Disertacija,Zagreb,Tehnološki fakultet (1965)
5. Bauman A.: Talanta 15 (1968) 185-188
6. Bauman A., Tagliatti S.: Arh.hig.rada 155 (1964) 399-403.
7. Bauman A.: V.Jugoslavenski Simpozium o radiol.zaštiti Bled (1970).

Nr/8/04

BRZA METODA SEPARACIJE Cs-137 IZ MORSKE VODE NATRIJEVIM TRIFENILCIANOBORATOM - CEZIGNOSTOM

A. Bauman

Nr/8/04

BRZA METODA SEPARACIJE Cs-137 IZ MORSKE VODE NATRIJEVIM TRIFENILCIANOBORATOM-CEZIGNOSTOM

Alica Bauman
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, JAZU - Zagreb

UVOD

Kod primjene radiokemijskih metoda znatno je lakše raditi ako se ne oslanjamo samo na instrumentalno odredjivanje iskoristenja postupka. Mogućnost paralelnog instrumentalnog odredjivanja i odredjivanja kemijskog iskorištenja daje veću točnost što je važno kod količinski velikih uzoraka. Takav slučaj se javlja kod odredjivanja Cs-137 u morskoj vodi. Zbog toga je ispitan i primjenjen potpunovi novi reagens, koji omogućuje gravimetrijsko odredjivanje cezija u uzorku. Radi se o natrijevu trifenil-cianoborat $[Cs/C_6H_5/_3B/CN/]$ poznatom pod imenom trgovačkim imenom Cezignost[1,2]. Dalje je u tekstu naveden kao NaTPCB. Reagens je selektivan na cezij.

METODA

Tokom preliminarnih pokusa izvedenih na sintetskim otopinama morske vode u količini od 250-500 ml nadjeni su najpovoljniji uslovi za taloženje. Rezultati iz tih

pokusa kao što je optimalna temperatura taloženja, potrebna količina reagensa, vrijeme miješanjam kiselost otopine[3,4], primjenjeni su pri ovom radu.

Potrebne kemikalije

CsCl - 10 mg/ml cezija, $Na_3/Co/NO_2/_6$, Cezignost-Na $[C_6H_5/B/CN/]$, HNO_3 konc. aceton, $Al/OH/_3$. Sve kamikalije p.a. filter papir Scleicher u. Schuell 595
Cs-137 Amersham
Sinter lončić G-4. Sav ostali pribor kao u prethodnom radu[5].
Cezignost NaTPCB /tt. Heyl u. Co Berlin/ pripravi se kao 7%-tna otopina u destiliranoj vodi. Za čišćenje otopine doda se 1 g $Al/OH/_3$ bez alkalija. Ako je otopina mutna filtrira se kroz filter-papir Sch.u.Sch 595 nekoliko puta dok se potpuno ne razbistri. Reagens valja držati na tamnom mjestu. Ostaje stabilan nekoliko tjedana.

1. Pojedinačni uzorci od 1o, 4o, 5o i 1oo stavljeni su u polietilensku burad u koju se doda 0.5 g $KMnO_4$ da se razore organske tvari. Proces se pospješuje mješanjem mješalicama nekoliko minuta. Nakon toga kod svih preliminarnih radova dodano je 2000 pCi Cs-137 te 4 mg po litri uzorka Cs-nosača i mješano mješalicama još nekoliko minuta,

2. Sada se svakom uzorku dodaje ledene octene kiseline i podesi pH na 5. Cezij se taloži dodatkom Na_3 $Co/NO_2/_6$ po 1 g na litru uzorka. Taloženje se vrši kao što je opisano kod taloženja AMP-om. Talog se nakon 6 - 12 sati odvoji. Vrijeme taloženja ovisi o željenom kemijskom iskorištenju. Talog smjese Cs_3 $Co/NO_2/_6$ - K_3 $Co/NO_2/_6$ otopi se vrućom

15-tnom HNO_3, a zatim ostavi stajati dok se ne ohladi na sobnu temperaturu. U koliko se želi ubrzati analizu taloženje se pospješuje hladjenjem ledom do sobne temperature.

3. U ohladjenu otopinu dodaje se 10 ml 7%-tne otopine NaTPCB za svakih 40 mg dodanog Cs-nosača. Optimalni pH taloženja je 2-3 a temperatura 20 stupnjeva. Temperatura ne smije nadmašiti 25°C. Uzorak se mješa minutu dvije i ostavi pola sata stajati. Ne dulje.

4. Talog se filtrira preko sinter lončića G-4, odsiše, pere nekoliko puta otopinom 1% NaTPCB, 2 puta s nekoliko ml destilirane vode. Oprani talog se suši 1 sat na 105°C, stavi u brojači i broji.

5. Ako za to postoji mogućnost u brojaču se prvo izvrši osnovno brojanje još tokom kemijskog odvajanja Cs-137 i rezultat prebaci na komplement. Za vrijeme brojanja samog uzorka osnovno brojanje se automatski odbije [6,7]. Nakon završenog brojanja talog sa sinter lončićima se odvagne i izračuna kemijsko iskorištenje. Gravimetrijski faktor za preračunavanje na cezij iznosi: Cs/CsTPCB = 0,331. Talog je netopiv u vodi a topiv je u organskim otapalima: otopi se u acetonu i spremi za regeneraciju NaTPCB.

REZULTATI I DISKUSIJA

Dobiveni rezultati ispitivanja metode na uzorcima od 10 do 100 litara dani su u tablici [5].

Tablica 1.

Vrijeme taloženja sati	Količina uzorka u litrama	Količina K u mg/l u uzorku	% taloženja kalij	NaTPCB-om cezij-137
10	10	410	3.0	93.0
10	40	410	11.0	95.0
10	50	470	11.0	95.0
10	100	390	4.0	93.0
0.5	50	370	-	59.0

Količina kalija u mg/l odredjena je gravimetrijski Kalignostom [8].

Kao što se iz tablice vidi, najpovoljnije vrijeme kontakta NaTPCB-a sa cezijem u otopini iznosi pola sata. U tom slučaju ne dolazi do koprecipitacije kalija, ali je kemijsko iskorištenje znatno niže - 59%. Nadjeno je da prisustvo velikih količina kalija u uzorku, utječe na taloženje cezija NaTPCB-om, a da se kalij sam pri tome ne taloži. Drugi uzrok niskog kemijskog iskorištenja cezija u konačnom rezultatu može biti i nepotpuno taloženje cezija kod taloženja Na $Co/NO_2/_6$, u koliko je trajanje taloženja 6 sati.

Kada je vrijeme kontakta NaTPCB-om produljeno na 10 sati kemijsko iskorištenje za cezij iznosi čak 95%. Tada je potrebno CsTPCB otopiti u acetonu i ponovno taložiti. Temperatura taloženja mora uvijek biti ispod 25°C, jer u protivnom slučaju dolazi do razlaganja NaTPCB, što također utiče na konačan rezultat (4).

Osnovna prednost taloženja Cs-137 u morskoj vodi NaTPCB-om je brzina postupka, zatim mogućnost odredjivanja kemijskog iskorištenja, a loša strana je visoka cijena reagensa. Metoda se preporuča za slučaj akcidenta, kada je važna brzina odredjivanja. Čitava analiza može se izvršiti u roku od 16 sati, što je znatno brže od bilo koje druge metode navedene u literaturi.

LITERATURA

1. Havir S.: Coll.Czech.Chem.Comm. 26 (1961) 1775
2. Lična saopćenja tt.Heyl u. Co. Berlin (1961)
3. Bauman A.: Disertacija, Zagreb, Tehnološki Fakultet, Dec. (1965)
4. Bauman A.: Talanta, Vol. 15 185-188 (1968)
5. Bauman A.: V.Jug.Simp.(1970)
6. Bauman A.: III Jug.Sim.za radiološku zaštitu,Banja Luka (1967) str.312-316
7. Bauman A.: Proc.of the I. Inter.Congr.IRPA 5-10 Sept.1967. Pergamon Press (1968) 327-330
8. A.Bauman, Tagliatti S.: Arh.hig.rada, 18 (1964) 399-403.

Nr/8/05

A M P - REAGENS ZA SEPARACIJU Cs-137 IZ MORSKE VODE

A. Bauman

Nr. / 8 / 05

A M P - REAGENS ZA SEPARACIJU Cs-137 IZ MORSKE VODE

A. Bauman

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada JAZU, Zagreb

UVOD

U toku ispitivanja udjela Cs-137 u ukupnoj aktivnosti nastaloj nuklearnim pokusima ili deponiranjem radioaktivnog otpada u svjetska mora, javila se potreba za jednostavnom metodom odredjivanja Cs-137 u morskoj vodi.

Trenutna količina Cs-137 u morskoj vodi toliko je niska da zahtjeva vrlo velike količine uzorka, kako bi se došlo do mjerljive količine radionuklida. Osnovna poteškoća kod rada je ne samo niska aktivnost već i prisustvo velikih količina različitih neaktivnih soli, što izaziva poteškoće kod obrade 50 - 400 litara uzorka, koliko je potrebno za jednu analizu. Iako je neposredno nakon posljednjih velikih nuklearnih pokusa bilo dovoljno 50 litara, sada je ta količina porasla na 400 litara.

Na žalost još uvijek otpada mogućnost direktnog odredjivanja Cs-137 gama-spektrometrijom zbog visoke ukupne aktivnosti uzorka. To je uvjetovano prisustvom prirodne aktivnosti u vidu K-40, Rb-87 te Ra-226 i njegovih potomaka. Ukupna aktivnosti odgovara aktivnosti Cs-137 ili je nadmašuje. S toga ne dolazi u obzir da bi

se Cs-137 odredio direktno na litri-dvije morske vode ili iz njihovog isparnog ostatka.

Tako je kao jedno od uspjelih riješenja, bilo zbog jednostavnosti metode, bilo zbog niskih troškova, ostala jednokratna obrada uzorka amonijevim fosfomolibdatom (dalje u tekstu AMP) [2,4].

Metoda je u ovom radu prikazana tako, da omogućuje taloženje Cs-137 u morskoj vodi na uzorku od 40 - 400 litara. Količine potrebnih kemikalija i neophodan pribor navedeni u metodi odnose se na te količine uzorka.

METODA

a. Potrebne kemikalije, pribor i aparatura:

CsCl /10mg/ml Cs/ ledena octena kiselina, HNO_3 konc., $Na_3/Co/NO_2/_6/$, $NH_4Mo_7O_{24}$ x 4 H_2O, H_3PO_4, NH_4OH, $KMnO_4$.
Sve kemikalije p.a.

Cs-137 Amersham

Filter papir plava vrpca, sinter lijevak G-4 Ø=12-16 cm, Buchnerov lijevak Ø = 12-16 cm, čaše od 5 litara, burad od polietilena zapremine 60-80 lit. mješalice sa četverokrakim mješalom od aluminija na osovini duljine 70 cm.
Sva mjerenja vršena su 256 kanalnim analizatorom uz kristal NaJ /Tl/ 100x100 mm.

b. Tok rada [1] Kada je potrebna velika količina uzorka potrebno je obradjivati paralelno barem 2 x 50 litara morske vode sve dok se ne dobije potrebna ukupna količina uzorka. U polietilensko bure stavlja se uzorak od 50 l i doda mu se 0.5 grama $KMnO_4$ da se razore prisutne organske

tvari, te miješa nekoliko minuta da se permanganat što brže i potpunije izmješa.

1. U tako priredjen uzorak dodaje se Cs-nosač /2-4 mg/l/uzorka/ ledene octene kiseline da se pH otopine podesi na pH cca 4,šta od prilike iznosi oko 1 ml/l uzorka. Taloženje cezija se vrši kod sobne temperature dodavanjem $Na_3/Co/NO_2/_6/$ u stehiometrijskom višku od 1 g/l.

2. Uključe se mješalice i snažno mješa 2 sata. U koliko tokom prvih nekoliko minuta ne nastaje talog potrebno je korigirati pH dodatkom ledene octene kiseline.

3. Uzorak se ostavi stajati preko noći. Supernatant se odsifonira, talog pere samo matičnim lugom, jer je topiv u vodi i filtrira preko sinter lijevka G-4. Talog sadrži cezij i oko 1/3 od ukupno prisutnog kalija u uzorku. Sastav smjese je $K_3/Co/NO_2/_6/ - Cs_3/Co/NO_2/_6/$.

4. Talog se otopi vrućom 15%-tnom dušičnom kiselinom. Otopini se doda 6 ml H_3PO_4 i 30 ml 10%-tne otopine $NH_4Mo_7O_{24} \times 4\ H_2O$ za svakih 10 mg Cs-nosača. Uključi se mješalica i snažno mješa dok se cezijev fosfomolibdat ne počne taložiti. Katkada je potrebno stijenke čaše trljati staklenim štapićem dok ne dodje do kristalizacije. Ostavi se stajati preko noći i filtrira na Buchnerov lijevak preko dvostrukog sloja filter papira "plava vrpca" i dobro odsiše vodenom sisaljkom.

5. Talog s filter papirom stavi se u zdjelicu za brojanje i uzorak izmjeri uz stripping spektara [6] multikanalnim analizatorom.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Iskorištenje metode iznosi 60-70% što je veoma povoljno obzirom na veličinu uzorka. Metodu prije primjene treba provjeriti i to na velikoj količini uzorka. Provjera se vrši na dva uzorka paralelno (uz dodatak Cs-137) te uzima srednja vrijednost kao stalno iskorištenje. Neophodnost provjere uzrokovana je zbog nepoznavanja kemijskog iskorištenja metode obzirom na prisutnost različitih količina kristalne vode nastale kod taloženja soli heteropolikiseline [3]. To sprječava gravimetrijsko određivanje kemijskog iskorištenja. U toku su radovi na indirektnom određivanju kemijskog iskorištenja kompleksometrijskom metodom [1]. Pored svih nedostataka metode, njena velika prednost je u visokom faktoru distribucije K_d koji je kod amonijeva fosfomolibdata viši za faktor 100 u odnosu na organske ionske izmjenjivače [5]. S toga je odvajanje Cs-137 iz morske vode jednokratnom obradom AMP pogodno za rutinsku metodu. Čitava analiza traje 3-8 dana ovisno o količini uzorka. Za mjerenje aktivnosti potreban je kristal NaJ/Tl veličine barem 50x50 mm jer količina taloga Cs-AMP iznosi nekoliko desetaka grama. Ovom metodom određivan je Cs-137 rutinski u Jadranskom moru.

LITERATURA

1. Bauman A.: Disertacija, Zagreb, Tehnološki fakultet (1965)

2. Gaglione P., Malvicini A., Vido L.: Minerva nucl. 410 (1960) 262-7

3. Hsein Wu: Contribution to the Chem. of Phosphomolibdic Acids, Phosphotungstic Acids and Allied Subst. (1920) Repr. by Climax Molybdenum Co N.Y. (1964) 80 str.

4. Malvicini A.,Vido I.: CNI - 93 Ispra (1961)

5. Yamagata N., Iwashima K., Tajima E.: J.Atom. Ener. Soc. Japan 4, 8 (1962) 534-539.

6. Bauman A.: Zbornik materijala III Jug.Simp. o radiol. zaštiti, Banja Luka (1967), 312-315.

Institut za primenu nuklearne energije
u poljoprivredi,veterinarstvu i šumar-
stvu - Z e m u n , Baranjska 15
- Zavod za animalnu radiobiologiju -

Nr. 18/06

RADIOKONTAMINABILNOST SVEŽEG MESA STOKE ZA KLANJE U USLOVIMA SPOLJAŠNJE RADIOKONTAMINACIJE SA ^{137}Cs

B. Petrović, V. Petrović, J. Kralj, S. Stanković

Dosadašnja iskustva u upoznavanju puteva i načina radiokontaminacije živih bića ukazuju da spoljašnja radiokontaminacija zavisi od fizikohemijskih svojstava radioaktivnih materija, kao i od uslova pod kojima one dolaze u dodir sa živim organizmima .

Domaće životinje i njihovi produkti predstavljaju vrlo značajnu kariku u biološkom ciklusu radiokontaminacije čoveka . U tom pogledu velika uloga se pridaje mesu i mleku , kao i njihovim proizvodima i to ne samo zbog značajne potrošnje, već i zbog mogućnosti prisustva biološki važnih radionuklida (^{131}J, ^{137}Cs, ^{90}Sr i dr.) .

Analiza podataka u dostupnoj literaturi pokazuje da problem spoljašnje radiokontaminacije svežeg mesa od stoke za klanje (goveda i svinje) nije sistematski obradjivan . Isto tako, noviji podaci iz literature ukazuju na nemogućnost interpolacije rezultata dobijenih na eksperimentalnim životinjama u radijacionoj higijeni namirnica animalnog porekla . Radi toga se ističe aktuelnost potrebe svestrane i sistematske obrade svih parametara radijacione higijene do -

maćih životinja i njihovih produkata .

Aktuelnost i značaj radiojaciono-higijenske ocene kontaminiranih domaćih životinja i njihovih produkata orijentisali su nas da sistematski ispitamo problem spoljašnje radiokontaminacije govedjeg i svinjskog mesa sa radionuklidom ^{137}Cs u funkciji vremena ekspozicije kontaminanta , kao i u funkciji procesa zrenja mesa .

MATERIJAL

Kao materijal za ispitivanja radiokontaminacije svežeg mesa kontaminiranog sa ^{137}Cs služila je muskulatura iz regio dorsi . Materijal je uzimaN neposredno posle klanja i to od govedi rase domaći simentalac, starosti 2-3 godine, a od svinja nemačke bele rase, starosti 12-15 meseci .

Odabrani komadi muskulature (m.longissimus dorsi) odmah posle klanja hladjeni su na + 3°C i na toj temperaturi su držani sve do početka eksperimenta . Uzorci mesa pripremani su na taj način što su isecani komadi dijametra 5x5x2,5 cm .

Kontaminacija je u svim slučajevima vršena na dorzalnoj površini mišića, sa koje je maksimalno uklonjeno potkožno masno i vezivno tkivo sve do perimisium externum . Ovako pripremljeni uzorci mesa stavljani su u plastične kutijice, a na gornjoj strani površine uzorka obeležen je krug prečnika oko 18 mm , kao mesto koje će biti kontaminirano kiselim rastvorom $^{137}CsCl$.

Specifična aktivnost (SpA) upotrebljenog kontaminanta iznosila je 2×10^{-3} /uCi/ml .

TEHNIKA RADA

U centar obeleženog kruga nanošena je pomoću mikropipete jedna kap kontaminanta, čija je aktivnost iznosila 0,097 - 0,1 μCi a zatim je pomoću staklenog štapića kontaminant ravnomerno raspoređen po obeleženoj površini . Fiksacija kontaminanta vršena je spontanim sušenjem u digestoru na sobnoj temperaturi, sve do isteka predviđenog vremena ekspozicije kontaminanta (tj. 1, 3 i 6 časova), a potom su uzorci stavljani 1 sat na temperaturu od -27°C .

Za uzimanje uzoraka od kontaminiranih komada mesa poslužio je metalni cilindrični perforator promera 18 mm , koji ima oštricu na jednom kraju . U određenim vremenskim intervalima uzimani su uzorci kontaminiranog mesa i prenošeni iz bakelitnih kutija na čvrstu podlogu prekrivenu filter papirom i položeni tako da kontaminirana površina mesa leži na podlozi . Laganim kružnim pokretima cilindričnog perforatora isecani su zatim uzorci mesa cilindričnog oblika, počevši od nekontaminirane površine prema kontaminiranoj . Potom su dobijeni cilindrični uzorci stavljani na podlogu i od njih su poprečnim isecanjem izrezivani uzorci mesa debljine oko 3 mm . Ovako pripremljeni uzorci stavljani su na dno epruvetica za radiometrijska merenja .

Za radiometrijska merenja korišćen je scintilacioni brojač marke Philips sa "weltype" kristalom NaJ(Tl), čija je efikasnost 30%.

Pored radiometrijske detekcije za ispitivanja radiokontaminacije svežeg mesa korišćena je i autoradiografija po "kontaktnom postupku" . Naime, uzorci mesa za autoradiografiju držani su na rendgenskim filmovima, a u specijalnim kasetama za autoradiografiju , i

držani su u tamnoj komori na temperaturi od oko -4°C u toku 6 dana . Obrada autoradiograma vršena je standardnom tehnikom razvijanja rendgenskih filmova .

Odredjivanje pH rastvora kontaminanta vršeno je pehametrom firme "Radiometer/tip 22/" , dok je pH uzoraka mesa vršeno pomoću indikatorskog rastvora nitracingelba .

Istraživanja su vršena sa po 3 grupe mesa, od kojih je meso prve grupe bilo uzeto 5 časova posle klanja, meso druge grupe je uzeto 24 , a meso treće grupe je uzeto 48 časova posle klanja . U svakoj grupi bile su po tri podgrupe, a svaka podgrupa je imala po 6 uzoraka . Ukupno je ispitano oko 600 uzoraka mesa različite starosti zrenja mesa (5, 24 i 48 časovno zrenje) , podvrgnutih radiokontaminaciji u funkciji vremena ekspozicije kontaminanta od 1 , 3 i 6 časova .

REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja spoljašnje radiokontaminacije svežeg mesa stoke za klanje (goveda , svinje) kontaminiranih sa ^{137}Cs , obračunati kao SpA i dati kao srednja vrednost broja imp/min/g , prikazani su na tabeli I .

Iz dobijenih rezultata vidi se da kod spoljašnje radiokontaminacije ispitivanog mesa nastaje velika površinska adsorpcija aktiviteta na mesu, kao i da kontaminant (^{137}Cs) ne ostaje samo na površini mesa već prodire i u dublje slojeve muskulature (nasuprot mi-

šljenju V.Karavaeva -1966- da se ovde radi samo o površinskoj radiokontaminaciji) . Tako se u mesu uzetom 3 časova posle klanja, a posle 1.časovne ekspozicije kontaminanta, SpA u prvom sloju kod govedjeg mesa iznosi $6,8 \times 10^4$, a kod svinjskog mesa iznosi $1,8 \times 10^5$ imp/min/g , dok posle 3.časovne ekspozicije SpA kod govedjeg mesa iznosi $7,8 \times 10^4$, a kod svinjskog mesa iznosi $2,9 \times 10^5$ imp/min/g . Posle 6.časovne ekspozicije SpA u govedjem mesu iznosi $5,9 \times 10^4$, a kod svinjskog mesa iznosi $3,7 \times 10^5$ imp/min/g . U svim daljim fazama procesa zrenja mesa (tj. posle 5 , 24 i 48 časova od klanja) prvi sloj mesa ima najveću SpA , dok idući u dublje slojeve SpA progresivno opada (eksponencijalno opadajuća zakonomernost) . Prema tome, dubina prodiranja kontaminanta zavisi i od stepena zrenja mesa , pri čemu se najveća penetracija (do dubine od 15 mm) zapaža posle 5 časova od klanja , dok penetracija posle 24 časa od klanja doseže do dubine od 12 mm , a posle 48 časova od klanja kontaminant je penetrirao do dubine od 9 mm . Medjutim , posle 24 i 48 časova od klanja kod svinjskog mesa se zapaža izvesna nepravilnost u pogledu rasporeda SpA posle 1. časovne u odnosu na 3. i 6. časovnu ekspoziciju kontaminanta. Razlog za ovu pojavu treba tražiti u specifičnosti procesa zrenja svinjskog mesa, koje sadrži znatno veće količine masti .

Ako se vrednosti aktiviteta utvrdjene našim ispitivanjima uporede sa dozvoljenim dnevnim unošenjem radioaktivnog ^{137}Cs putem mesa (prema W.Kreutzer-u putem mesa se može uneti dnevno do 1320 pCi ^{137}Cs , što obračunato u des/min iznosi 2904 des/min/dnevno) , onda se vidi da stepen radiokontaminacije u našim uslovima ispitivanja, tj. sve do dubine od oko 12 mm, prelazi dozvoljeni nivo i prema tome, ovako kontaminirano meso sa radijacionо-higijenskog stanovišta je neupotrebljivo za ljudsku ishranu .

Slo-jevi	Vreme kontaminacije					
	1 sat		3 sata		6 sati	
Posle 3. časovnog sranja						
	S	G	S	G	S	G
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	38,6	7,2	42,2	6,8	46,6	52,0
3	0,8	0,1	5,9	1,4	51,4	17,0
4	0,4	0	0,4	0	11,1	6,0
5	0,2	0	0,1	0	2,3	0,6
Posle 24. časovnog sranja						
	S	G	S	G	S	G
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	38,2	22,5	39,3	37,6	52,0	47,2
3	3,2	0,7	3,2	12,5	16,0	21,5
4	0,3	0	0,2	1,7	3,0	6,0
5	0,1	0	0	0	0,3	0
Posle 48. časovnog sranja						
	S	G	S	G	S	G
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	16,0	2,0	6,0	10,9	39,0	30,[illegible]
3	2,0	0,4	2,0	1,4	5,0	3,0
4	0,1	0	0,2	0,6	0,7	1,[illegible]
5	0,1	0	0,2	0	0,2	0

Nr/8/08

SORBCIJA Cs-137 IN Sr-89 NA ZEOLITIH IZ ZALOŠKIH GORIC

Pirš M.

Nr. / 8 / 08

Sorbcija Cs-137 in Sr-89 na zeolitih iz Zaloških goric

M.Pirš
Institut "Jožef Štefan", Ljubljana

Uvod

Pri dekontaminaciji slabo alkalnih radioaktivnih odpadnih vod povzroča največ težav radioaktivni cezij, ker se kot enovalentni ion ne obarja v alkalnem območju. Odstranjevanje z organskimi ionskimi izmenjalci je nerentabilno. Bolj ekonomičen je postopek z naravnimi ionskimi izmenjalci.

V literaturi (1) se nahaja klinoptilolit kot selektiven adsorbent za cezij. Tufi iz Zaloških goric vsebujejo klinoptilolit, poleg heulandita kot glavni komponenti, poleg tega pa vsebujejo še montmorilonit 9 %, kremen 11 % in kristobalit 1,3 % (2). Klinoptilolit in heulandit imata podobno strukturo. Kristalne mreže teh silikatov sestavljajo SiO_4 in AlO_4 tetraedri. Zaradi primanjkljaja električnega naboja v AlO_4 tetraedru pride do vezave zemljoalkalijskih in alkalijskih ionov. Razmestitev SiO_4 in AlO_4 poteka pri heulanditu tako, da se v smeri kristalografskih osi oblikujejo heksagonalni in pentagonalni kanali. Zemljoalkalijski in alkalijski ioni so vgrajeni v teh kanalih, verjetno šibko, kar omogoča gibanje ionov vzolž posameznih kanalov in s tem ionsko izmenjavo (3). To obenem uvršča zeolite med molekularna sita, Heulandit spada med kalcijske zeolite SiO_2 $Al_2O_3CaO6H_2O$. Klinoptilolit pa je pretežno natrijev in kalijev zeolit.

Priprava vzorca

Večjo količino izmenjalca smo posušili pri 105°C, zmleli in presejali. Za raziskave smo uporabili samo delce premera 0,43 - 0,15 mm, ker delci manjši kot 0,15 mm že mašijo kolone.

Izmenjalec smo nato izpirali z vodo v čaši ter motno raztopino nad izmenjalcem zavrgli. Ta postopek smo ponovili 3 - 4 krat, tako da je raztopina nad izmenjalcem ostala bistra. Na ta način smo odstranili komponente, ki močno nabrekajo in se zaradi tega počasneje usedajo, verjetno večina montmorilonita. Večjo količino izmenjalca smo z izpiranjem z 10 % raztopino NaCl pretvorili v Na obliko, prebitni NaCl izprali in posušili.

Kapaciteta izmenjalca

Zatehtano količino izmenjalca smo stresali z markiranimi raztopinami CsCl različnih koncentracij približno 24 ur. Iz razlike aktivnosti pred in po stresanju smo nato izračunali množino Cs, ki se je vezala na izmenjalec. V tabeli 3 je navedena kapaciteta izmenjalca v Na obliki od koncentracije ravnotežne raztopine, pH in koncentracije spremljajočih ionov.

Tabela 1

Kapaciteta Na-izmenjalca za cezij

Ravnotežna koncentracija	Kapaciteta mekv/g	pH	Dodane soli
$5 \cdot 10^{-2}$	0,82	6,8	0
$6 \cdot 10^{-3}$	0,80	6,8	0
$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,68	6,8	0
$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,39	6,8	0
$6,2 \cdot 10^{-6}$	0,22	6,8	0
$5 \cdot 10^{-3}$	0,65	5	Ca 0,05 N
$2 \cdot 10^{-3}$	0,52	5	"
$6 \cdot 10^{-4}$	0,36	5	"
$3 \cdot 10^{-4}$	0,30	5	"
$2 \cdot 10^{-4}$	0,22	5	"
$1 \cdot 10^{-4}$	0,18	5	"
$4 \cdot 10^{-3}$	0,68	8	"
$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,50	8	"
$5 \cdot 10^{-4}$	0,38	8	"
$1 \cdot 10^{-4}$	0,25	8	"
$4,4 \cdot 10^{-2}$	0,65	7	NH_4Cl, K_2SO_4, $NaNO_3$ 0,05 N
$8 \cdot 10^{-3}$	0,42	7	"
$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,40	7	"
$6 \cdot 10^{-4}$	0,18	7	"
$2 \cdot 10^{-4}$	0,16	7	"
$3 \cdot 10^{-5}$	0,012	7	"

V tabeli 2 navajamo odvisnost kapacitete za stroncij v odvisnosti od koncentracije raztopine.

Tabela 2

Kapaciteta Na izmenjalca za stroncij

Ravnotežne raztopine	mekv/g
$4,8.10^{-2}$	0,316
$8\ .10^{-3}$	0,28
$3,4.10^{-3}$	0,25
$4,6.10^{-4}$	0,11
$2,6.10^{-5}$	0,05
$2\ .10^{-6}$	0,015

Hitrost izmenjave

Hitrost izmenjave je velike praktične važnosti za dekontaminacijo. Gline, ki močno nabrekajo, navadno adsorbirajo katione zelo hitro (4), ker ti ioni lahko prodrejo med posamezne plasti in so zaradi tega izmenjalna mesta lahko dostopna.

Zeoliti pa praktično sploh ne nabrekajo in smo pričakovali, da bo zaradi tega tudi hitrost izmenjave manjša.

Izmenjalno kinetiko smo določali za Cs in Sr ion na natrijevem izmenjalcu in za Cs ion tudi na naravnem izmenjalcu v odvisnosti od velikosti delcev. Iz slike 1 je razvidna velika odvisnost od velikosti zrn. Drobno zrnati izmanjalec 0,15 - 0,20 mm veže v 5 minutah približno 90 % od končne vrednosti, dočim veže debelo zrnati izmenjalec v 5 minutah komaj 50 % od končne vrednosti. Prav tako je velika razlika tudi v kinetiki izmenjave med Cs in Sr ionom. V 5 minutah se adsorbira ca. 60 % cezija, dočim se

v istem času veže 4o % stroncija z ozirom na končno vrednost.

Žarilni in izluževalni poskusi

Zaradi svoje zeolitske narave lahko izmenjalec z žarenjem pretvorimo v keramične produkte, ki vežejo radionuklide ireverzibilno.

Vzorce smo žarili pri različnih temperaturah ter dobljeni material izluževali z destilirano vodo ter merili aktivnost raztopine v odvisnosti od časa izluževanja. Poskusi so pokazali: čim višja temperatura in čim daljši čas žarenja, tem manjša je stopnja izluževanja. Pri 9oo°C je izluževanje že tako majhno, da ga komaj določimo. Rezultati so razvidni iz tabele 3.

Poskusi v kolonah

Za dekontaminacijo radioaktivnih odpadnih vod je uporaba izmenjalcev v kolonah bolj ugodna kot "Batch process". Pri tem dobimo do proboja kolone neaktivne raztopine, z druge strani pa je tudi upravljanje kolon iz daljave, kar je včasih pri močno aktivnih raztopinah potrebno, lažje izvedljivo. Najvažnejši podatek za uporabo kolon za dekontaminacijske namene je probojna kapaciteta.

Tabela 3

Izluževanje z destilirano vodo termično obdelanega tufa
Števila predstavljajo izluženo aktivnost v %

Temperatura žarenja in čas		Čas izluževanja (dnevi) 1	2	6	1o	2o	3o
1o5°C	24 h	2	3	3,8	4	7	7,8
5oo°C	2 h	1	1,5	2	2,2	4,8	5
5oo°C	6 h	1	1,4	1,7	2,1	4,9	5
5oo°C	24 h	o,9	1,4	1,8	2,o	5,o	5
75o°C	2 h	o,7	1,3	1,8	2	5	5,1
75o°C	6 h	o,7	1,2	1,7	2	4,3	4,3
75o°C	24 h	o,4	o,5	o,6	o,8	2,9	3,1
9oo°C	2 h	-	o,4	o,5	o,9	1,8	1,9
9oo°C	6 h	-	o,2	o,3	o,4	1	1

Za določitev probojne kapacitete smo uporabljali kolono ø 3 cm, 5 g izmenjalca v Na obliki ter spuščali preko njih Cs raztopine različnih koncentracij. Pretok 5 ml/minuto. Probojna kapaciteta v čistih raztopinah je približno 1o % nižja kot kapaciteta dobljena sstresanjem. Prav tako zavisi od koncentracije ravnotežne raztopine, je višja v alkalnem mediju kot v kislem, močno pa je odvisna od hitrosti pretoka. Pri pretoku 3 ml/min. se prebojna kapaciteta poviša za 5 %, pri pretoku 1o ml/min. pa pade približno za 3o %.

Stroncij se v kolonah praktično ne adsorbira. Pri zelo počasnem pretoku 3 ml/min. dobimo v začetku neaktivno raztopino od preboj-ne ne točke dalje pa aktivnost zelo hitro narašča.

Dodatek zemljoalkalijskih in alkalijskih soli do o,o5 N raztopine nekoliko zniža probojna kapaciteto za Cs ion. Rezultati so razvidni iz slik 2, 3 in 4. Pri vseh poskusih smo uporabili mo-

delno vodo, Cs in Sr v na slikah navedenih koncentracijah z dodatkom Na_2SO_4, KCl, NH_4NO_3 in $CaCl_2$ do o,o5 N raztopine. Adsorpcija za Cs ion je visoka in selektivna, Sr ion pa se ne adsorbira. Pri poskusih z alkalnimi raztopinami pH 8,5 - 9 se Sr ion obori ca 8o %, ostanek pa se v koloni adsorbira. Rezulata je prikazan na sliki 5.

Za navadno laboratorijsko odpadno vodo je torej omenjeni naravni izmenjalec odlično dekontaminacijsko sredstvo. Odpadna voda pa ne sme vsebovati detergentov in kompleksona. Prisotnost omenjenih spojin praktično onemogoči njegovo uporabo.

Zaključek

Naravni ionski izmenjalec zeolitnega tipa "tuf iz Zaloških goric", ki vsebuje kot glavni komponenti heulandit in klinoptilolit je odlično dekontaminacijsko sredstvo za odpadne vode. Lahko ga uporabimo na statičen ali dinamičen način ali pa v kombinaciji.

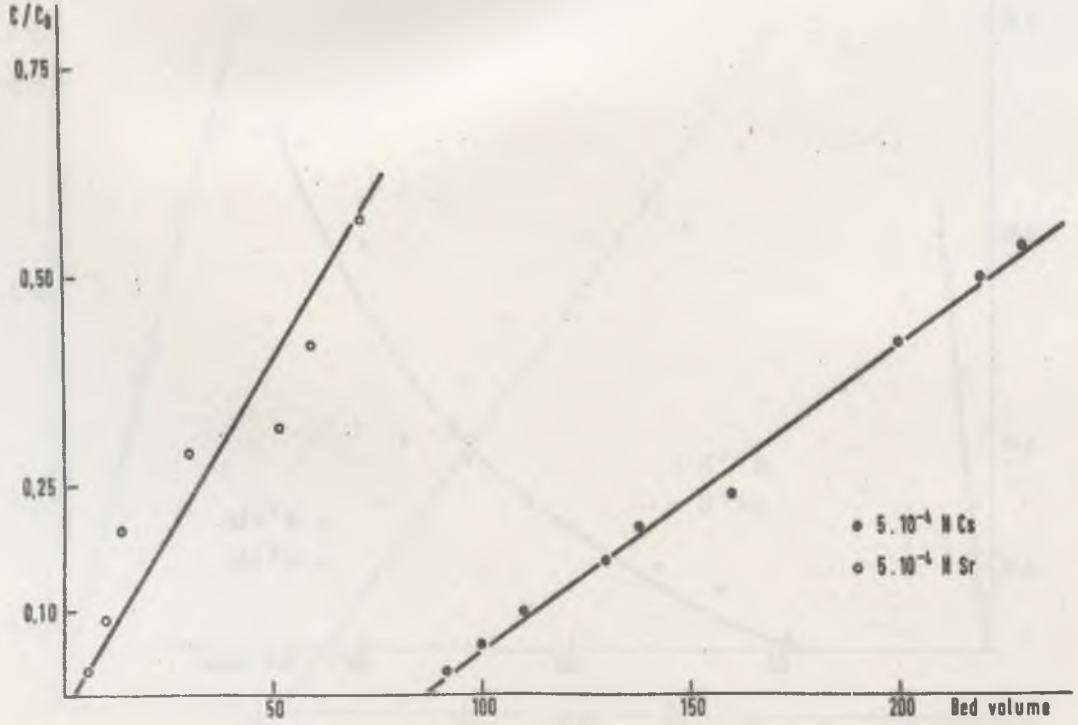
Cezij adsorbira selektivno in razmeroma visokih koncentracij spremljajočih ionov. Adsorpcija stroncija je slabša.

Kapaciteta zavisi od koncentracije raztopine, velikosti delcev izmenjalca, množine prisothosti drugih tujih soli ter od pH.

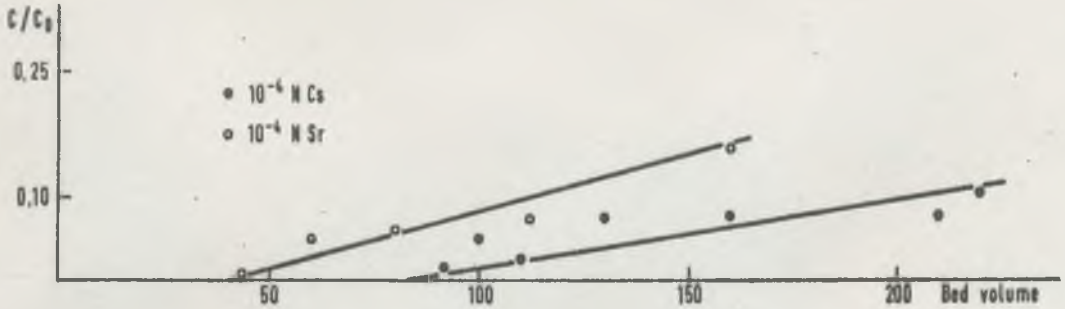
Z žarenjem lahko pretvorimo tuf v keramičen material, ki veže radionuklide ireverzibilno in ga lahko kot takega dokončno vskladiščimo.

Literatura

1. B.Držaj, A.Jenček, J.Jernejčič, A.Zajc: Klinoptilolit v tufih iz okolice Celja, Rudarski vestnik (v tisku)
2. U.Ventriglin: La struttura della heulandita - Periodico di mineralogia (Roma) XXIV: 49-83, 1955
3. L.L. Ames, The Cation Sieve Properties of Clinoptilolite, The American Mineralogist, Vol. 45, May-June, 196o
H.W. Levi, W.Lutze: Über einen neuen Cs-selektiven mineralischen Ionenaustauscher für die Dekontaminierung von radioaktiven Abwasser, Radiochemica Acta 8, 82-85 (1967)
4. G.Sachse, E. Leibnitz: Reinigung von radioaktiven Abfallösungen mit natürlichen anorganischen Ionenaustauschern, "Kernenenergie", 9/61, 697 - 7oo.



Sl. 4



Sl. 5

Nr. / 8 / 09

SORPCIJA Cs-137, Sr-89 I Co-6o NA GLINOVITO PESKOVITOJ ZEMLJI DEO II

Lj. Knežević, O. Janković

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Nr/8/09

SORPCIJA ^{137}Cs, ^{89}Sr I ^{60}Co NA GLINOVITO PESKOVITOJ ZEMLJI. DEO II

Knežević Lj. i Janković O.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Apstrakt

Prikazani su rezultati ispitivanja sorpcije radionuklida ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{60}Co na uzorcima zemlje sa područja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča. Sorpcija radionuklida ispitana je u statičkim uslovima u zavisnosti od početne koncentracije NaCl, koncentracije Cs^{+}, Sr^{2+} i Co^{2+} kao i vremena kontakta rastvora i čvrste faze zemlje. Koeficijenti raspodele (tečno/čvrsto) odredjeni su i dobijen je sledeći redosled relativnih afiniteta jona za sve uzorke zemlje:

$$Co > Cs > Sr$$

U v o d

Za kretanje radionuklida u zemljištu-tlu procesi sorpcije imaju izvanredno veliki značaj jer oni odredjuju jačinu vezivanja radionuklida za pojedine komponente zemlje, kao i njihove migracione sposobnosti. Iako se vrše brojna istraživanja sorpcije radionuklida na različitim vrstama zemljišta, do sada dobiveni rezultati ne omogućuju izvodjenje opštih zaključaka koji bi se mogli primeniti na ponašanje radionuklida u kontaktu sa zemljom-tlom. Specifične regionalne karakteristike tla zahtevaju i njegova lokalna ispitivanja. U cilju upoznavanja sorpcionih osobina zemljišta sa šireg područja Instituta

za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u odnosu na neke radionuklide započeta su sistematska ispitivanja sorpcije na ovom zemljištu.

U radu su dati rezultati ispitivanja sorpcije mikrokoncentracija Cs^{+}, Sr^{2+} i Co^{2+} iz rastvora NaCl na površinskom sloju zemljišta sa šireg područja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča.

Eksperimentalni deo

Detaljan opis eksperimentalnog rada opisan je u prvom delu rada[1].

Sorpcija radionuklida na uzorcima zemlje ispitivana je u statičkim uslovima uravnotežavanjem uzoraka sa rastvorima:

a) koji sadrže kao mikrokomponentu Cs^{+}, odnosno Sr^{2+} i Co^{2+} u koncentraciji $1 \cdot 10^{-5}$N obeležene sa ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{60}Co, a kao makrokomponentu čija je koncentracija menjana Na^{+}; i

b) koji sadrže promenljive koncentracije Cs^{+}, Sr^{2+} i Co^{2+} obeležene sa ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{60}Co.

U svim eksperimentima posle uspostavljanja ravnoteže čvrsto/tečno, pH supernatanta se nalazilo izmedju 7-8. Odnos faza čvrsto/tečno bio je uvek 1:20.

Zavisnost sorpcije radionuklida prikazana je koeficijentima raspodele

$$K_d = \frac{q}{c} = \left(\frac{I_o - I_r}{I_r}\right) \frac{v}{m}$$

gde je:

K_d - koeficijent raspodele mikrokomponente, ml/gr

q - količina radionuklida vezana za 1 gr sorbenta, meq/gr

c - količina radionuklida zaostala u rastvoru, meq/ml

I_o - polazna aktivnost rastvora, imp/min/ml

I_r - zaostala aktivnost rastvora, imp/min/ml

v - zapremina rastvora, ml

m - težina sorbenta - zemlje, gr.

Vrednosti dobivene za K_d predstavljaju srednju vrednost merenja 4 probe.

U radu su korišćeni radionuklidi ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{60}Co, bez nosača, proizvodnje Amersham-Engleska. Upptrebljene hemikalije bile su analitičkog stepena čistoće.

Rezultati i diskusija

U prvom delu ovog rada /1/ nalaze se podaci o mineraloškom i hemijskom sastavu ispitivanih uzoraka zemlje, rezultati ispitivanja sorpcije radionuklida ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{60}Co u funkciji pH rastvora i koncentracije $CaCl_2$.

Sorpcioni kapacitet Na^+ jona (na pH 7-8) iznosi 0,17-0,24 meq/gr . Izmena Na^+ sa NH_4^+ je potpuna i reversibilna.

Kinetika sorpcije Ca^+, Sr^{2+} i Co^{2+} u koncentraciji 1.10^{-5} N prikazana je na sl. 1. Kao što se vidi sa sl. 1. stroncijum se veoma brzo sorbira, dostiže ravnotežu posle 15 min., a cezijum i kabalt posle 24 h mešanja. Oblik krive kinetike sorpcije cezijuma u prisustvu $1\cdot10^{-5}$ - $1\cdot10^{-2}$ N NaCl indicira da

je sorpcija cezijuma vezana za dva mehanizma.

Koeficijenti raspodele Cs^+, Sr^{2+} i Co^{2+} u funkciji koncentracije NaCl, prikazani su na sl.2. Krive 1, 2 i 3 prikazuju sorpciju na netretiranoj zemlji, dok se krive 1', 2' i 3' odnose na zemlju prevedenu u Na-oblik. Ako se jonska izmena predstavi jednačinom Bagrecova /2,3/ i sorpcija mikrokomponente prikaže kao K_d u funkciji makrokomponente, treba da se dobije prava linija sa nagibom z_A/z_B, gde su z_A i z_B naelektrisanja jona u mikro i makrokoncentracijama. Koristeći naše rezultate ni u jednom slučaju nismo mogli da verifikujemo jednačinu Bagrecova.

Kao što se vidi sa sl.2 sorpcija Cs^+ je veća na netretiranoj zemlji no na prevedenoj u Na-oblik. Sorpcija mikrokoncentracija Cs^+ ne zavisi od početne koncentracije NaCl na zemlji prevedenoj u Na-oblik. Na netretiranim uzorcima zemlje, sorpcija Cs^+ opada sa porastom koncentracije NaCl. Poredeći sorpciju Cs^+ u prisustvu Ca^{2+} /1/ i Na^+ veći uticaj pokazuju joni Na^+ tako da se dobija redosled dejstva na K_{dCs}: Na^+ Ca^{2+}, što ukazuje na narušavanje prostih zakonitosti sorpcije jonske izmene.

Uporedjivanjem koeficijenata raspodele sorpcija mikrokoncentracija Sr^{2+} malo je veća na uzorcima zemlje - prevedene u Na-oblik nego na netretiranim uzorcima. Na sorpciju mikrokoncentracija Sr^{2+} nešto veći uticaj imaju Ca^{2+} joni /1/ od Na^+ jona, ali tako da sorpcija stroncijuma ne zavisi mnogo od toga da li su prisutni jednovalentni Na^+ ili dvovalentni Ca^{2+} joni. I ovde, kao i u slučaju cezijuma neprimenjive su zakonitosti jonske izmene.

Krive koeficijenata raspodele mikrokoncentracija Co^{2+} na netretiranim i prevedenim u Na-oblik uzorcima zemlje imaju

isti tok samo što je sorpcija veća na uzorcima prevedenim u Na-oblik. Uočava se da sorpcija makrokoncentracija Co^{2+} ne zavisi od prisutne koncentracije NaCl u rastvoru, što nije bio slučaj sa $CaCl_2$ /1/. Na sorpciju mikrokoncentracija Co^{2+}, uporedjivanjem K_{dCo} vrednosti, veći uticaj imaju Ca^{2+} joni /1/ od Na^+, $Ca^{2+} > Na^+$.

Na osnovu analize podataka iz literature, rezultati koji su dobiveni za sorpciju mikrokoncentracija Cs^+, Sr^{2+} i Co^{2+} nisu neuobičajeni, tako da se jednačina jonske izmene Bagrecova /2,3/ samo u principu može primeniti na zemlje. Osnovnu teškoću za kvantitativno prikazivanje jonske izmene na zemlji predstavlja činjenica što sorbent-zemlja ima nehomogene jonoizmenjivačke grupe koje ispoljavaju različite energije veze sa izmenjujućim jonima. Kao rezultat ove pojave javlja se histerezis izmene /4,5/, narušavanje konstantnosti stehiometrijskih konstanti ravnoteža, razlika u konstantama izmene na mestima sa jakom i slabom energijom veze i dr. Narušavanje zakona o dejstvu masa naročito se ispoljava u slučajevima gde je nizak stepen zaposedanja sorpcionih mesta na sorbentu, tj. kada se radi sa malim koncentracijama rastvora.

U cilju upoznavanja prirode sorpcije Cs^+, Sr^{2+} i Co^{2+} na uzorcima zemlje, ispitivane su njihove izoterme sorpcije. Na sl.3 prikazane su izoterme sorpcije Cs^+, Sr^{2+} i Co^{2+} na netretiranoj zemlji. Izoterma kobalta u oblasti koncentracije $1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$ N ima linearan karakter i samo u tome delu važi Freundlicheova jednačina; sve druge izoterme nisu u saglasnosti sa Freundlich-ovim jednačinama za izoterme sorpcije.

Sumirajući dobivene rezultate, može se zaključiti da na sorpciju mikrokoncentracija Cs^+, Sr^{2+} i Co^{2+} ne mogu se primeniti proste zakonitosti jonske izmene. Sorpcije mikrokoncentracija Cs^+ i Co^{2+} na zemlji u Na-obliku i u funkciji NaCl imaju isti tok iz čega se može pretpostaviti da se radi o istim procesima

sorpcije. No da bi se objasnili dobiveni rezultati potrebno je ispitati desorpciju ovih radionuklida sa zemlje a i tačno odrediti njen sastav.

Zahvaljujemo se A.Voku koji nam je pomogao u eksperimentalnom radu.

Literatura

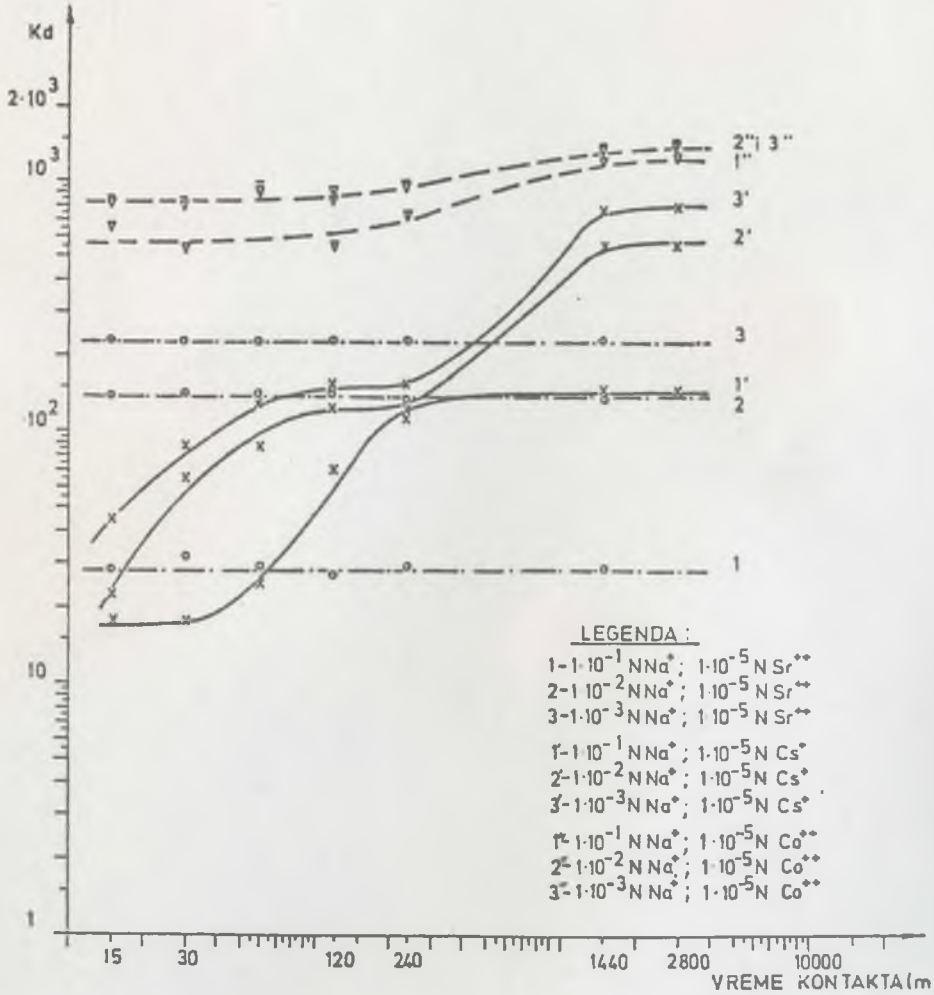
1. Knežević Lj. i Janković O., IV jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, II, 575 (1969).

2. Bagrecov F.V. et al., Radiochimia 2, 734 (1960)

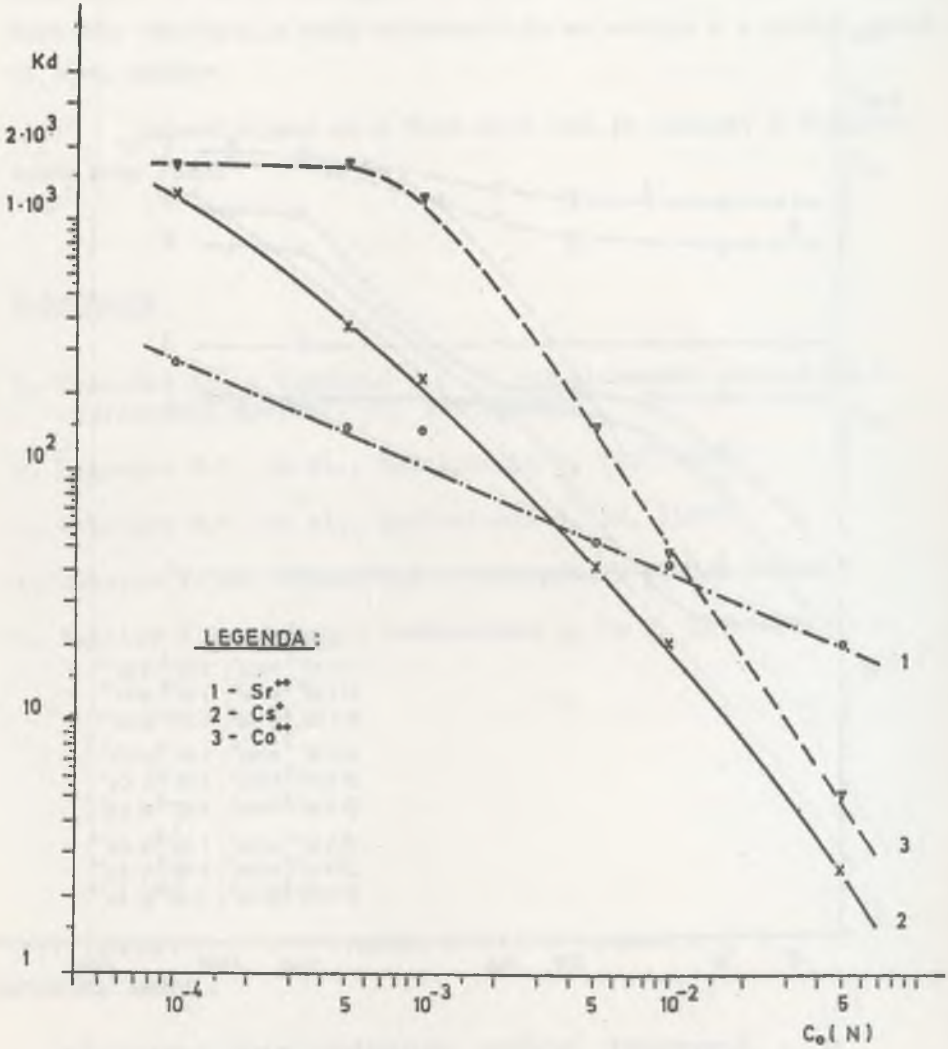
3. Nikolaev M.V. et al., Radiochimia 5, 32, (1963)

4. Kokotov Y. A., Popova R.F., Radiochimia 4, 328 (1962)

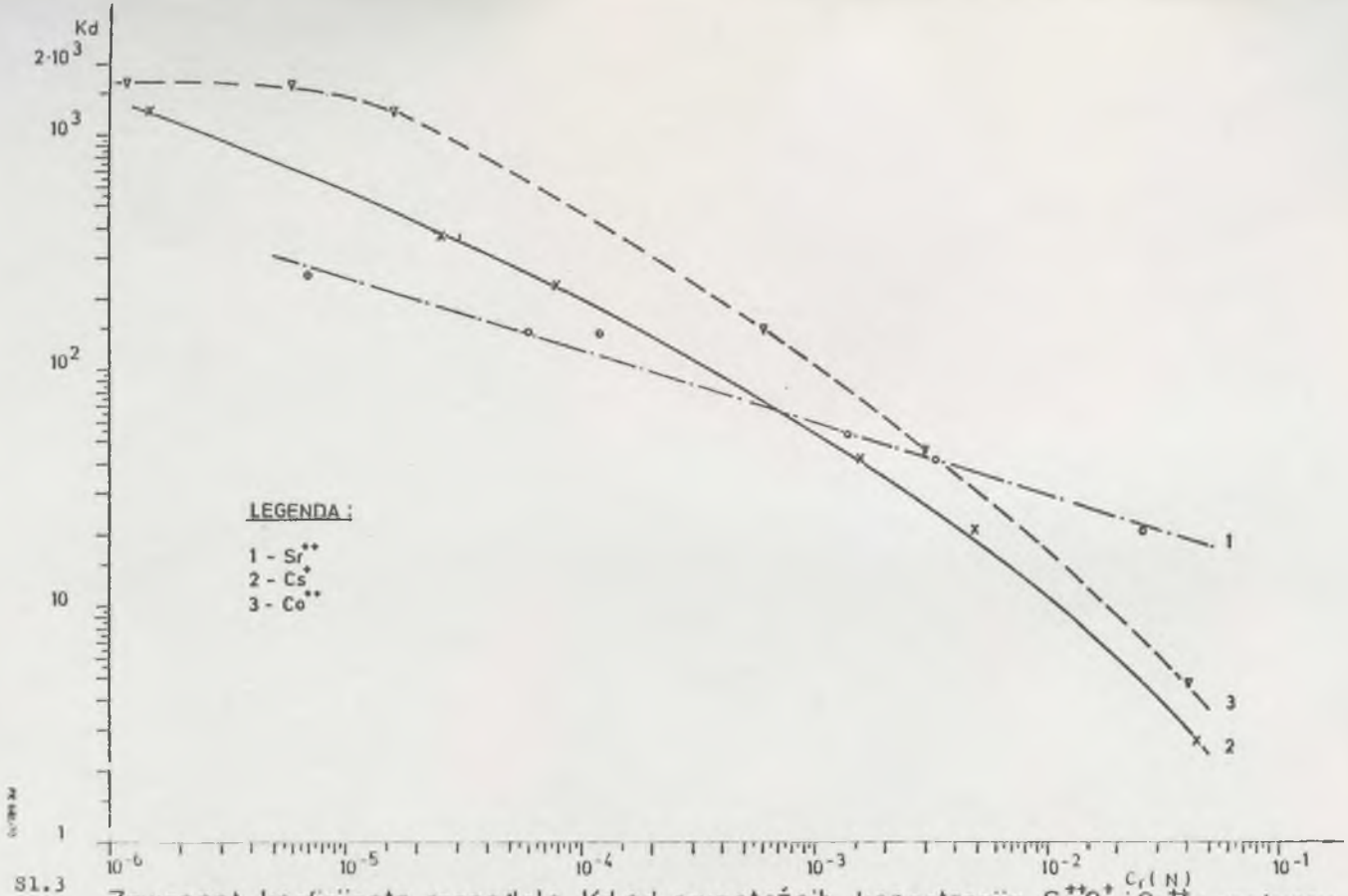
5. Kokotov Y.A., et al., Radiochimia 3, No 2, 199 (1961)



sl. 1 Zavisnost brzine uspostavljanja sorpcione ravnoteže od vremena kontakta



Sl. 2 Zavisnost koeficijenta raspodele Kd od početnih koncentracija Cs^{+}, Sr^{++} i Co^{++} u rastvoru



Sl.3 Zavisnost koeficijenta raspodele Kd od ravnotežnih koncetracija Sr^{++}, Cs^{+} i Co^{++} u rastvoru

Nr/8/10

KOMPLEKSIRANJE JONA KAO MOGUĆNOST SMANJENJA RADIOKONTAMINACIJE SINTETIČKIH MEMBRANA

STANKOVIĆ S. - VELJKOVIĆ S.
INEP , Zemun - PMF, Beograd

Uvod

Ispitivanje adsorpcije $^{89,85}Sr^{+2}$, $^{137}Cs^{+1}$ i $^{144}Ce^{+3}$ je veoma značajno sa gledišta radiokontaminacije biosfere, jer ovi radioizotopi predstavljaju biološki značajne radionuklide velike toksičnosti. Problem zaštite životnih namirnica je veoma važan. Mnogi mesni proizvodi pakuju se u razne omote od celuloze, polietilena, polivinila i drugih materijala. Ove sintetičke membrane pokazale su se znatno praktičnijim od prirodnih omotača, jer pored ostalih prednosti, njihova proizvodnja je znatno ekonomičnija i sadrže manji broj saprofitnih bakterija nego prirodni omotači.

Cilj ovih ispitivanja je da se smanji adsorpcija ovih jona njihovim kompleksiranjem sa EDTA (etilendiamintetra sirćetna kiselina). Naročito velika efikasnost kompleksiranja zapažena je pri ispitivanju adsorpcije jona cerijuma; adsorpcija je znatno smanjena u poredjenju sa vrednostima adsorbovanog slobodnog cerijumovog jona. Na ovaj način bila bi povećana i zaštita proizvoda koji se nalaze u sintetičkom omotaču.

Materijal i tehnika rada

Kao standardna celulozna membrana, u ovim ispitivanjima, korišćen je celofan Nalo (Kalle Actiengesellschaft), koji ima sledeći hemijski sastav : (1)

Regenerisane celuloze	62-68%
Omekšivača	2- 4%
Vode	6-10%
Nanos laka	6-14%

Propustljivost za vazduh je manja od 0,01 $g/m^2/h$ (2). Debljina celofana iznosi 0,5mm. Pri stajanju u vodi za vreme 30 min. membrana bubri, pri čemu bubrenje izraženo u procentima iznosi 50,7.

Od radionuklida korišćeni su sledeći elementi: $^{89,85}Sr^{+2}$(bez nosača) dobijen je iz Odelenja za proizvodnju radioizotopa Instituta "Boris Kidrič" u obliku $^{89,85}Sr(NO_3)_2$; ^{137}Cs i ^{144}Ce (oba bez nosača) nabavljeni su iz radiohemijskog centra Amersham (Vel.Britanija) u obliku $^{137}CsCl$ i $^{144}CeCl_3$.

Adsorpcija jona ispitivana je statičkom metodom, tako što su uzorci celuloznih membrana geometrijske površine 6,25 cm^2 potapani u rastvore radionuklida, čije su se specifične aktivnosti kretale od 0,05 do 1 μCi/ml, a pH vrednosti iznosile su 3 i 5. Posle isteka vremena od 1 časa, koliko je potrebno za uravnotežavanje procesa (3), uzorci su vadjeni iz rastvora , ispirani 2 do 3 puta vodom i sušeni na vazduhu. Njihova radioaktivnost merena je na brojaču Ekco electronics sa standardnom greškom od 1%.

Da bismo dobili adsorpcione izoterme u rastvor cerijuma (pH=5, pH=3) specifične aktivnosti 0,05 μCi/ml, dodavali smo odredjene količine stabilnog izotopa istog elementa, pošto je osnovni rastvor cerijuma bez nosača. Dodate količine stabilnog cerijuma iznose 5 do 80 x 10^{-6}g Ce/ml. Ovim vrednostima odgovaraju specifične aktivnosti cerijuma od 5 do 0,83 μCi/mg. Na osnovu izmerene adsorbovane aktivnosti na uzorcima (imp/min) i ukupne aktivnosti rastvora izračunava se količina adsorbovanog ^{144}Ce na uzorcima materijala.

Uticaj kompleksirajućeg sredstva na adsorpciju radionuklida ispitivan je tako što je Na-so EDTA dodavana rastvoru radioizotopa, pri čemu dolazi do stvaranja kompleksnog jedinjenja izmedju radionuklida i kompleksirajućeg sredstva. Koncentracija dinatrijumove soli EDTA iznosila je 0,025N.

Rezultati merenja

Koristeći prethodne postupke radiometrijskim merenjima je utvrdjeno da je adsorpcija $^{144}Ce^{+3}$ na celofanu Nalo najveća u poredjenju sa ostalim ispitivanim radionuklidima.

U tabeli 1. prikazani su rezultati adsorpcije svih ispitivanih jona na celofanu Nalo.

TAB. br. 1.

Adsorpcija jona ispitivanih radioelemenata na celofanu Nalo

Vrsta izotopa	A(imp/min/6,25cm^2)
$^{144}Ce^{+3}$	6415
$^{137}Cs^{+1}$	420
$^{89,85}Sr^{+2}$	140

Adsorpcija cezijuma i stroncijuma je znatno manja od adsorpcije cerijumovog jona. Adsorpcija ^{137}Cs iznosi 6,5% od adsorpcije cerijuma, dok je adsorpcija $^{89,85}Sr$ samo 2,1% od adsorpcije cerijumovog jona.

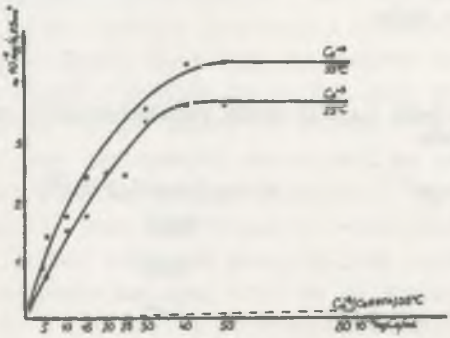
Kako je adsorpcija cerijuma najveća, to ćemo samo za ovaj radioelement izvoditi adsorpcione izoterme.

Adsorpcione izoterme koje su dobijene pri adsorpciji cerijuma iz rastvora $CeCl_3$ koji ima pH=5, a na temperaturama od 25° i 35°C prikazane su na slici 1, a rezultati adsorpcije dati su u tabeli 2.

TAB. br. 2.

Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora cerijuma koji ima pH=5 i ukupnu aktivnost 6 μCi, na površini od 6,25cm^2 celofana Nalo

Količina stabilnog Ce(10^{-6}g/ml)		5	10	15	20	25	30	35	40	80
25°	A(imp/min)	3662	3818	4006	2906	2406	2764	2306	1512	1162
	10^{-2}mg^{144}Ce	0,75	1,5	2,4	2,3	2,4	3,3	3,6	3,6	3,7
35°	A(imp/min)	7489	4466	4463	3470	2985	2706	2600	2100	1301
	10^{-2}mg^{144}Ce	1,4	1,7	2,6	2,7	3,5	4,3	4,2	4,7	4,1



Slika 1. - Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora cerijuma koji ima pH=5

Obe izoterme su Langmuir-ovog tipa i kada se izvrši njihova transformacija može se dobiti pravolinijska zavisnost 1/x/m od 1/c, gde je x/m adsorbovana količina radioaktivnog elementa na 1 g, a c koncentracija njegovog stabilnog izotopa. Ovakva interpretacija omogućava da se preko konstanti ravnoteže adsorpcionog procesa (k), a primenom Clausius-Clapeyron-ove jednačine, odredi toplota adsorpcije (H), slika (2), (4).

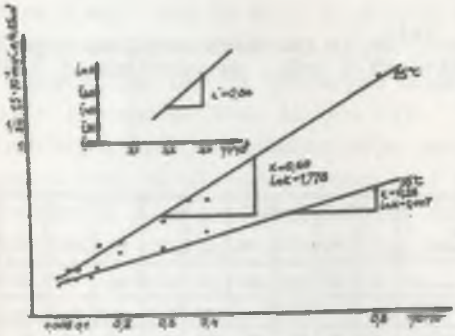
Konstanta adsorpcije odredjuje se iz nagiba prave koja se dobija na gore opisan način. Za temperature od 25°i 35°C dobiće se dve vrednosti za konstantu adsorpcionog procesa.

Clausius-Clapeyron-ova jednačina ima oblik (4):

$$\left[\frac{\partial \ln c}{\partial\, 1/T}\right]_a = -\frac{H_{izoster.}}{R}$$

Predstavljanjem ln k u zavisnosti od 1/T dobija se prava linija , čiji nagib označava toplotu adsorpcije.

Toplota adsorpcije ^{144}Ce na celofanu Nalo iznosi 3,92 kca/mol.



Slika 2.- Transformisane adsorpcione izoterme za adsorpciju ^{144}Ce iz rastvora koji ima pH=5, na temperaturama od 25°i 35°C

Uzimajući u obzir ovako malu vrednost za toplotu adsorpcije, a isto tako i strukturu površine ispitivane membrane, ovde možemo govoriti samo o fizičkoj adsorpciji, što znači da je cerijum vezan za površinu adsorbenta, uglavnom, Van der Vaals-ovim silama.

Na slici 3. prikazane su izoterme za adsorpciju cerijuma iz kiselog rastvora (pH=3) i to na tri temperature: 7°, 25° i 35°C. Rezultati adsorpcije dati su u tabeli 3.

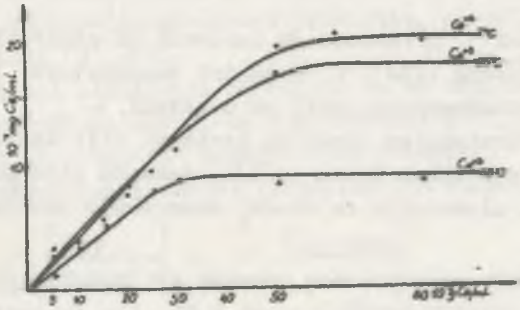
Transformisanjem sledećih izotermi nije se mogla dobiti pravolinijska zavisnost 1/x/m od 1/c, tako da nije mogla biti izračunata toplota adsorpcije za slučaj adsorpcije cerijuma iz kiselih rastvora.

Konstanta adsorpcionog procesa pri adsorpciji Ce^{+3} iz rastvora koji ima pH=3 i t=25°C iznosi 0,36, što je znatno manje od konstante za adsorpciju cerijuma iz rastvora koji ima pH=5. Pri ovim uslovima k=0,60.

TAB. br. 3.

Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora cerijuma koji ima pH=3 i ukupnu aktivnost 6 μCi, na površini od 6,25 cm^2 celofana Nalo

Koli'ina ste'bilnog Ce(10^{-6}g/ml)		5	10	15	20	25	30	40	50	80
7°	A(imp/min)	164	97	112	105	96	93	104	97	95
	10^{-4}mg ^{144}Ce	3,3	3,9	6,7	8,4	9,6	11,2	16,7	19,4	20,4
25°	A(imp/min)	50	74	94	107	105	100	85	90	90
	10^{-4}mg ^{144}Ce	1,5	2,9	5,7	8,6	10,5	12	13,6	17,7	18
35°	A(imp/min)	65	86	85	80	75	72	50	45	28
	10^{-4}mg ^{144}Ce	1,6	3,4	4,7	6,5	7,5	8,7	9,2	9,1	8,8



Slika 3.- Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora cerijuma koji ima pH=3

Uporedjujući ravnotežne kapacitete celofana Nalo za cerijum zapaža se znatno smanjenje adsorpcije ovog jona iz kiselog rastvora (pH=3). Ravnotežni kapacitet u ovom slučaju iznosi 1,8 x 10^{-3}mgCe/6,25 cm^2, dok njegova vrednost u uslovima kada je

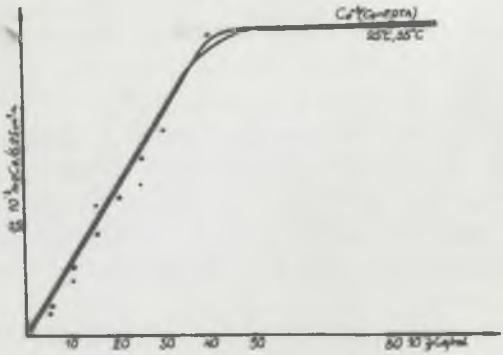
adsorpcija Ce-jona vršena iz rastvora koji ima pH=5, iznosi $3,65 \times 10^{-2}$mgCe/6,25cm^2. Ovo se može objasniti time što pri adsorpciji cerijumovog jona iz rastvora koji ima pH=3 dolazi istovremeno do njegove desorpcije. Ovo je provereno odgovarajućim ispitivanjem desorpcije u vremenu od 0-40 minuta (5).

Do izrazitijeg smanjenja adsorpcije cerijuma dolazi prilikom kompleksiranja jona sa dinatrijumovom soli EDTA. Ravnotežni kapacitet ima vrednost $1,35 \times 10^{-3}$mg Ce/6,25 cm^2. U tabeli 4 dati su rezultati adsorpcije cerijuma posle kompleksiranja sa Na-soli EDTA, a grafički su predstavljeni na slici 4.

TAB. br. 4

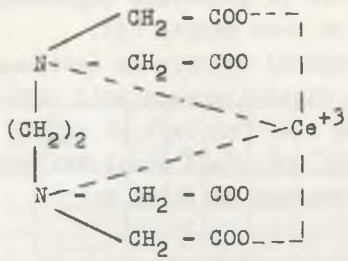
Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora u kojem je ovaj jon kompleksiran sa Na-soli EDTA, na površini od 6,25cm^{2}celofana Nalo

Količina stabilnog Ce(10^{-6}g/ml)		5	10	15	20	25	30	35	40	80
25°C	A (imp/min)	36	75	75	50	67	109	72	68	50
	10^{-4}mg^{144}Ce	1,1	3,0	4,5	4,0	6,7	13,0	13,0	13,0	13,0
35°C	A (imp/min)	60	60	97	75	78	75	82	67	42
	10^{-4}mg^{144}Ce	1,3	2,4	5,8	6,0	7,8	9,0	13,1	13,4	13,4



Slika 4.- Adsorpcija ^{144}Ce iz rastvora u kojem je ovaj jon kompleksiran sa Na-soli EDTA

Smanjenje adsorpcije cerijuma može se protumačiti gradjenjem kompleksnog jedinjenja izmedju cerijuma i dinatrijumove soli EDTA. Strukturna formula ovog kompleksa može se prikazati na sledeći način (6):



Disocijacija ovog kompleksa uslovljena je koncentracijom slobodnih jona u rastvoru. Uzimajući u obzir vrednost konstante stabilnosti (pK_{CeEDTA} = 25,10) i podatke o znatnom smanjenju adsorpcije jona posle kompleksiranja, možemo zaključiti da se samo slobodni joni mogu adsorbovati u većem iznosu.

U literaturi (7) se navode podaci o postojanju polinuklearnog kompleksa izmedju cerijuma i natrijumove soli EDTA. Takodje je prikazan odnos koncentracija metalnog jona i kompleksirajućeg sredstva, koji smo i mi koristili u našem radu.

Literatura

1. Kalle Actiengesellschaft - "Cellophan" -Directions for Use.
2. Informacija: "Proizvodnja celofana, osobine, vrste i tipovi, njegova primena i prerada za pakovanje, Institut za naučno-tehničku dokumentaciju i informacije, (1965), Beograd.
3. Stanković S, Veljković S., Radioprotektivna svojstva nekih organskih polimera koji služe kao omotači za prehrambene proizvode, IV Jug.Simpozijum o radiološkoj zaštiti, Baško polje, (1969).
4. Brunauer S., The Adsorption of Gases and Vapors, 222, (1945), Washington.
5. Stanković S., magistarski rad "Selektivna adsorpcija jona na sintetičkim membranama organskih polimera", PMF, (1968), Beograd.
6. Welcher F., The Analytical Use of EDTA,(1968),New York-London.
7. Sonesson A.,Acta Chemica Scandinavica, 12, 165-181, (1958).

PK 840/70

NEKA USAVRŠAVANJA I EVALUACIJA IONSKOIZMJENJIVAČKE METODE ODREDIVANJA UKUPNE BETA RADIOAKTIVNOSTI PRIRODNIH VODA

Pioer M., Stampf D.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

Rezime

U radu su prikazana neka usavršavanja ionskoizmjenjivačke metode određivanja ukupne beta radioaktivnosti prirodnih voda. Uspoređeni su rezultati mjerenja nivoa radioaktivnosti prirodno kontaminiranih voda mjerenih metodama uparavanja i ionske izmjene.

Autori ukazuju na slabu tačnost i preciznost standardne metode uparavanja te na temelju svojih rezultata preporučuju ionskoizmjenjivačku metodu mjerenja opće beta radioaktivnosti prirodnih voda svim jugoslovenskim centrima za praćenje radioaktivnosti biosfere.

Uvod

U sklopu mjerenja radioaktivnosti biosfere uvijek se prati i nivo kontaminacije prirodnih voda mjerenjem ukupne beta radioaktivnosti. U našem laboratoriju za mjerenje radioaktivnosti biosfere, kao i u još nekim centrima za praćenje radioaktivnosti biosfere, za mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama upotrebljava se metoda uparavanja uzorka vode i brojenje alikvotnog i žarenog ostatka(1).

Međutim, neka su usporedna mjerenja istovrsnih uzoraka navedenom metodom pokazala veoma velike varijacije rezultata, što je ukazivalo na malu preciznost metode. Da bi se pronašle pogodnije metode mjerenja ukupne beta radioaktivnosti u vodi pristupili smo istraživanjima u dva pravca. Prvo smo razradili metodu mjerenja ukupne beta radioaktivnosti u vodi pomoću GM brojača za tekućine (2), čime se dobila brza i jednostavna ali manje osjetljiva metoda mjerenja većih koncentracija radionuklida u vodi pri izvanrednim uvjetima prodora radioaktivnog oblaka u slučaju velikih nuklearnih nesreća ili eksplozije nuklearnog oružja. Za mogućnost osjetljivog i tačnog određivanja ukupne beta radioaktivnosti razradili smo dvije metode: metodu uparavanja i direktnog brojenja uparenog ostatka (3, 4), te metodu koncentriranja radionuklida na sloju ionskoizmjenjivačke smole (5).

Svrha ovog rada jest uvođenje nekih poboljšanja u samu ionskoizmjenjivačku metodu i njeno takvo adaptiranje da što se tiče i brojenja uzoraka ona postane pristupačna svakom laboratoriju. Osim toga, načinjena je evaluacija metode u odnosu na metode uparavanja i to na većem broju prirodno kontaminiranih uzoraka.

Materijal i metode

Priređivanje uzoraka

Za procjenu uspješnosti metoda uspoređivali smo sve tri metode (2, 3, 4, 5, 6) najprije u četiri paralelna uzorka iz istovrsnog uzorka vode a zatim s po jednim uzorkom iz niza različitih uzoraka. Za posljednje uspoređivanje mogli su se uzeti samo uzorci kišnice, ukoliko je palo barem 3 mm kiše jer su onda ukupni uzorci iznosili 3 litre.

Iz takvih uzoraka dobrim potresanjem načinili smo homogeni uzorak iz kojeg smo uzimali po jednu litru vode za analizu kasnije opisanim metodama.

Kratak opis metoda uparavanja

Metoda uparavanja koja se rutinski upotrebljava u većini centara za praćenje nivoa radioaktivnosti biosfere u našoj zemlji odvija se na slijedeći način: u jednu litru uzorka vode doda se 5 mm koncentrirane HNO_3 i smjesa se uparava na plinskom kuhalu do volumena oko 15 ml. Upareni ostatak kvantitativno se prenese u odvagnute lončiće za žarenje i ispari pomoću infracrvene svjetiljke do suha. Lončić sa sadržajem žari se dva sata na 750°C, te se nakon hlađenja ižareni ostatak prebaci u ahatni tarionik gdje se fino izmrvi i centrifugiranjem u rasklopnoj metalnoj kiveti nanese na odvagnutu plastičnu planšetu. Tako priređeni uzorci broje se antikoincidentnim GM brojačem s prozorom. U daljnjem tekstu ta će se metoda označavati kao standardna metoda.

Novom metodom uparavanja (3, 4) određivanje beta radioaktivnosti u vodi odvija se na slijedeći način: u jednu litru kišnice doda se 10 ml 1N citronske kiseline i 3 ml otopine $Ca(CH_3 COO)_2$ koncentracije 100 mg/ml, u cisternsku vodu doda se 5 ml 1N citronske kiseline i 2 ml otopine $Ca(CH_3 COO)_2$. Pri određivanju riječne vode dodaje se samo 10 ml 1% otopine kompleksona III. Voda se upari do malog volumena i upareni ostatak prenese kvantitativno u odvagnutu aluminijsku planšetu promjera 5,5 cm. Sadržaj planšete upari se pomoću infracrvenih svjetiljki do suha, zatim suši na 110°C, ohladi, vagne i broji protočnim antikoincidentnim GM brojačem s tankim prozorom. U daljnjem tekstu je ta metoda označena kao metoda uparavanja.

Ionskoizmjenjivačka metoda

Kao što je već prije opisano (5, 6) postupak se sastoji u tome da se uzorak vode pomoću vrlo jednostavnog uređaja za filtriranje (5) propusti preko sloja ionskoizmjenjivačke smole koja se nalazi na filtrir papiru. Nakon završenog propuštanja filtrir papir sa smolom prebaci se na aluminijski tanjurić za brojenje, malo prosuši, zalijepi ljepljivom trakom i broji. Za razliku od prije (5) prikazani su rezultati dobiveni brojenjem radionuklida na smoli antikoincidentnim brojačem Lola-4.

Rezultati i diskusija

Upotreba smjese ionskoizmjenjivačkih smola

Propuštanje uzoraka cisternske vode i vodovodne vode odvijalo se bez poteškoća kroz sloj kationske smole ali neki uzorci bogatiji talogom kišnice a naročito riječnih voda, zahtijevali su propuštanje kroz 12 pa i više sati. Radi ubrzanja postupka proticanja uzoraka dodavali smo kationskoj smoli izvjesnu količinu anionske smole. Na tablici 1 prikazani su rezultati pokusa dobiveni propuštanjem umjetno kontaminiranih uzoraka preko kationske i smjese kationske i anionske smole. Rezultati su dobiveni na tri paralelna uzorka.

Iz prikazanih rezultata vidimo da ne postoji statističko značajno smanjivanje efikasnosti retencije smole do sastava 75% kationske smole i 25% anionske. Radi mnogo povoljnijeg vremena proticanja uzoraka kroz smjesu smola daljnja istraživanja vršili smo na smjesi 75% kationske + 25% anionske smole. Ova smjesa tim više se preporučuje jer i eventualno prisutne anionske specije radionuklida mogu biti uspješno retinirane na anionskoj smoli što ne bi bio slučaj uz prisustvo samo kationske smole.

Tablica 1

Utjecaj sastava sloja ionskoizmjenjivačke smole na retenciju radionuklida i vrijeme propuštanja uzoraka vode

Uzorak	Sastav smole	Aktivnost (imp/min)	Vrijeme proticanja
Kišnica	Kationska (K) 100%	507±35	cca 7 sati
	K 90% + A 10%	520±25	cca 6,5 sati
	K 80% + A 20%	490±37	cca 5 sati
	K 75% + A 25%	481±26	cca 3,5 sati
	K 50% + A 50%	350±56	cca 1 sat
Riječna voda	Kationska (K) 100%	480±35	cca 12 sati
	K 90% + A 10%	497±32	cca 10 sati
	K 80% + A 20%	423±35	cca 8 sati
	K 75% + A 25%	472±37	cca 5 sati
	K 50% + A 50%	362±72	cca 2 sata

Usporedba rezultata analize prirodnih voda istovrsnih uzoraka

Na tablici 2 prikazani su rezultati analize četiriju paralelnih uzoraka prirodno kontaminirane kišnice cisternske i riječne vode dobiveni metodama uparavanja i ionske izmjene modificirane uvođenjem smjesa smole.

Relativna standardna devijacija pojedinih metoda, dobivena paralelnom analizom četiriju uzoraka, jest S_r dok je s_r relativna standardna devijacija brojenja radioaktivnosti uzoraka izračunata prema (7) jednadžbi:

Tablica 2

Usporedba rezultata analize istovrsnih uzoraka

Metoda	Uzorak	Vrijeme brojenja	S_r(%)	s_r(%)	Specifična aktivnost
Standardna metoda	Kišnica	5 sati	57,0	5,3	(16,7±9,5)pCi/l
	Cisternska voda	5 sati	45,3	5,4	(19,2±8,7)pCi/l
	Riječna voda	5 sati	71,2	7,2	(2,1±1,5)pCi/l
Metoda uparavanja	Kišnica	2 sata	7,5	5,6	(8,70±0,65)pCi/l
	Cisternska voda	2 sata	5,4	5,0	(16,32±0,88)pCi/l
	Riječna voda	4 sata	7,5	6,9	(3,45±0,26)pCi/l
Ionsko izmjenjivačka metoda	Kišnica	2 sata	11,9	5,7	(8,80±1,05)pCi/l
	Cisternska voda	2 sata	6,3	6,1	(15,27±0,96)pCi/l
	Riječna voda	3 sata	13,9	7,8	(3,25±0,45)pCi/l

$$s_r = \frac{\sqrt{\frac{n + n_o}{t} + \frac{n_o}{t_o}}}{n}$$ gdje je

n = brzina brojenja uzoraka u imp/min

n_o = brzina brojenja osnovnog brojenja u imp/min

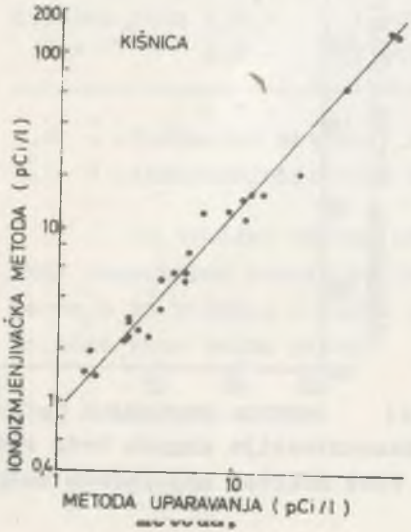
t = vrijeme brojenja uzorka u minutama

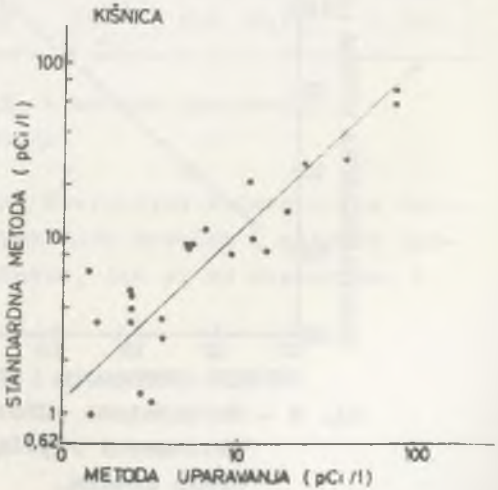
t_o = vrijeme brojenja osnovnog brojenja u minutama

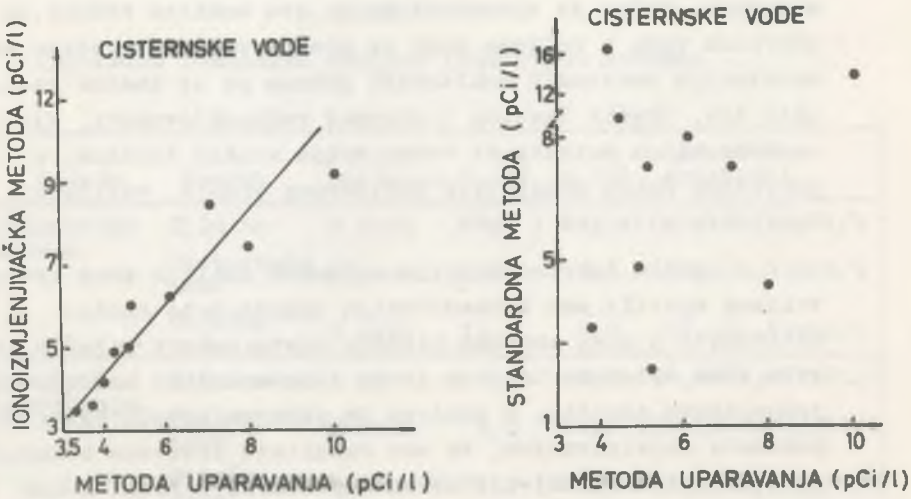
Iz tablice 2 vidimo da je preciznost standardne metode u usporedbi s novom metodom uparavanja i ionsko-izmjenjivačkom metodom daleko slabija. Nesigurnost standardne metode očituje se i u velikoj razlici između rezultata analize kišnice dobivenih ovom metodom i drugim dvjema

metodama. Važno je spomenuti da su ove analize vršene na uzorcima voda u vrijeme kada je prošlo već više godina od moratorija nadzemnih nuklearnih pokusa pa se znatno smanjio udio tzv. vrućih čestica u ukupnoj radioaktivnosti. Vjerojatno bi uz prisutnost većeg broja vrućih čestica, u periodima nakon eksplozije nuklearnog oružja, varijacije rezultata bile još i veće.

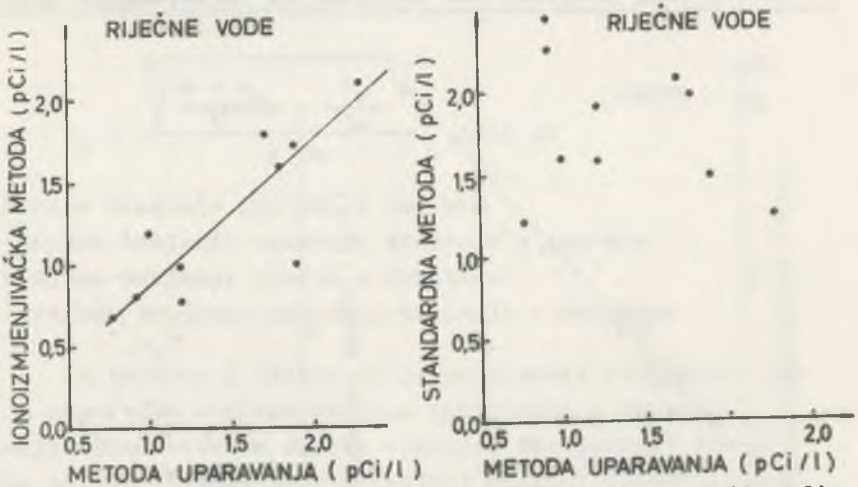
Nakon izvršenih prije opisanih analiza kroz izvjesno vrijeme mjerili smo koncentraciju ukupne beta radioaktivnosti u nizu uzoraka kišnice cisternske i riječne vode svim trim metodama tako da je na jednom uzorku načinjena jednostruka analiza. S obzirom da se nova metoda uparavanja pokazala najsigurnijom, to smo rezultate dobivene standardnom metodom i ionskoizmjenjivačkom usporedili s rezultatima dobivenim metodom uparavanja. Na slikama 1, 2 i 3 prikazani su korelacioni odnosi rezultata za kišnicu, cisternsku i riječnu vodu. S obzirom da se je nivo opće beta radioaktivnosti kišnice mijenjao za dva reda veličine to smo vrijednosti zbog preglednosti nanijeli na logaritamske skale.







Sl. 2 - Korelacioni odnos koncentracija ukupne beta radioaktivnosti cisternske vode dobiven usporedbom naznačenih metoda.



Sl. 3 - Korelacioni odnos koncentracija ukupne beta radioaktivnosti riječne vode dobiven usporedbom naznačenih metoda.

Iz slika se dobro vidi da su korelacioni odnosi daleko bolje izraženi pri usporedbi rezultata dobivenih ionsko-izmjenjivačkom metodom od onih dobivenih standardnom metodom. Izvršenom korelacionom analizom (8) dobiveni su koeficijenti korelacija prikazani na tablici 3.

Tablica 3

Usporedba nivoa specifične aktivnosti prirodno kontaminiranih uzoraka vode izmjerenih metodama uparavanja i ionsko-izmjenjivačkom metodom

Vrsta uzoraka	Nivo radioaktivnosti	Broj uzoraka	Korel. metode	Koef. korel.
Kišnica	0,5 - 134,9 pCi/l	26	I.I./M.U.	0,993
Kišnica	0,0 - 75,5 pCi/l	26	S.M./M.U.	0,884
Kišnica	0,5 - 7,5 pCi/l	16	I.I./M.U.	0,938
Kišnica	0,0 - 9,3 pCi/l	18	S.M./M.U.	0,709
Cisternska voda	3,5 - 9,1 pCi/l	10	I.I./M.U.	0,939
"	2,4 - 16,7 pCi/l	10	S.M./M.U.	0,203
Riječna voda	0,8 - 2,1 pCi/l	10	I.I./M.U.	0,936
" "	1,2 - 2,7 pCi/l	10	S.M./M.U.	0,305

S.M. = standardna metoda; M.U. = metoda uparavanja;
I.I. = ionskoizmjenjivačka metoda

Iz tablice vidimo da su koeficijenti korelacije dobiveni usporedbom rezultata standardnom metodom i metodom uparavanja za kišnicu srednje jakosti, dok su za cisternske i riječne vode veoma slabi.

Zaključak

Nakon iznesenih rezultata analize niza prirodno kontaminiranih uzoraka prirodnih voda možemo donijeti slijedeće zaključke:

1. Nova metoda uparavanja veoma je preoizna i svakako pogodnija što se tiče preciznosti, tačnosti kao i cijeni u odnosu na dosada standardnu metodu uparavanja. Nova metoda uparavanja jedino ima lošu stranu što je za brojenje uzoraka potreban brojač velike površine a izvedba takvih brojača u antikoincidentnom sklopu je skupa, tako da ti brojači nisu dostupni svakom laboratoriju.

2. Uzevši u obzir brzinu analize, utrošeni rad po uzorku, jednostavnost izvedbe, utrošeni materijal, izvođenje mjerenja radioaktivnosti - najveću prednost ima svakako metoda mjerenja ukupne beta radioaktivnosti vode pomoću koncentriranja radionuklida na sloju smjese kationske i anionske smole.

3. Zbog ovdje navedenih osobina preporučujemo opisanu ionskoizmjenjivačku metodu za mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u vodama svim jugoslovenskim centrima zaduženim za kontrolu radioaktivnosti biosfere.

L i t e r a t u r a

1. Popović K.: Analiza radioaktivnosti životne sredine, Elaborat za 1962. godinu, IMI-S-13.

2. Picer M., Popović V.: Mogućnost i osjetljivost određivanja nekih radionuklida i njihovih smjesa pomoću GM brojača za tekućine, Arh.hig.rada, 18 (1967) 383.

3. Picer M.: Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama pojednostavljenom metodom uparavanja, u "Merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizujućeg zračenja", (Zbornik materijala III Jugoslovenskom simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka 1967), JDRZ, Beograd 1968. godine, str.293.

4. Picer M.: Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama novom metodom uparavanja, Arh.hig.rada, 19 (1968) 225.

5. Picer M.: Mogućnost mjerenja ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama koncentriranjem radionuklida na tankom sloju ionoizmjenjivačke smole, u "Merenja i instrumentacija u zaštiti od jonizujućeg zračenja", (Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Banja Luka 1967), JDRZ Beograd, 1968., str.286.

6. Picer M.: Usporedba metoda za određivanje ukupne beta radioaktivnosti u kišnici, cisternskoj i riječnoj vodi, Arh.hig.rada, 19 (1968) 217.

7. Gusev N.G., Margulis U.Ja., Marej A.N., Tarasenko N.Ju., Štukkenberg J.Ju.M.: Dozimetričeskie i radiometričeskie metodiki, Atomizdat, Moskva 1966, str.263.

8. Škara Vidojević Lj.: Osnovi statistike, Savremena administracija, Beograd 1963., str.187.

Nr / 8 / 13

SISTEM KONTROLE OTPADNIH RADIOAKTIVNIH VODA NA INSTITUTU "RUDJER BOŠKOVIĆ"

Branko Breyer, Antun Gregoran
Institut "Rudjer Bošković", Zagreb POB 171, Jugoslavija

Kratki sadržaj

Opisan je sistem za kontrolu i uklanjanje radioaktivnih otpadnih voda. Opisana je izvedba antikoincidentnog uredjaja za mjerenje nižih aktivnosti pomoću GM brojača. Uredjaj je jednostavan za rukovanje, ima mogućnost da se namjesti odredjeno trajanje mjerenja te se koristi za rutinsku kontrolu zagadjenja otpadnih voda radioaktivnim materijalima.

A system for measuring radioactive contamination of waste waters

An anticoincidence system with GM counters for measuring low-level beta activities is described. The system is easy to use. A clock with electrical contact enables one to perform preset-time measurements. The system is used to control the radioactive contamination of waste waters.

Sistem radioaktivne kanalizacije Instituta "Rudjer Bošković" izgradjen je za sabiranje radioaktivne otpadne vode koja dospjeva u kanalizaciju prilikom pogona ciklotrona, proizvodnje radioizotopa, vršenje eksperimenata s radioaktivnim materijalima, pranja odijela i opreme osoblja koje radi s radioaktivnim materijalima, pranja posudja i pribora za rad, te eventualno od čišćenja i pranja zagadjenih prostorija.

Sistem radioaktivne kanalizacije potpuno je odvojen od obične kanalizacije i sastoji se od:

a) sabirne mreže potrošačkih mjesta sa kanalima do rezervoara,
b) zasunske komore sa 3 betonska rezervoara,
c) signalizacije punjenja rezervoara,
d) mjernog uredjaja za odredjivanje specifične aktivnosti uzorka otpadne vode.

Betonski rezervoari su kapaciteta 20 m^3 i pune se naizmjenično. Dva rezervoara služe za redovni pogon, dok treći rezervoar služi kao rezervni u slučaju jače kontaminacije (Sl.1).U slučaju da koncentracija radionuklida u rezervoaru premašuje dozvoljeni nivo za ispuštanje u javnu kanalizaciju, vrši se razredjivanje iz bazena sa vodom koja inače služi za rashladjivanje magneta ciklotrona. Ukoliko bi aktivnost vode porasla do te mjere da razredjivanjem sa inaktivnom vodom ne bi bilo moguće postići zadovoljavajuću koncentraciju radionuklida, onda se sadržaj rezervoara sa visokom aktivnošću prepumpa u posebni rezervoar i podvrgne posebnoj proceduri. U slučaju kontaminacije kratkoživućim izotopima (produkcija ciklotrona) voda se ostavi dok se raspadnu radionuklidi sa najkraćim životom. Nakon toga se postepeno ispušta, vodeći računa da koncentracija radionuklida ne poraste iznad dozvoljene.

Manipulaciju oko ispuštanja vode iz rezervoara u javnu kanalizaciju, uzimanje uzoraka vode, te ispitivanje aktivnosti vode kao i sprovođenje postupka za dekontaminaciju eventualno

jače zagadjenih voda prije ispuštanja u javnu kanalizaciju vrši osoblje Službe zaštite od zračenja.

Rezultati dobiveni analizom vode prije njenog ispuštanja u javnu kanalizaciju unašaju se u "Dnevnik o radioaktivnoj kanalizaciji". Tipični niz mjernih podataka prikazan je u Tabeli I.

Elektronički uredjaj za mjerenje koncentracije radionuklida u otpadnim vodama

Opisanim uredjajem mjeri se broj raspada atoma koji rezultira emisijom beta čestica u uzorku koji se dobiva isparavanjem vode ili u nekom drugom uzorku niske aktivnosti. Prema medjunarodnim standardima, za nepoznati izotopski sastav zagadjenja otpadnih voda beta aktivnost ne smije prelaziti 100 pCi/l. Ovaj se uredjaj upotrebljava za kontrolu otpadnih voda radioaktivne kanalizacije Instituta "Rudjer Bošković" kojima se izotopski sastav mijenja prema radu u pojedinim laboratorijma.

Za uzorak koji se mjeri obično se uzima litra vode iz akumulacionih bazena radioaktivne kanalizacije Instituta. Voda se stavi u staklenu posudu i ispari kvarcnim isparivačem, a dobiveni talog mehanički se skine s dna posude. Prašak koji se dobije na taj način, stavi se u aluminijsku posudu, a zatim sve skupa u olovnu komoru gdje su smješteni brojači. Mjeri se broj impulsa koje registrira mjerni brojač.

Svako mjerenje sastoji se u mjerenju osnovnog zračenja i mjerenju uzorka. Osnovno zračenje mjeri se na isti način kao i uzorak, s tim da je posudica za uzorak prazna. Trajanje mjerenja može se podesiti s pomoću ugradjenog satnog mehanizma. Nakon isteka namještenog vremena mjerenje se zaustavlja, a broj impulsa ostaje zapisan na brojilu.

Opis uredjaja

Pouzdanost i krajnja jednostavnost rukovanja bili su zahtijevi koji su se postavljali na aparaturu za opisana mjerenja. Uredjaj radi prema blok shemi (sl.2). Za detekciju zračenja upotrijebljen je slog GM brojača tvrtke Philips, tip 18536 i 18518. Brojači su smješteni u olovnoj komori koja ima vrata i posebne police za smještaj posudica s uzorkom. Ugradjen je mehanički sat s električnim kontaktom koji po isteku vremena, koje je unaprijed namješteno, prekida napajanje brojila.

Pri mjerenju uzorka dobiva se broj impulsa u minuti G koji je jednak zbroju osnovnog zračenja B i mjerenog broja N impulsa u minuti, tj.

$$G = B + N. \qquad (1)$$

Ako aproksimiramo Poissonovu razdiobu normalno, dobivamo σ_N izraženu sa N, B i G.

$$\sigma_N = \left(\frac{N + 2B}{t_m} \right)^{1/2} \qquad (2)$$

gdje je t_m trajanje mjerenja uzorka i osnovnog zračenja u minutama. Iz (2) se može izračunati trajanje mjerenja koje je potrebno da se broj impulsa N_o još može registrirati. Ako pri tome upotrijebimo 2 σ kriterij, tj. tvrdimo da se N_o još može registrirati sa oko 95 % sigurnosti, dobivamo da je potrebno trajanje mjerenja:

$$t_m = \frac{4(N_o + 2B)}{N_o^2} . \qquad (3)$$

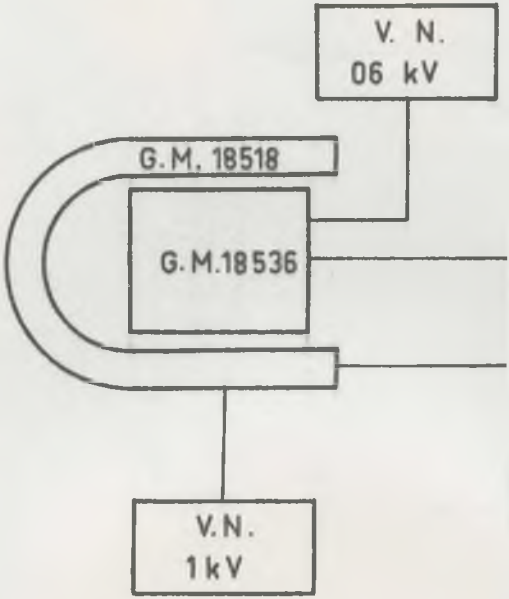
Za dozvoljenu kontaminaciju otpadnih voda trajanje mjerenja je ispod minute za odluku Da-Ne, tj. da li je kontaminacija prevelika ili nije. Medjutim, kod mjerenja nekih drugih uzoraka ("traceri" u biologiji, aerosoli), vrijeme mjerenja može biti dulje za donošenje odluke. Iz (2) se može odrediti i trajanje

mjerenja za neku odredjenu tačnost. Takva razmatranja dolaze u obzir kod vrlo niskih aktivnosti i u slučajevima kad treba izmjeriti veći broj uzoraka. Efikasnost izgradjenog uredjaja provjeravana je s pomoću kalibracionog uzorka na bazi ^{40}K. Dobivena efikasnost iznosi 20 %, što dobro zadovoljava zadanu geometriju. Efikasnost uredjaja nije jednaka za različite energije beta zračenja, ali se to u slučaju potrebe može uzeti u obzir.

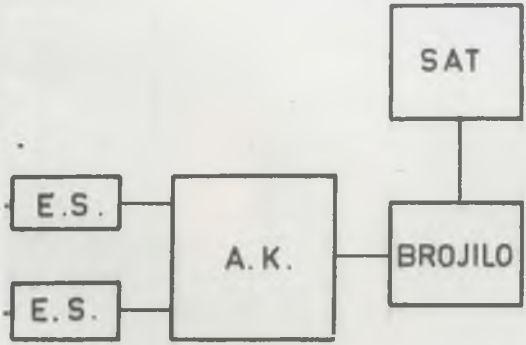
Broj impulsa od osnovnog zračenja iznosi u prosjeku 2,5 impulsa u minuti. U danima vrlo jake sunčeve aktivnosti ta brojka može biti i veća. Za otpadne vode nepoznatog izotopskog sastava dozvoljeni broj impulsa po litri vode iznosi približno 44 imp/min. Očito je da je za to mjerenje dovoljno kratko vrijeme.

TABELA I

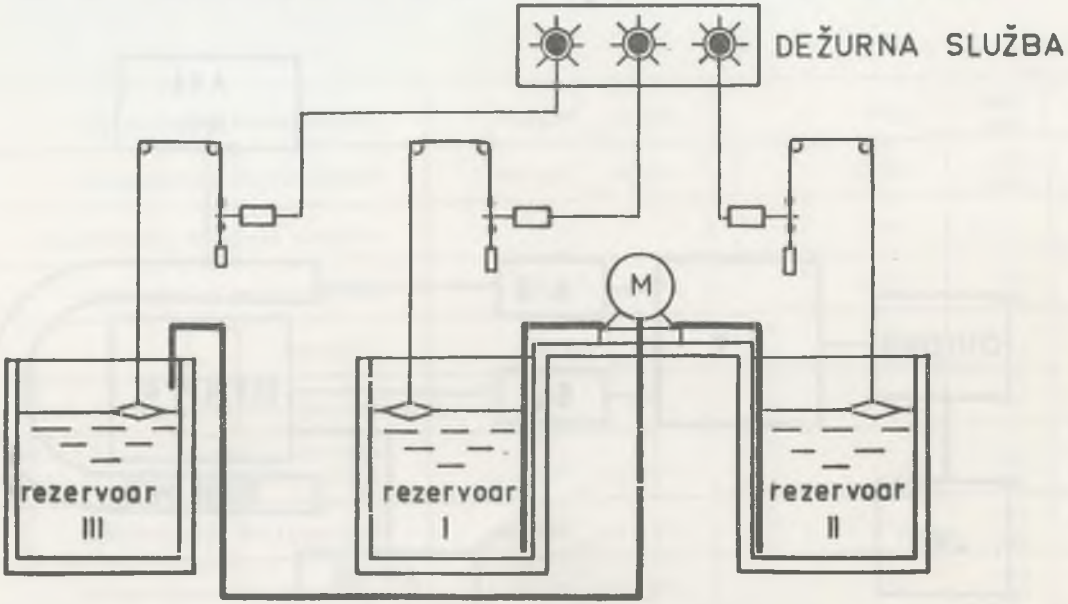
Datum mjerenja	Uzorak	Ukupna aktivnost uzorka in.vmin	Specifična aktivnost /uCi/cm^3	Opaska
19.6.69.	110	1,01	$3,7 \cdot 10^{-9}$ /uCi/cm^3	Pitka voda iz vodovoda
8.9.69.	RAK 167	13,2	$3,2 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija
16.11.69.	RAK 174	12,6	$3,1 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija
20.12.69.	RAK 190	55	$1,36 \cdot 10^{-7}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija (previsoka aktivnost potrebno razredjenje)
1.3.70.	B	2,2		Osnovno zračenje (background)
10.4.70.	B	2,7	$1 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Kišnica
4.6.70.	RAK 201	13,8	$4,3 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija
5.6.70.	B	2,1		Osnovno zračenje (background)
16.6.70.	RAK 205	13,65	$4,3 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija
3.7.70.	RAK 214	12,5	$3,1 \cdot 10^{-8}$ /uCi/cm^3	Radioaktivna kanalizacija



Sl. 2 Blok shema A.K.



uređaja za kontrolu vode



Sl.1 Sistem radioaktivne kanalizacije

PK 84070

PRILOG IZUČAVANJU KINETIKE KALCIJUMA KOD KOKOŠI PERORALNO KONTAMINIRANE KALCIJUMOM-45

Nikolić D., Draganović B., Jovančević V., Stanković S.

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu - Zemun, Baranjska 15

Uvod

U ovom radu ispitivana je distribucija Ca^{45} i zadržavanje ovog kontaminanta u organizmu kokoške posle jednokratno date doze, što odgovara uslovima kontaminacije koja nastupa u procesima nekontrolisanog oslobadjanja nuklearne energije. Aktivnost kostiju merena je u toku vremena od 14 dana da bi se dobili podaci o količini kalcijuma u kostima u zavisnosti od vremena.

Kao što je poznato metodi kinetičke analize dozvoljavaju merenje reverzibilnih i ireverzibilnih procesa, koji čine mineralni metabolizam kosti. Postoji dosta kvantitativnih radova iz ove oblasti i svi su, uglavnom, bazirani na metodi koju su opisali Bauer, Carlson i Lindquist 1955. Ovom metodom moguće je izračunati brzinu deponovanja i resorpcije minerala i veličinu izmenjive frakcije u skeletu. Ovi radovi ukazuju da postoji stalna izmena minerala (Ca i P) izmedju kosti i plazme, koja je nezavisna od fizioloških procesa deponovanja i resorpcije minerala. Prema C.L.Comar et al (1) kost predstavlja rezervoar kalcijuma, koji, možda, najbolje reguliše jonsku koncentraciju u telu, krvni kalcijum.

Bauer i saradnici (2) ukupnu količinu Ca^{45} prisutnu u kostima su predstavili sledećom jednačinom:

$$Ca^{45}_{tot} = Ca^{45}_{E} + Ca^{45}_{A} - Ca^{45}_{R}$$

Ca^{45}_{E} je količina kalcijuma-45 prisutna u izmenjivoj frakciji koštane soli

Ca^{45}_{A} je količina Ca^{45} deponovanog u neizmenljivoj frakciji koštane soli

Ca^{45}_{R} je količina Ca^{45} koji odlazi iz kosti putem resorpcije.

Specifična aktivnost kalcijuma u kostima može biti data sledećim izrazom:

$$SA = \frac{Ca^{45}}{Ca^{45} + Ca^{40}}$$

Specifična aktivnost izmenljive frakcije kosti vrlo brzo dostiže specifičnu aktivnost plazme (2), tako da je

$$Ca^{45}_{E} = E \times S_{plazme}$$

gde je E količina kalcijuma ($Ca^{45} + Ca^{40}$) u izmenljivoj frakciji koštene soli, dok, je S_{plazme} specifična aktivnost kalcijuma u plazmi.

Isti autori daju jednačinu za izračunavanje brzine deponovanja i količine izmenljive frakcije Ca u kosti; pod uslovima da je resorpcija Ca zanemarljiva:

$$B_t = E\, S_t + A \cdot \int_0^t S_t \, dt$$

gde je B_t količina izotopa deponovanog u kosti u vremenu t, E je

količina izmenljive frakcije u kosti, A je brzina deponovanja, S_t je specifična aktivnost u plazmi u vremenu t, $\int S_t\,dt$ je integral specifične aktivnosti elemenata u plazmi u intervalu od nule do t. Od podataka dobivenih za dva različita vremena mogu se postaviti dve simultane jednačine sa nepoznatima A i E, koje se odredjuju.

U ovim ispitivanjima, koja predstavljaju naš prvi orijentacioni rad u ovoj oblasti, mi smo se, uglavnom, zadržali samo na odredjivanju aktivnosti kalcijuma-45 u kostima u toku proizvoljnog vremenskog intervala od 14 dana. Ovaj vremenski interval smo izabrali zato što smo smatrali da će se u toku ovog vremena vrednost izmenljive frakcije Ca-45 iz krvi približiti nuli (2), tako da će merena aktivnost približno poticati samo od deponovanog kalcijuma-45 u kostima, pri čemu smo resorpciju zanemarili.

Materijal i metod rada

Eksperimenti su vršeni na kokicama rase New Hampshire, starosti šest meseci, prosečne težine od 1000-1500 g. Radiokalcijum u obliku $^{45}CaCl_2$, rastvoren u fiziološkom rastvoru specifične aktivnosti 50 µCi/ml je nabavljen iz Odelenja za proizvodnju radioizotopa IBK - Vinča. Kalcijum je apliciran kokošima peroralnim putem.

Uzorci kosti (humerus, tibija, sternum i lobanja), u kojima je praćeno deponovanje kalcijuma-45 i u kojima je odredjivan stabilan kalcijum uzimani su posle 6 časova i 1, 2, 7 i 14. dana.

Merenje radioaktivnosti uzoraka kosti vršeno je u tečnom scintilacionom brojaču "Nuklear Chicago", tip 725 upotrebom scintilatora sledećeg sastava: 0,5g POPOP (1-4 - bis-2-phenylo-

xazolyl-benzene) i 4 g PPO (2-5-diphenyloxazole) i toluol do 1 litar. Uzorci su pripremljeni na sledeći način: kost dobro očišćena od okolnog tkiva, odredjene težine (1-3g) spaljivana je u peći za žarenje na 600°C do konstantne težine. Dobivena količina pepela rastvarana je u 2,5 ml cono. HCl, a zatim je od te zapremine izdvojeno 0,5 ml , dodato 6 ml etanola i 10 ml scintilatora i mereno.

Primenom analitičke kvantitativne metode taloženja kalcijuma u obliku oksalata i titracijom oslobodjene oksalne kiseline odredjivan je ukupan kalcijum.(3,4) Postupak se sastoji u sledećem: 35mg pepela rastvoreno je u 2ml 10% HCl i razblaženo do 25ml. U 10 ml ovog rastvora dodate su dve kapi metilorandža i kap po kap amonijaka dok tečnost ne požuti. Zatim je dodato 2 ml 10% HCl i 0,2 g oksalne kiseline, zagrevano do blizu ključanja i dodano koncentrovanog rastvora aminijumacetata do pojave jasno žute boje. Rastvor je centrifugiran dan kasnije uz trostruko ispiranje 2% amonijačnom vodom. Talog je rastvoren u 5 ml 1N H_2So_4 zagrevan do 70-80°C i titrovan sa N/1oo $KMnO_4$. Sadržaj kalcijuma izražava se na 100 g kosti, po sledećoj formuli:

$$\frac{(a - b) \times 0,2 \times 2,5 \times 100}{\text{odmereni uzorak u miligramima}} = \text{mg \% Ca}$$

a - ml 0,01 N $KMnO_4$ utrošenog za titraciju
b - 0,01 N $KMnO_4$ utrošenog za titraciju nulte probe
0,2 mg Ca odgovara 1 ml 0,01 N $KMnO_4$

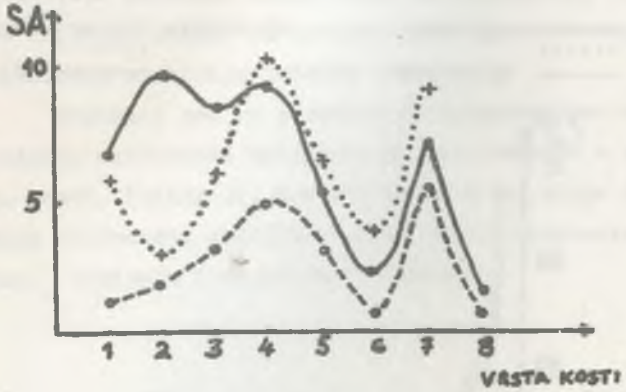
Specifična aktivnost kalcijuma (SA) izračunavana je po sledećoj formuli:

$$SA = \frac{\text{\% doze } ^{45}Ca \text{ u 100 g kosti}}{\text{mg Ca u 100 g kosti}}$$

Dobivena vrednost predstavlja SA kosti izraženu u % doze $^{45}Ca/mg\ Ca$.

Postignuti rezultati i diskusija

Distribucija kalcijuma u pojedinim delovima kostiju kokoši 6 časova posle peroralno date doze Ca-45 prikazana je na slici 1. Na ordinati je predstavljena specifična aktivnost kalcijuma u kostima, a na apcisi vrste kosti (Humerus - 1,2 i 3 ; tibija-4,5 i 6; sternum-7 i lobanja-8). Kao što se vidi specifične aktivnosti u pojedinim delovima kostiju vrlo se mnogo razlikuju. Takodje se može zaključiti da postoji izvesna sličnost izmedju pojedinih kokica, jer su krive specifične aktivnosti različitih kokica veoma slične po svome obliku.

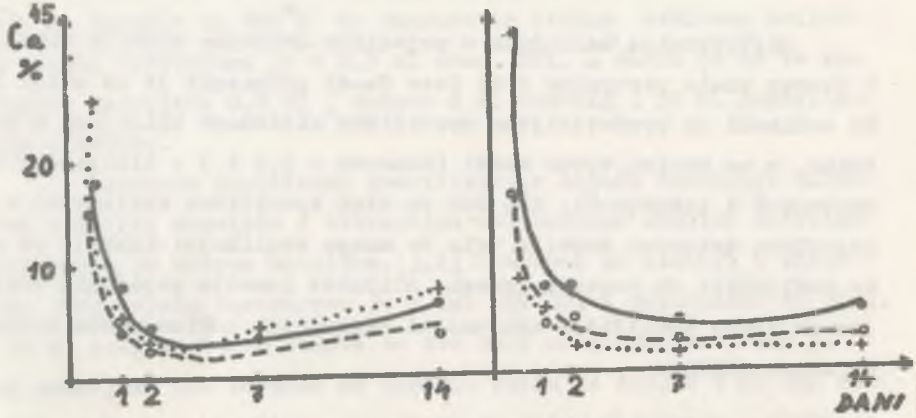


Slika 1. Specifične aktivnosti kalcijuma u različitim kostima.

—— I koka
—— II koka
....III koka

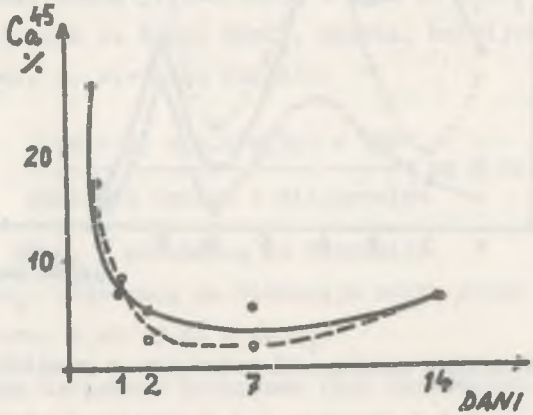
1,2,3 humerus; 4,5,6 tibija; 7 sternum; 8 lobanja

Na slici 2. prikazane su eksperimentalne krive opadanja aktivnosti pojedinih delova kostiju u toku vremena. Ordinata predstavlja procente date doze Ca-45 u 100 g kosti.



a) humerus, epifiza, dijafiza

b) tibija epifiza, dijafiza



c) sternum
lobanja

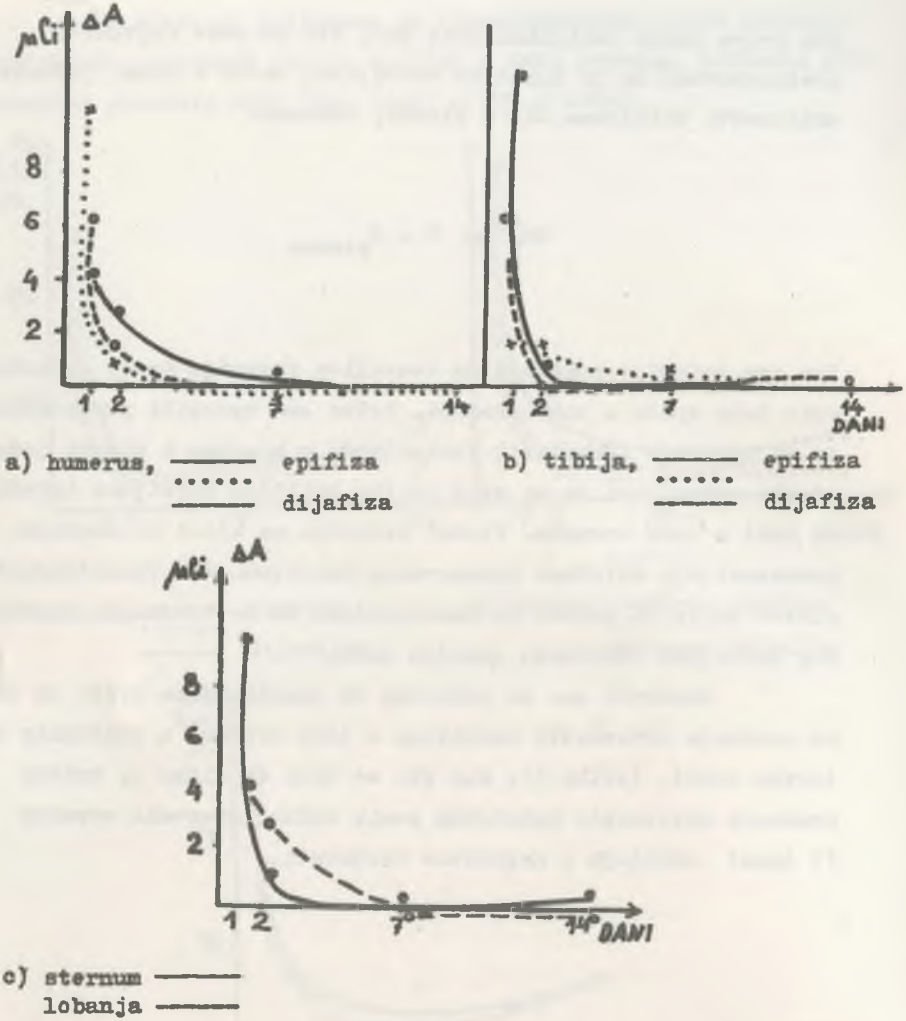
Slika 2. Procenat Ca-45 u pojedinim delovima kostiju u funkciji vremena.

Sve krive imaju približno isti pad, što se može objasniti predpostavkom da je količina izmenjivog Ca-45 u kosti jednaka aktivnosti kalcijuma -45 u plazmi, odnosno:

$$Ca_E^{45} = E \times S_{plazme}$$

Sve ove krivulje pokazuju da izmenjiva frakcija Ca-45 u kostima vrlo brzo opada u toku vremena. Pošto smo usvojili predpostavku da su količine izmenjivih frakcija Ca u kostima i plazmi jednake, odavde proizilazi da se vrlo velika količina kalcijuma izlučuje iz krvi u toku vremena. Platoi krivulja na slici 2. smatramo da predstavljaju količine deponovanog kalcijuma-45. Uporedjujući platoe krivulja možemo da konstatujemo da se vrednosti deponovanog kalcijuma razlikuju izmedju sebe.

Smatrali smo za potrebno da konstruišemo krive za brzinu opadanja aktivnosti kalcijuma u toku vremena u pojedinim delovima kosti. (slika 3). Kao što se vidi sa slike 3. brzine opadanja aktivnosti kalcijuma posle dužih intervala vremena (7 dana) dobijaju i negativne vrednosti.



Slika 3. Brzina promene aktivnosti Ca-45 na dan u pojedinim delovima kostiju u toku 14 dana.

Interesantno bi bili postaviti pitanje oblika krivulja na slici 2 i 3. Na prvi pogled bi se moglo reći da su one eksponencijalne, što bi bio i logičan zaključak. Krivulje na slici 3 su do-

bivene diferenciranjem krivulja sa slike 2. Iz uobičajene logaritamske konstrukcije ne bismo smeli da izvedemo ovakvu konstaciju. Smatramo da je potreban veći broj podataka za izvodjenje ovakvih zaključaka, kao i za detaljniju analizu rezultata, što je predvidjeno daljim radom.

L i t e r a t u r a

1. C.L. Comar, F.Bronner, Mineral Metabolism, III,(1969).
2. G.C.H. Bauer,, A.Carlsson, B.Lindquist., Kungl.Fysiografiska Sallskapets, 25, No 1, (1955).
3. A.Marik, Arch. Biochem.Biophys., 83,552 (1959).
4. Terzić Lj., Terzić V., Acta veterinaria 18, 279-286 (1968).
5. W.F. Neuman, and M.F. Neuman The nature of the mineral plase of bone Chem.Revs. 53, 1-8 (1953).

RADIOAKTIVNOST VOĆA I POVRĆA NA TERITORIJI IBK

V.Vujović, M.Kovačević i D.Djordjević
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Abstrakt

Dat je pregled ukupne beta radioaktivnosti i sadržaj Cs-137 u voću i povrću tokom 1962, 1963, 1964 i 1969. god. na teritoriji Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

U v o d

Kontroli radioaktivnosti voća i povrća se u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" pridaje posebna važnost pošto je Institut lociran u regionu koji svoju celokupnu poljoprivrednu proizvodnju plasira na beogradskom tržištu. Pored toga od značaja je poznavanje migracije i ciklusa kretanja pojedinih radionuklida u okolini, jer na osnovu ovih se mogu utvrditi kritični putevi kontaminacije i proceniti potencijalne opasnosti od zagadjivanja kao posledica rada IBK. Kako je kontaminaciju okoline nuklearnih postrojenja veoma teško otkriti u normalnim uslovima rada zbog stalnog prisustva radioaktivnih padavina od nuklearnih eksperimenata, u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič, kontrola radioaktivnosti biosfere je organizovana tako da se strogo evidentiraju svi izvori radioaktivnosti i rad sa izvorima, kao i uklanjanje tečnih, čvrstih i dr. radioaktivnih otpadaka (1).

U voću i povrću i drugim poljoprivrednim prehrambenim proizvodima odredjuje se posebno sadržaj kalijuma. Na osnovu sadržaja kalijuma u uzorcima može se dobiti lako nivo aktivnosti koga doprinose radioaktivne padavine ili drugi izvori veštačke radioaktivnosti u okolini iz razlike izmerene ukupne beta radioaktivnosti na brojaču i izračunate aktivnosti od K^{40}(2). Ova aktivnost uzoraka voća i povrća sa teritorije IBK uporedjuje se sa aktivnošću slučajnih uzoraka iste vrste koji se kupuju na beogradskoj pijaci. Pomenuto analiziranje uzoraka omogućava relativno brzu procenu stepena kontaminacije i znatno uprošćava rutinsku kontrolu. Pored merenja ukupne beta radioaktivnosti vrše se gama spektrometrijske i radiohemijske analize uzoraka(3).

U ovom radu izneti su neki rezultati kontrole ukupne beta radioaktivnosti i radioaktivnosti Cs^{137} u toku 1962, 1963, 1964 i 1969. god.

Metode pripremanja i merenje uzoraka

Redukovanje uzoraka spaljivanjem i žarenjem je osnovni postupak u procesu pripremanja za merenje na brojaču. Sadržaj kalijuma koji se koristi u procenama nivoa kontaminacije odredjivan je uporedo hemijskim putem, plamenom spektrofotometrijom i gama spektrometrijskim postupkom. Razlike izmedju pojedinih metoda zavisno od homogenosti i veličine uzorka, iznosile su do 15 %. Detalji o metodama pripremanja i merenjima mogu se naći u posebnim publikacijama (2,4).

Rezultati i diskusija

U tablicama 1 i 2 prikazani su rezultati izvršenih ispitivanja. Tablica 1 daje pregled rezultata merenja ukupne beta radioaktivnosti voća i povrća kao i sadržaj K za period 1962 - 1969. god., a tablica 2 sadržaj Cs^{137}.

Iz prikazanih rezultata u tablici 1 se vidi da su nivoi ukupne beta radioaktivnosti bili najviši u periodu intenzivnog eksperimentisanja nuklearnim oružjem, a da su kasnije opadali. Višnja, kajsija, kruška, zelena salata, spanać, beli luk i paradajz pokazivali su veći stepen akumulacije ukupnog folauta nego ostali produkti.

Što se tiče akumulacije Cs^{137} može se odmah konstatovati da je ona veća kod voća. Od ispitivanog povrća jedino se spanać približava po stepenu akumulacije voću, dok kod ostalih proizvoda ovaj je relativno nizak.

Zaključak

Metoda odredjivanja beta aktivnosti uporednih uzoraka sa teritorije IBK i beogradske pijace se pokazala kao vrlo dobra za brzu procenu kontaminacije. Iz dobivenih rezultata se može zaključiti da Institut "Boris Kidrič" u proteklom periodu nije zagadjivao voće i povrće u svojoj bližoj i daljoj okolini. Što se tiče indikatora kontaminacije voće je bolje od povrća u tom pogledu. S obzirom na znatan udeo voća u ishrani na kontrolisanoj teritoriji u radiološkim analizama ovaj faktor treba posebno evoluirati. Na kraju treba istaći da sadržaj K u znatnoj meri utiče na akumulaciju Cs^{137}.

Literatura

1. Radosavljević R., i dr., Metodika kontrole okoline IBK, Zbornik radova, III simpozijum o radiološkoj zaštiti, Banja Luka, oktobar 1967. str. 304.

2. Patić D., i dr., Pregled delatnosti i rezultati rada Odseka za kontrolu radioaktivnosti biosfere u 1964., IBK-430, april 1966.

3. Tasovac T. i dr., Metode merenja radioaktivnosti životne sredine u IBK, Zbornik radova, III jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, Banja Luka, oktobar 1967. , str.308-312.

4. Tasovac T., i dr. Radioaktivnost rastinja na teritoriji Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič", IV simpozijum jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu, Baško Polje, 28-30 maj 1969.

Tablica 1.

Ukupna beta radioaktivnost voća i povrća sa teritorije IBK i beogradske pijace u periodu 1962-1969.

	pCi/g - svežeg materijala								K g/kg
godina	1962		1963		1964		1969		1962-1969
voće	IBK	BG	IBK	BG	IBK	BG	IBK	BG	
MALINA	1,00	-	-	-	-	1,39	-	2,04	1,83-2,00
TREŠNJA	-	-	1,00	-	1,52	1,14	-	1,26	1,50-1,73
VIŠNJA	-	-	4,00		0,82	1,14	-	1,38	0,95-1,48
KAJSIJA	1,10	-	5,00		1,37	1,59	-	1,26	1,81-1,96
KRUŠKA	1,00	-	2,00	-	0,90	0,89	-	1,28	1,09-1,11
JABUKA	1,00	-	1,00	1,00	0,59	0,63	-	1,14	
povrće									
ZELENA SALATA	-	-	8,00	-	3,18	2,70	-	1,75	2,76-3,35
CRNI LUK	1,10	-	1,00	-	1,61	1,86	-	0,80	1,71-2,13
BELI LUK	-	-	-	-	3,15	2,25	-	1,52	2,58-3,52
SPANAĆ			-	-	4,41	4,49	-	3,70	3,04-3,50
GRAŠAK	2,00	-	3,00	-	2,00	2,50	-	3,00	2,24-3,25
BORANIJA	-	-	-	-	1,18	1,12	-	1,79	1,48-1,57
TIKVICE	-	-	-	-	1,22	1,25	-	1,25	1,84-1,97
KRASTAVAC	-	-	1,00	-	0,87	0,80	-	0,76	1,05-1,13
KROMPIR	-	-			2,02	2,52	-	3,12	2,85-3,15
PARADAJZ	-	-	2,00	4,00	1,49	1,71	-	1,75	1,95-2,49
ŠARGAREPA	-	-			1,24	1,98	-	0,77	1,71-2,83
KUPUS	-	-	1,00	-	1,20	1,28	-	1,11	1,57-1,65

Tablica 2.

Sadržaj Cs^{137} u voću i povrću sa teritorije IBK i beogradske pijace u periodu 1962 - 1969.

	pCi/g K							
godina	1962		1963		1964		1969	
voće	IBK	BG	IBK	BG	IBK	BG	IBK	BG
MALINA	-	-	-	-	-	61,0	-	13,2
TREŠNJA	-	-	-	-	65,7	69,8	-	5,0
VIŠNJA	-	-	-	-	94,0	75,2	-	49,9
KAJSIJA	58,0	-	-	-	64,4	60,6	-	12,5
KRUŠKA	-	-	-	-	47,3	100,0	-	6,0
JABUKA								
povrće								
ZELENA SALATA	-	-	-	-	9,3	10,4	-	-
CRNI LUK	-	-	50,0	-	18,6	13,0	-	5,5
BELI LUK	-	-	-	-	14,2	-	-	3,1
SPANAĆ	-	-	-	-	-	41,0	-	9,5
GRAŠAK	46,5	-	-	-	-	21,2	-	3,3
BORANIJA	-	-	-	-	13,5	17,2	-	8,5
TIKVICE	-	-	-	-	6,0	10,1	-	2,0
KRASTAVAC	-	-	-	-	-	8,5	-	-
KROMPIR	-	-	-	-	4,4	-	-	2,3
PARADAJZ	-	-	-	-	13,3	27,6	1,3	7,1
ŠARGAREPA	-	-	-	-	35,3	23,5	-	2,0
KUPUS					5,0	-	-	3,1

VK 84-70

MERENJE SADRŽAJA PLUTONIJUMA-239 U HUMANOM MATERIJALU METODOM KVANTITATIVNE AUTORADIOGRAFIJE

Miodrag KRAJNOVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Medicinska zaštita

Radiotoksikološka kontrola profesionalno eksponiranih osoba otvorenim izvorima ^{239}Pu spada među najteže radove u ovoj oblasti.

Opšte je poznato da plutonijum spada u grupu najtoksičnijih radioaktivnih elemenata po čovečiji organizam. Ovaj izotop se iz organizma eliminiše izuzetno sporo. U toku prvog dana nakon kontaminacije eliminacija je manja od 1 % u odnosu na prodrlu količinu. Nakon 100 dana ona iznosi približno 0.01 % da bi kroz pet godina pala na oko 0.001 % (1).

Uzimajući u obzir brzinu eliminacije iz organizma u funkciji vremena moguće je, na osnovu postojećih matematičkih modela (1,2,3,4) odrediti njegov ukupni telesni sadržaj. Tako, u uslovima hronične profesionalne ekspozicije nalaz 4 pCi, odnosno 1 pCi ^{239}Pu u 24 h uzorku urina ukazuje da se u organizmu nalazi MDK ovog izotopa, pod uslovom da je kritični organ koštano, odnosno plućno tkivo.

Nalaz ovako "velikih" alfa aktivnosti ^{239}Pu isključuje tu osobu potpuno i za uvek iz dalje profesionalne ekspozicije izvorima jonizujućih zračenja ($T_{1/2}$ ef. iznosi 200 godina). Zbog toga je neophodno ostvariti takve uslove

koji omogućavaju reproduktivno i pouzdano merenje aktivnosti ^{239}Pu reda o.ol - o.o4 pCi. Takvi uslovi obezbedjuju otkrivanje telesne kontaminacije plutonijumom kada ona iznosi samo 1 - 2 % od MDK za celo telo. To znači otkrivanje inicijalno prodrlih količina plutonijuma u organizam što se direktno odražava na pouzdanost radiotoksikološke kontrole pri profesionalnoj ekspoziciji otvorenim izvorima ^{239}Pu.

Pouzdano merenje spomenutih nivoa alfa aktivnosti ^{239}Pu u uzorcima urina moguće je primenom scintilacionog (ZnS)proporcionalnog ili poluprovodničkog brojača, te metode kvantitativne autoradiografije. Medjutim, da bi se spontana aktivnost spomenutih brojača spustila na nivo spontane aktivnosti fotonuklearne emulzije, isti zahtevaju posebnu opremu i elektroniku (5), što ih čini neuporedivo skupljim u odnosu na metodu kvantitativne autoradiografije.

L.C.Schwendiman i sar. (6) prvi su primenili 1951. godine metodu kvantitativne autoradiografije za merenje veoma malih aktivnosti ^{239}Pu u uzorcima urina osoba profesionalno eksponiranih otvorenim izvorima ^{239}Pu. Od tada pa do danas u literaturi je objavljeno više radova koji obradjuju ovaj problem (6,7,8,9,lo,11). U svim ovim radovima primenjena metoda kvantitativne autoradiografije i dobiveni rezultati, po svojoj suštini malo se medjusobno razlikuju.

Tehnika rada

Metoda kvantitativne autoradiografije vrši se na sledeći način: prvo se izvrši eradikacija fotonuklearne emulzije u cilju "brisanja" stvorene latentne slike, zatim se

fotonuklearna emulzija sa izvorima plutonijuma stavlja na kontaktnu ekspoziciju (obično 1o.ooo min). Posle ekspozicije pod konstantnim uslovima temperature i vlažnosti vrši njeno razvijanje i fiksiranje, i konačno brojanje alfa na mikroskopu pod definisanim uslovima. Iz dobijenih podataka vrši se preračunavanje ukupne aktivnosti ^{239}Pu izvora.

Za rad je korišćena fotonuklearna emulzija firme ILFORD, tip K1, sa debljinom fotonuklearnog sloja 25 μ i dimenzijama ploče 1 x 3 inča. Ovaj tip fotonuklearne emulzije ima srednji dijametar zrna o.2o μ a sadržaj AgBr iznosi 81 %. Spada u slabo osetljive fotonuklearne emulzije i ima malu spontanu aktivnost i pri dužim ekspozicijama. To direktno ima uticaja na donju granicu detekcije i njenu pouzdanost.

Brojanje alfa tragova vršeno je u tamnom polju na binokularnom mikroskopu "WILD" M2o sa totalnim povećanjem 4oox. Desni okular snabdeven je centralno postavljenim pravougaonim otvorom čije su dimenzije o.171 x 114 mm za naše radne uslove. Brojanje alfa tragova vrši se na površini od 3.73 mm^2 (8 x o.466 mm^2), što predstavlja 1o.16 % u odnosu na ukupnu površinu izvora (36.73 mm^2).

Opservirani broj alfa tragova preračunavan je u ukupnu aktivnost ^{239}Pu na sledeći način:

1. $$\frac{X/\text{opservirani broj alfa tragova}/ \times 36.73 \ /\text{ukupna površina izvora}/}{3.73 \ /\text{opservirana površina izvora}/} = Y \ /\text{ukupni broj alfa tragova}/$$

2. $$\frac{Y \ /\text{ukupni broj alfa tragova}}{\text{ekspozicija u min.}} \times \text{konverzioni faktor} = \text{ukupni broj raspada/min.} \ /\text{za spontanu aktivnost i blanko urin}/$$

za F = 0.73 mm^2). Izvor ^{239}Pu koji ima 0.0369 raspada/min. kao donju granicu 99 % pouzdanosti, imaće 0.0038 raspada/min (to odgovara 99 tragova/10.000 min. za F = 0.73 mm^2) kao gornju granicu sa % pouzdanosti. To znači da izvor ^{239}Pu čija je ukupna izmerena aktivnost 0.0038 raspada/min. ima 99 % verovatnoću da ne potiče iz distribucije blanko urina i predstavlja donju granicu 99 % pouzdanosti metode kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu iz urina profesionalno eksponiranih osoba. Ova vrednost je ekvivalentna 0.3 μg ^{239}Pu.

U kontrolnoj radiotoksikološkoj kontroli osoba profesionalno eksponiranih otvorenim izvorima ^{239}Pu u cilju procene eventualne unutrašnje kontaminacije ovim radioaktivnim elementom, osnovna teškoća je ležala u visokoj nepouzdanosti izmerenih izvora ^{239}Pu iz urina, pošto se njihova aktivnost kretala u granicama spontane aktivnosti korišćenog brojačkog uređaja. Iz tih razloga se i pristupilo postavljanju i praktičnoj primeni metode kvantitativne autoradiografije.

Izvori iz rutinske radiotoksikološke kontrole (ukupno 70 izvora) prebrojani su brojačkom cevi na gasnom proporcionalnom brojaču (Frieseke-Hoepfner, spontana aktivnost na alfa platou 0.3 - 0.5 impuls/min). Zbog veoma niskih aktivnosti svi izvori su stavljeni u kontaktnu ekspoziciju sa FNB u toku 10.000 min.

Rezultati merenja izvora ^{239}Pu iz rutinske radiotoksikološke kontrole metodom kvantitativne autoradiografije prikazani su na graf. 3. Uočava se da najveći broj izvora ima veoma male aktivnosti. Više od polovine svih izvora (61 %) po

prihvatiti vrednost o.5oo kao faktor efikasnosti ili kako se još naziva konverzioni faktor FME.

Pri primeni metode kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu iz urina mora se voditi računa da se u svakom organizmu nalazi izvesna količina radioaktivnih elemenata alfa izračivača, čije se prisustvo smatra normalnim, pa se normalno očekuju izvesne količine istih i u urinu. Osim toga, u životnoj sredini čoveka otkriveno je prisustvo plutonijuma kao posledica do sada izvršenih nuklearnih eksplozija (17). Treba dodati da su i u korišćenim hemikalijama za separaciju plutonijuma iz urina prisutni spomenuti alfa izračivači. Sve to u odredjenom stepenu uslovljava nužnost da se za merenje ^{239}Pu iz urina osoba profesionalno eksponiranih ovom izotopu metodom kvantitativne autoradiografije mora da odredi donja granica osetljivosti ove metode ali u odnosu na aktivnost blanko uzoraka urina.

Za odredjivanje alfa aktivnosti blanko uzoraka uzet je urin od osoba koje nisu nikada bile u profesionalnom kontaktu sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja. Primenom postojećeg postupka (18) izvršeno je izdvajanje ^{239}Pu iz urina a zatim primenom metode kvantitativne autoradiografije izvršeno je merenje nivoa alfa aktivnosti u dobijenim izvorima ^{239}Pu iz urina. Dobijene vrednosti prikazane su na tab. 1 i graf. 2 pod B. Kao što se vidi za blanko uzorke dobijena je srednja vrednost o.o315 raspada/min. za ukupnu alfa aktivnost blanko uzorka (to odgovara 14.65 alfa tragova/lo.ooo min. za P = 3.73 mm^2). Za ovu vrednost gornja granica 99 % pouzdanosti iznosi o.o569 raspada/min. (27.35 alfa tragova/lo.ooo min.

na F = 3.73 mm^2). Izvor ^{239}Pu koji ima 0.0369 raspada/min. kao donju granicu 99 % pouzdanosti, imaće 0.0638 raspada/min (to odgovara 99 dila tragova/10.000 min. za F = 3.73 mm^2) kao donju granicu 99 % pouzdanosti. To znači da izvor ^{239}Pu čija je ukupna izmerena aktivnost 0.0638 raspada/min. ima 99 % verovatnoću da ne potiče iz distribucije blanko urina i predstavlja donju granicu 99 % pouzdanosti metode kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu iz urina profesionalno eksponiranih osoba. Ova vrednost je ekvivalentna 0.2 μg ^{239}Pu.

U dosadašnjoj radiotoksikološkoj kontroli osoba profesionalno eksponiranih otvorenim izvorima ^{239}Pu u cilju procene eventualne unutrašnje kontaminacije ovim radioaktivnim elementom, osnovna teškoća je ležala u visokoj nepouzdanosti izmerenih izvora ^{239}Pu iz urina, pošto se njihova aktivnost nalazila u granicama spontane aktivnosti korišćenog brojačkog uređaja. Iz tih razloga se i pristupilo postavljanju i praktičnoj primeni metode kvantitativne autoradiografije.

Izvori iz rutinske radiotoksikološke kontrole (ukupno 76 izvora) pregledani su binokularno pod jakim proporcionalnim brojačem (Frieseke-Hoepfner, spontana aktivnost na alfa platou 0.3 - 0.5 impuls/min). Zbog veoma niskih aktivnosti svi izvori su stavljeni u kontaktnu ekspoziciju sa FNE u toku 10.000 min.

Rezultati merenja izvora ^{239}Pu iz rutinske radiotoksikološke kontrole metodom kvantitativne autoradiografije prikazani su na graf. 3. Uočava se da najveći broj izvora ima veoma male aktivnosti. Više od polovine svih izvora (61 %) po

izmerenoj aktivnosti može da se uklopi u distribuciju clanko urina. U odnosu na donju granicu 99 % pouzdanosti za izvore ^{239}Pu iz profesionalne ekspozicije, samo 15 % izvora ima aktivnost koja prelazi spomenutu granicu i za koje se može smatrati da su signifikantno pouzdani.

Dobijene rezultate u okviru sistematske radiotoksikološke kontrole (graf. 3) neophodno je analizirati u cilju procene telesnog sadržaja ^{239}Pu. Medjutim, pošto su dobijene vrednosti za sadržaj ^{239}Pu u urinu veoma niske nema potrebe za egzaktnom procenom. Sa praktičnog aspekta u takvim slučajevima sasvim je zadovoljavajuća orijentaciona procena telesne kontaminacije ovim radioaktivnim elementom. Prema takvoj proceni 85 % izmerenih izvora ^{239}Pu ukazuje da je ukupni telesni sadržaj ^{239}Pu u odnosu na MDK-za celo telo manji od 1 %. Od ostalog broja 11 % nalazi se u granicama do 3 % MDK-za celo telo manji od 1 %. Od ostalog broja 11 % nalazi se u granicama do 3 % MDK-za celo telo a ostatak (1 izvor) do 6 % MDK-za celo telo. U ovom slučaju radilo se o kontroli neposredno nakon akcidentalne kontaminacije. Medjutim, nekoliko naknadno izvršenih kontrola dalo je vrednost koja se nalazi u granicama do 1 % MDK.

Na kraju treba spomenuti da, prema do sada stečenom iskustvu, merenje izvora ^{239}Pu malih aktivnosti primenom metode kvantitativne autoradiografije zahteva prosečnu vremensku angažovanost od oko 6o min. po izvoru ako se istovremeno radi veći broj izvora, ili oko 9o min po izvoru ako je broj izvora manji, što u odnosu na druge načine merenja ne predstavlja veliku vremensku angažovanost.

Zaključak

Postavljena je metoda kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu veoma malih aktivnosti.

Dobijena vrednost za alfa spontanu aktivnost eradicirane fotonuklearne emulzije nakon ekspozicije od 1o.ooo min iznosi o.oo52 ± o.oo62 raspada/min (P = 36.73 mm^2), što je osam puta manje u odnosu na neeradicirane fotonuklearne emulzije.

Donja granica detekcije sa 99 % pouzdanosti postavljene metode kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu i drugih alfa izračivača iznosi o.o42o alfa raspada/min.

Dobijena vrednost alfa aktivnosti za blanko uzorke urina iznosi o.o315 ± o.o117 alfa raspada/min. U odnosu na ovu vrednost donja granica detekcije sa 99 % pouzdanosti postavljene metode za merenje izvora ^{239}Pu iz urina profesionalno eksponiranih osoba otvorenim izvorima ^{239}Pu iznosi o.o838 alfa raspada/min., što je ekvivalentno o.6 μ/u ^{239}Pu.

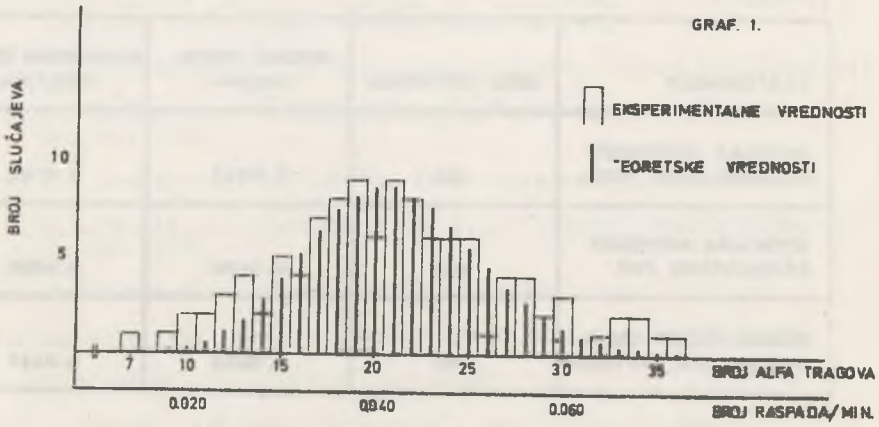
Metoda kvantitativne autoradiografije praktično je primenjena u rutinskoj radiotoksikološkoj kontroli osoba koje rade sa otvorenim izvorima ^{239}Pu. Dobijene vrednosti ukazuju na odsustvo značajnijih kontaminacija organizma.

Rezime

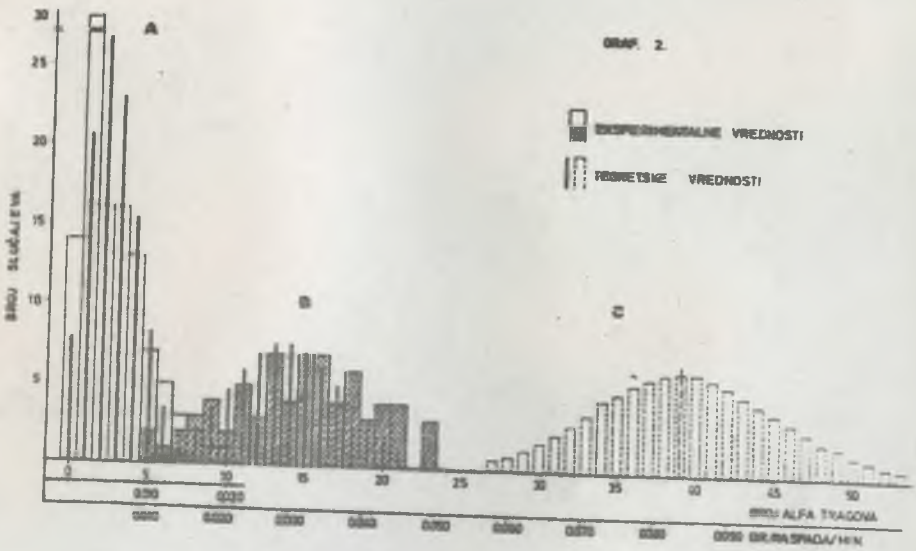
U radu se diskutuje metoda kvantitativne autoradiografije za merenje izvora ^{239}Pu veoma malih aktivnosti i njena praktična primena u radiotoksikološkoj kontroli radnika eksponiranih otvorenim izvorima ^{239}Pu.

Za naše radne uslove sa fotonuklearnom emulzijom firme ILFORD (tip K1 debljinom fotonuklearnog sloja 25 μ) koja je predhodno tretirana parama H_2O i H_2O_2, donja granica detekcije sa 99 % pouzdanosti pri merenju izvora ^{239}Pu i drugih alfa izračivača, iznosi o.o42o alfa raspada/min. Medjutim, zbog normalnog prisustva plutonijuma i drugih alfa izračivača u životnoj sredini a time i u urinu, donja granica detekcije sa 99 % pouzdanosti pri merenju izvora ^{239}Pu iz urina profesionalno eksponiranih osoba ovom izotopu iznosi o.o838 raspada/min, što odgovara o.o42 pCi, odnosno ekvivalentno je količini od o.6 $\mu\mu$ ^{239}Pu.

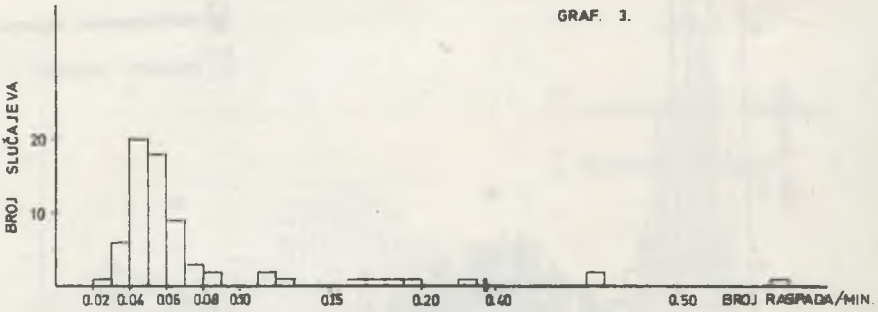
Metoda kvantitativne autoradiografije praktično je primenjena u rutinskoj radiotoksikološkoj kontroli. Dobijene vrednosti ukazuju na odsustvo značajnijih profesionalnih kontaminacija organizma ovim radioaktivnim elementom.



Graf. 1. Grafički prikaz distribucije rezultata za alfa spontanu aktivnost neeradicirane FNE.



Graf. 2. Grafički prikaz distribucije rezultata za alfa spontanu aktivnost eradicirane FNE i blanko uzorke urina.



Graf. 3. Grafički prikaz distribucije aktivnosti izvora 239-Pu iz urina osoba profesionalno eksponiranih otvorenim izvorima ovog radioaktivnog elementa.

Nr / 9 / 02

POTREBE ZA NOVIM PRATEĆIM PROPISIMA OSNOVNOG ZAKONA O ZAŠTITI OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Tomislav Veljković, dipl.pravnik, IBK
Srdjan Mitrović, dipl. inž., IBK

POTREBE ZA NOVIM PRATEĆIM PROPISIMA OSNOVNOG ZAKONA O ZAŠTITI OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

I U V O D

Sve šira upotreba radioaktivnih izvora zračenja, a posebno izgradnja većih nuklearnih objekata zahteva razradu i usavršavanje postojećih zakonskih propisa koji regulišu ovu materiju i donošenje novih osnovnih ili pratećih propisa.

Činjenica je da u svetu i kod nas, naročito poslednjih decenija, raste broj nuklearnih objekata (nuklearne elektrane, podmornice i dr.) i da oni nameću potrebu pravnog regulisanja pitanja vezanih za gradnju i korišćenje ovih objekata.

Kod nas se dosta uradilo, zadnjih nekoliko godina, da se sagledaju i definišu mere za usavršavanje postojećih i donošenje novih zakonskih propisa kojima bi se potpunije regulisalo korišćenje nuklearne energije, ali je to obiman i dugotrajan posao.

U ovom radu ukazaćemo na neka pitanja iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja koja bi mogla, shodno sada važećim zakonskim propisima, da se urede pratećim podzakonskim propisima nadležnih državnih organa. Na taj način bi se rešila neka od akutnih pitanja iz ove oblasti.

II OSNOVNI ZAKON O ZAŠTITI OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA
("Službeni list SFRJ", br. 12/65)

2.1. Osnovni zakon je, radi zaštite od štetnog dejstva jonizujućih zračenja, stavio pod nadzor izvore zračenja, lica izložena zračenjima, kao i materije i predmete koji su izloženi radioaktivnom zagadjenju (kontaminaciji). Utvrdjena su prava i obaveze društveno-političkih zajednica, obaveze i dužnosti korisnika izvora zračenja, te pitanje kadrova i dr. Ovako posmatran, Osnovni zakon je široko obuhvatio brojne probleme u domenu zaštite od zračenja. Ali, i pored toga, on nije potpuno ili nije opšte regulisao mnoga značajna pitanja. Osnovni razlog takvom stanju je vreme u kome je donet ovaj zakon (1959/65). Sem toga, to je naš jedini zakonski propis koji tretira i reguliše odredjena pitanja korišćenja nuklearne energije u celini i zaštite od štetnog dejstva jonizujućih zračenja. Tako gledano, on ima veliki značaj za regulisanje ove složene i specifične materije, ali istovremeno ukazuje da sam, makar kakav da je, nije u stanju da reguliše brojna pitanja iz ove oblasti.

Tako, naprimer, osnovni nedostaci ovog zakona su:

a) nije definisao osnovne kriterijume (doze, na osnovu kojih bi se mogla ceniti dovoljnost zaštite i definisati neophodne mere);

b) i Osnovni zakon, a posebno prateći propisi, takodje su manje okrenuti regulisanju pitanja zaštite stanovništva već više profesionalno zaposlenom osoblju.

To znači da treba doneti i druge zakonske propise za regulisanje odredjenih pitanja korišćenja nuklearne energije

u našoj zemlji. Medju njima, svakako, na prvom mestu treba doneti zakon o nuklearnoj energiji, pa zatim i druge zakonske i podzakonske propise, o čemu i postoji veći broj stručnih radova, analiza i predloga zainteresovanih ustanova, organizacija i organa.

Prema sadašnjem stanju, za republike koje nemaju većih ambicija u razvoju nuklearne energije, Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i njegovi prateći propisi mogu da zadovolje potrebe. Kako će se njihova nedovoljnost i nepreciznost naročito osetiti prilikom rešavanja problema vezanih za veće nuklearne objekte, zainteresovane republike mogu, na osnovu Ustava i zakonskih propisa, da donesu svoje zakone o zaštiti od zračenja, pa čak i o nuklearnoj energiji. I to je jedan od načina da se prevazidju nepotpunosti i nepreciznosti postojećih zakonskih propisa.

2.2. Propisi za izvršenje Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja

Članom 41. Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja ovlašćen je savezni sekretar, sada Savezni savet za narodno zdravlje i socijalnu politiku, da donese bliže propise za izvršenje ovog zakona. Ovim propisom taksativno su nabrojena pitanja koja ovaj organ mora da uredi saveznim propisima kao i odredjeni rokovi u kojima to ima da se uradi.

Do sada su doneti, sa manjim ili većim zakašnjenjem, svi potrebni propisi koje je definisao zakon.

U celini, ovim propisima regulisano je:

a) promet i korišćenje,

b) prenos i smeštaj (stokiranje),

c) dozvoljene doze za radnike, ispitivanje kontaminacije i mere zaštite od zračenja,

d) stručna sprema i zdravstveni uslovi kadrova koji rade sa izvorima zračenja.

Čak i vrlo površna analiza može da pokaže njihovu nedovoljnost. Na primer:

Čl. 3. OZZJZ definiše šta podleže nadzoru u pogledu zaštite od zračenja. Kako je poznato da se nadzor može vršiti samo na osnovu odredjenih kriterijuma i postupaka, moglo bi se očekivati da dalji tekst OZZJZ i pratećih propisa upravo to i daju. Medjutim, nije tako. Tačke 1. i 2. čl. 3. Zakona kažu da nadzoru podležu:

- rad sa izvorima
- zgrade i prostorije
- njihova okolina

U pogledu rada najdetaljniji su propisi o kadrovima: uslovi, starost, stručna sprema (samo za pojedine kategorije zaposlenih, odn. poslova), zdravstveno stanje i sl. Opšti radni uslovi - sem doza (zastarelih) i nivoa kontaminacije (takodje zastarelih) - nisu dati.

Zgrade i prostorije, u kojima će se držati izvori i raditi sa njima, nisu obradjene nijednim propisom, ni u pogledu opštih uslova, a kamo li posebnih. Na primer, nisu dati uslovi o specijalnoj ventilaciji, kanalizaciji, opremi i sl., te ne može biti reči ni o jedinstvenim kriterijumima za projektovanje, a kamo li za nadzor. Uslovi kada se obezbedjuje hermetičnost prostorija, uslovi provetravanja, izbor materijala za zidove, podove i sl. - sve to zavisi samo od stručnog znanja korisnika i inspektora. Na osnovu čega će se

proceniti pogodnost unutrašnje sigurnosno-zaštitne opreme jedne nuklearne elektrane?

Okolina uopšte nije ničim definisana, doze, ni koncentracije u okolini nisu date, te je potpuno neodredjeno na osnovu kojih kriterijuma će se, pre svega, izvršiti izbor pogodne lokacije nuklearnog objekta, odn. čime će se, kako i na osnovu kojih kriterijuma vršiti nadzor u okolini nuklearnih objekata.

Isto tako nisu propisani potrebni pribori za ličnu i kolektivnu zaštitu (t. 5, čl. 3 i sl.).

Na sličan način, čitajući zakon i preteće propise, po nizu pitanja se može osetiti nedostatak preciznosti i nedovoljnost. Najveći primeri su članovi 7. i 8. OZZJZ, pravilnici o stavljanju u promet, o smeštaju radioaktivnih otpadaka i povremenim merenjima kontaminacije.

III POTREBE ZA NOVIM PRATEĆIM PROPISIMA

Rezolucijom Savezne skupštine o saveznom zakonodavstvu, Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja predvidjen je za usaglašavanje (izmene i dopune). Zbog toga u ovom radu ne bi smo dalje išli u analizu ovog zakona, jedino bi preporučili da se, pre početka konkretnog rada na njemu, održi jedno šire savetovanje.

Težište naših predloga ide u dva pravca:

a) da pokaže kakvim se izmenama postojećih propisa oni mogu poboljšati i učiniti širim, i

b) da pokaže na nove potrebne propise.

3.1. Postojeći propisi

a) Pravilnik o načinu i uslovima smeštaja radioaktivnih otpadaka ("Službeni list SFRJ", br. 1/70). Ovaj novi pravilnik, koji će da zadovolji samo kratko vreme, upravo do prve nuklearne elektrane, kada će se sasvim ozbiljno rešavati problemi njenih otpadaka. Da bi u tim novim uslovima mogao da zadovolji potrebe, potrebno je doneti još desetak novih pravilnika, koji bi preciznije regulisali:

- uslove za izbor mesta za trajan smeštaj;
- tehničke uslove za izradu objekata za trajan smeštaj otpadaka;
- zaštitne zone u okolini;
- tehničke uslove za sudove potrebne za trajan smeštaj;
- uslove za izbacivanje tečnih otpadaka u životnu sredinu i dr.

b) Pravilnik o prenosu radioaktivnih materija iznad odredjene granice aktivnosti ("Službeni list SFRJ, br. 1/70). Ovaj pravilnik, iako nov, može se uspešno primenjivati samo uz korišćenje medjunarodnih konvencija i preporuka, što je od posebnog značaja.

c) Pravilnik o povremenom merenju i proveravanju kontaminacije stvari i lica i o proveravanju ispravnosti mernih instrumenata i zaštitnih sredstava ("Službeni list SFRJ", broj 52/69). Deset članova ovog pravilnika nije moglo na potreban način da reguliše ni pojmove pomenute u njegovom naslovu. Ovo posebno zbog toga što nivoi kontaminacije, kao ni tehnički uslovi za instrumente i zaštitna sredstva nisu ni jednim drugim propisom regulisani. Medjutim, problem se može rešiti deobom ovog pravilnika na veći broj posebnih pravilnika.

d) Pravilnik o načinu i sredstvima evidencije pri radu na poslovima zaštite od jonizujućih zračenja i podacima koji se dostavljaju nadležnim organima ("Sl. list SFRJ", br. 52/68). Pravilnik treba preraditi u celosti jer ne rešava osnovna pitanja, mada uvodi mnoge nepotrebne detalje.

e) Pravilnik o načinu ispitivanja kontaminacije radioaktivnim materijama vazduha, vode i zemljišta ("Sl. list SFRJ", br. 31/68). Može se reći da ovaj pravilnik spada medju bolje. Medjutim, u njega je potrebno uneti izvesne preciznosti, posebno što se tiče metode merenja i interpretacije. Tom prilikom bi i merna mesta u odnosu na metodologiju koja se meri, sistematski i smišljeno odredi.

f) Pravilnik o korišćenju rentgen aparata i o merama zaštite od rentgenskih zraka ("Službeni list SFRJ", br. 36/65).

Na IV Simpozijumu JDZRZ maja meseca 1969. godine, u Baškom polju, izrečene su mnoge primedbe i kritike na ovaj pravilnik, i to od strane korisnika, mada on spada medju najbolje pravilnike u ovoj grupi. Na osnovu toga potrebno je pravilnik preraditi.

g) Pravilnik o zdravstvenim pregledima i zdravstvenim uslovima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ("Sl. list SFRJ", br. 31/65). Za sada nema komentara, jer autori ne raspolažu primedbama o njegovoj primeni.

h) Pravilnik o dozvoljenim dozama jonizujućih zračenja kojima mogu biti izložena lica koja rade sa izvorima tih zračenja ("Sl. list SFRJ", br. 31/65). Pravilnik je potpuno zastareo, te je potrebno izraditi novi pravilnik na bazi medjunarodnih preporuka. Kako je to naš jedini pravilnik

koji govori o dozama, trebalo bi ga proširiti i na dozvoljenim dozama za stanovništvo.

i) Pravilnik o stručnoj spremi lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja i na poslovima zaštite od zračenja ("Sl. list SFRJ", br. 31/65). Osnovna primedba na ovaj propis je da ne obuhvata veliki deo poslova sa izvorima zračenja (reaktori, akceleratori, transport, stokiranje ...).

j) Pravilnik o stavljanju u promet i korišćenju radioaktivnih materija iznad odredjene granice aktivnosti i o merama zaštite od zračenja ovih izvora ("Sl. list SFRJ", br. 31/65). Preambiciozan pravilnik koji u svega 13 članova reguliše skoro celokupnu aktivnost sa radioaktivnim materijama od osnovnih kriterijuma do radnih mesta. Ovaj pravilnik može da opravda svoj zadatak samo ako se podeli nanekoliko pravilnika u kojima će pojedina pitanja biti potpunije obradjena.

k) Slične primedbe se mogu staviti i na neke odredbe Zakona o vodama, Zakona o zaštiti vazduha od zagadjivanja, Zakona o zaštiti na radu i sl. ukoliko se odnose na izvore zračenja i zaštitu od njih.

Kao što se vidi mnoga pitanja bi se mogla rešiti revizijom i dopunom postojećih propisa.

3.2. Novi propisi

S obzirom na ono što je rečeno o dosadašnjim propisima, njihovoj izmeni i dopuni, a radi potpunog regulisanja ove problematike, potrebno je propisima urediti i sledeća pitanja:

- postupke i kriterijume za izbor lokacije nuklearnih objekata, posebno nuklearnih elektrana;

- tehničke uslove za radne prostorije laboratorija, postrojenja u kojima se radi sa izvorima zračenja;

- tehničke uslove za zaštitu i zaštitnu opremu, uključujući i filtre, ventilaciju i dr.;

- Zakon o nuklearnoj energiji;

- Zakon o organizaciji službe zaštite od zračenja;

- Postupci za dobijanje dozvole za lokaciju nuklearnih objekata;

- propis o uslovima primene izvora zračenja;

- ovlašćenje za testiranje zaštitne opreme i ambalaže,

- itd.

Z A K L J U Č A K

Iz referata se vidi da je još potreban trajan i sistematski rad da bi smo u oblasti primene izvora zračenja i zaštite izgradili potpuno zakonodavstvo. Uspešnom radu na ovoj problematici trebao bi da prethodi širi društveni dogovor svih zainteresovanih ustanova, organizacija i organa.

Kt/9/03

NEKI LOŠIJI DIJELOVI NAŠIH ZAKONSKIH PROPISA

Cerovac H., Benčak Z., Hufnus R.

Hr/9/03

NEKI LOŠIJI DIJELOVI NAŠIH ZAKONSKIH PROPISA

Hrvoje Cerovac, Zlatko Benčak i Robert Hufnus

Institut za medicinska istraživanja i medicinu
rada Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti
Z a g r e b

Gotovo sve situacije do kojih može doći kod radova, skladištenja ili transporta izvora ionizantnog zračenja obuhvaćene su našim pozitivnim zakonskim propisima. Naravno, među njima ima i takvih dijelova o kojima bi se barem trebalo diskutirati. Željeli bismo pokazati da takvih dijelova propisa ima i predložiti jedan način na koji bi se naše društvo moglo angažirati da radi na promjeni, popunjavanju praznina, odnosno davanju potrebnih objašnjenja.

Da najprije ubrojimo neka mjesta za koja smatramo da zaslužuju diskusiju.

Svakako je jedno od najvažnijih do sada zapravo i neobrađeno pitanje o dozama zračenja kojima može biti izloženo cijelo stanovništvo. Ovdje mislimo na onaj dio doze koji dolazi od komercijalne (a ne medicinske) primjene izvora zračenja. Mislimo da bi bio posao našeg društva dati mišljenje o tome koliko se upotrebom kobalta-60 za gromobrane, americijem 241 za javljače požara, može povećati doza stanovništva.

Od postojećih propisa smatramo da bi trebalo razgovarati o članu 9. Pravilnika o zdravstvenim pregledima i o zdravstvenim uvjetima osoba koje rade sa izvorima jonizirajućih zračenja, Sl.list SFRJ broj 31/65, članu 2. Pravilnika o stručnoj spremi osoba koje rade s izvorima jonizirajućih zračenja i na poslovima zaštite od tih zračenja, Sl.list SFRJ broj 31/65, te o cijelom Pravilniku o prijenosu radioaktivnih materijala iznad određene granice aktivnosti, Sl.list SFRJ broj 1/70.

Predlažemo da bilo putem Sekcije za zakonodavstvo i propise, našeg društva ili na bilo koji drugi pogodan način uspostavimo stalan put za diskusiju pojedinih dijelova zakonskih propisa, davanje objašnjenja, ujednačenja stavova i predlaganje promjena ako je to potrebno.

Nr/9/04

OSVRT NA PREDLOG INTERNACIONALNIH NORMI ZA KATEGORIZACIJU RADIOAKTIVNIH OTPADAKA

Zarić M., Matijašić A., Patić D., Smiljanić R.,
Švabić A., Radosavljević R., Tasovac T.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

1. U v o d

Krajem 1969. godine usvojen je konačni tekst koji sadrži rezultate panel sastanka o standardizaciji kategorija radioaktivnih otpadaka /1/. Sam sastanak održan je dve godine ranije 1967. god. u IAEA, Beč, uz učešće predstavnika jedanaest zemalja (naš predstavnik nije učestvovao), sa ciljem da se poboljša efikasnost rada u oblasti sakupljanja, tretiranja i skladištenja radioaktivnih otpadaka. Pokazalo se, da je precizna standardizacija kategorija radioaktivnih otpadaka, posebno kada se tiče delokruga primene ove kategorizacije vrlo težak i kompleksan problem, sa mnogo suprotnih stanovišta čak i u okviru jedne zemlje a pogotovo u internacionalnim razmerama. Radi toga, usvojeno je da predlog standarda, u sadašnjoj fazi, treba da posluži samo kao praktično sredstvo za povećanje efikasnosti komuniciranja, sakupljanja i procenu tehničkih i ekonomskih informacija a u zajedničkom interesu svih nacija a osobito zemalja u razvoju.

U sadašnjem obliku predložene kategorije radioaktivnih otpadaka nisu pogodne za regulativne svrhe niti za zdravstvene i sigurnosne procene.

Planirano je da se kasnije održi sledeći panel na kome treba da se procene:

a) stečena iskustva sa predloženim standardom

b) potreba da se internacionalni standard proširi, kako bi mogao da se koristi za regulativu i zdravstvene i sigurnosne svrhe, a na osnovu iskustava stečenih u pojedinim zemljama.

S obzirom na izneto kao i na značaj standardizacije radioaktivnih otpadaka uopšte, smatrali smo za potrebno da se i kod nas pokrene diskusija po ovom pitanju, sa ciljem:

- da se uporede predloženi standardi sa našim zvaničnim dokumentima iz te oblasti, prvenstveno sa Pravilnikom o načinu i uslovima smeštaja i čuvanja radioaktivnih otpadaka;
- da se zauzme odredjeni stav prema predloženim standardima i njihovoj primeni, tj. da se pripremi potreban materijal za sledeći panel.

2. Sadašnje stanje klasifikacije radioaktivnih otpadaka

Podaci koji se odnose na sadašnje sisteme klasifikacije radioaktivnih otpadaka, podneti od jedanaest zemalja, pokazuju da ne postoje zemlje koje imaju iste sisteme klasifikacije, nego da i u okviru jedne zemlje sistemi klasifikacije mogu da budu različiti. Pristup klasifikaciji varira i izgleda da zavisi od stepena razvoja nuklearne industrije i energetike.

Uopšte uzev, ne postoje zemlje sa potpunom zvaničnom klasifikacijom radioaktivnih otpadaka i propisima toga tipa. U Japanu postoji poluzvanična klasifikacija radioaktivnih otpadaka, u SAD je, preko biroa za standarde, prihvačen standard koji se zasniva na MDK[3] dok SSSR[4] i Čehoslovačka[5] imaju ozakonjene definicije šta su radioaktivni otpaci a šta nisu.

U Jugoslaviji je ova materija regulisana Pravilnikom o načinu i uslovima smeštaja i čuvanja radioaktivnih otpadaka (u daljem tekstu Pravilnik) a na osnovu osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja, tj. ima zvaničnu formu[2].

Različite klasifikacije tečnih efluenata zasnovane su na postupcima[7-14] tretiranja radioaktivnog otpada, mogućnostima njegovog ispuštanja u okolinu[14-18] ili prema ICRP preporukama [19-21]. Klasifikacije čvrstih otpadaka u različitim zemljama zasnovane su na standardima o predtretmanu[9] i na standardima o transportu[6] dok su gasoviti efluenti klasifikovani prema primenjenom sistemu, količini ispuštenog materijala i MDK.

Tečni radioaktivni otpaci

Principi klasifikacije na "nisko","srednje" i "visoko" radioaktivne tečne otpatke mogu da se zasnivaju na aktivnosti, na faktoru dekontaminacije pre ispuštanja ili na MDK. Ova kategorizacija se razlikuje u pojedinim zemljama. Na slici br.1 su prikazana razlike u klasifikaciji koje postoje izmedju pojedinih zemalja kao i u okviru jedne zemlje.

Sa slike se vidi da je gornja granica za "nisko" radioaktivne tečne otpatke u opsegu od 10^{-4} Ci/m^3 do 10^{-1} Ci/m^3 a donja granica za "visoko" radioaktivne tečne otpatke je izmedju 10^{-1} Ci/m^3 i 10^3 Ci/m^3.

Prema tome, "visoko" radioaktivni otpaci u Poljskoj mogu da budu označeni kao "nisko" radioaktivni u nekim institucijama u Velikoj Britaniji i Norveškoj a u nekim drugim zemljama kao "srednje" radioaktivni.

U Jugoslaviji su tečni radioaktivni otpaci klasifikovani na "nisko", "srednje" i "visoko" radioaktivne a klasifikacija je izvršena prema specifičnoj aktivnosti efluenata. Na dijagramu, na slici br.1, strelicama je označen položaj koji zauzima naša klasifikacija tečnih radioaktivnih otpadaka.

Čvrsti radioaktivni otpaci

Klasifikavanje čvrstih otpadaka je komplikovano radi toga što su u različitim zemljama, za tu klasifikaciju, korišćene različite osnove.

U Francuskoj su čvrsti otpaci klasifikovani prema vrsti kontejnera u kojima se otpaci lageruju, pri čemu je jačina ekspozicione doze manja od 200 mR/h merena kontaktno i 10 mR/h merena na rastojanju od jednog metra (10 cm betonskog zida - niska aktivnost; 40 cm betonskog zida - srednja aktivnost; olovna zaštita - visoka aktivnost). U Japanu je klasifikacija izvršena prema aktivnosti po jedinici zapremine (10^{-3} $\mu Ci/cm^3$ do 1 $\mu Ci/cm^3$ - niska aktivnost; 1 $\mu Ci/cm^3$ do 1 mCi/cm^3 - srednja aktivnost > 1 mCi/cm^3 - visoka aktivnost). U Švedskoj i Velikoj Britaniji, aktivnost po kontejneru (mCi) je neki put osnova dok je u SSSR-u osnova aktivnost po jedinici težine. Kod nas je primenjena klasifikacija čvrstih otpadaka prema jačini doze zračenja kontejnera, kontaktno i na rastojanju od jednog metra.

Gasoviti radioaktivni otpaci

Iskustvo stečeno kod klasifikacije gasovitih efluenata je vrlo malo tako da obično nisu klasifikovani nego su samo opisani totalnom aktivnošću ili aktivnošću na jedinicu zapremine. U Pravilniku gasovite otpadne materije nisu klasifikovane nego

je samo ograničeno njihovo ispuštanje u atmosferu.

3. Premise za standardizaciju radioaktivnih otpadaka

S obzirom da se standardizaciji može pristupiti sa različitih stanovišta - zdravstva, sigurnosti, operative, transporta - razlike na internacionalnom nivou su vrlo značajne, posebno ukoliko se tiče primene MDK.

Kod razmatranja primene MDK kao baze za definisanje kategorija radioaktivnih otpadaka, zaključeno je da bi to imalo samo prividnu prednost jer uključuje pojam radiotoksičnosti. Medjutim, MDK radioaktivnih otpadaka ne pruža dovoljno informacija za procenu izloženosti zračenju, koje bi eventualno moglo da nastane usled namernog ispuštanja ili akcidentalnog isticanja tečnih radioaktivnih otpadaka. Imajući u vidu primarnu svrhu kategorizacije - komuniciranje, kompromisno je prihvaćeno da kao osnova kategorizacije tečnosti i gasova bude uzeta koncentracija radioaktivnih materija. Radi toga, predloženu kategorizaciju radioaktivnih otpadaka treba shvatiti kao fleksibilan predlog, zasnovan na sadašnjem znanju i iskustvu, koji je docnije moguće izmeniti. Isto tako, ne očekuje se da predloženi standard preraste u nacionalne propise, nego da se iskoristi uglavnom radi poboljšanja komuniciranja. Utvrdjivanje nacionalnih propisa treba ostaviti pojedinačno nacijama ili grupi nacija.

Sama kategorizacija ne može direktno da posluži kao baza za tretman otpadaka i odlaganje, odnosno za definisanje sigurnosti posle ispuštanja. Ona treba da pruži deskriptivnu informaciju o karakteru radioaktivnih otpadaka.

Što se tiče nomenklature, preporučeno je da se mesto izraza "niska", "srednja" i "visoka" aktivnost, kategorije svih vrsta radioaktivnih otpadaka označavaju brojevima, sa ciljem da se izbegne dalja konfuzija koja proizilazi iz postojeće terminologije.

4. Kategorije tečnih radioaktivnih otpadaka

Predlog kategorizacije tečnih radioaktivnih otpadaka sadrži pet kategorija definisanih specifičnom aktivnošću rastvora. Ova kategorizacija predstavlja kompromis izmedju zahteva koji postoje pri tretmanu radioaktivnih otpadaka u istraživačkim institucijama i kod postrojenja za preradu isluženog nuklearnog goriva. Koncentracija radioaktivnih materija izražena je , kao i u ostalim dokumentima Agencije, u μCi/ml ili Ci/m^3.

Predlog kategorija tečnih otpadaka prikazan je na tablici 1.

Pored podataka o koncentraciji radioaktivnih materija daju se i informacije o zaštiti odnosno o potrebi tretmana.

Standard predložen od strane IAEA u odnosu na klasifikaciju primenjenu u Pravilniku obuhvata veći opseg nivoa aktivnosti i sadrži veći broj kategorija koje su označene ciframa.

Prema tablici br. 1, naše kategorije mogle bi da se označe brojevima 3, 4, 5.

5. Kategorije čvrstih radioaktivnih otpadaka

Dok se kod klasifikacije tečnih otpadaka uglavnom uzima u obzir tretman i ispuštanje u okolinu, kod čvrstih otpadaka se moraju razmotriti novi faktori kao što su rukovanje[9] i transport[6] pre i posle tretmana.

Za klasifikaciju čvrstih otpadaka preispitani su postojeći sistemi i razmatrani su osnovni parametri koji mogu da budu uključeni u kategorizaciju čvrstih otpadaka.

Sastav otpadaka može da se razlikuje prema prirodi procesa ili laboratoriji odakle potiče. Obično se visoko aktivni α - emiteri odvajaju od β i γ - emitera. Kod nižih aktivnosti smeše su mnogo češće ali obično α ili β, γ - emiteri preovladjuju i otpaci mogu da se kategorišu na prost način kao jedni ili drugi otpaci u zavisnosti koji su bitniji.

Čvrsti otpaci mogu da budu sagorivi i nesagorivi i manje ili više homogeni. Merenje aktivnosti takvih otpadaka može da bude teško i radi toga klasifikacija prema aktivnosti po jedinici zapremine ili težine nije zadovoljavajuća. Otpaci koji sadrže γ i β, γ - emitere mogu da budu odredjeni merenjem jačine doze zračenja dok je u slučaju čistih α - emitera to neizvodljivo.

Jačine doze mogu da budu merene bilo na površini otpadaka bilo na površini njegovih kontejnera. U propisima za transport koristi se jačina doze na površini i na rastojanju od jednog metra od površine kontejnera[6]. Kod takvih merenja, osnovna priroda radioaktivnih otpadaka teže se odredjuje (neki β - emiteri mogu da ostanu neidentifikovani), zbog karakteristika kontejnera. Radi toga, preporučuje se kategorizacija

čvrstih radioaktivnih otpadaka kod koje se za β , γ - emitere koristi jačina doze na površini otpada.

Kod nekih α - emitera takodje se mora rasmotriti i problem kritičnosti. Ukupno merenje sadržaja kontejnera je uvek neodredjeno (do 100 % greške) zbog čega koeficijent sigurnosti mora da se rasmotri sa gledišta kritičnosti. Rasmatrana je i mogućnost uvodjenja dve kategorije čvrstih otpadaka sa α - emiterima, prema kritičnosti, ali je zaključeno da takva podela nije neophodna. Da bi se kritičnost eliminisala kao problem, preporučuje se ista maksimalna količina fisibilnog materijala u čvrstim radioaktivnim otpacima, kao što je dato u naknadnim zahtevima za pakovanja koja sadrže fisibilni materijal /6/.

Kod sastavljanja ovih preporuka za kategorizaciju čvrstih otpadaka, sagledano je da praktični oblik kategorizacije nikada ne može da definiše stvarnu prirodu radioaktivnih otpadaka nego samo glavne karakteristike otpadaka o kojima se diskutuje.

Preporučeno je da se čvrsti radioaktivni otpaci klasifikuju u četiri kategorije, od kojih kategorije 1, 2 i 3 obuhvataju β i γ - aktivnost sa neznatnim količinama α - emitera a kategorija 4, α - aktivnost sa neznatnim količinama β i γ - emitera.

Predlog za kategorizaciju čvrstih otpadaka prikazan je na tablici 2.

Predložene kategorije čvrstih radioaktivnih otpadaka bitno se razlikuju od normi primenjivanih u Pravilniku po tome što se predlaže kategorizacija na bazi jačine doze, odnosno

aktivnosti, merenih na površini otpadaka. Primena cifarskih oznaka za pojedine kategorije kod nas se ne praktikuje.

6. Kategorije gasovitih radioaktivnih otpadaka

Važnost klasifikacije gasovitih efluenata je sporna. U mnogim zemljama gasoviti radioaktivni otpaci uopšte nisu klasifikovani ili je klasifikacija vezana sa sistemom za ventilaciju i efluenti su klasifikovani prema poreklu. Medjutim, zbog razlika u nivoima aktivnosti i u sastavu gasnih efluenata, postoji opravdanost za klasifikovanje gasovitih efluenata u nekoliko kategorija.

Sa gledišta rizika, važnost ima totalno ispuštena aktivnost a ne koncentracija, iako posledice totalnog ispuštanja zavise od mnogih lokalnih modificirajućih faktora (lokacija, visina dimnjaka, pravac i brzina vetra,itd). Medjutim, pošto kod manipulisanja sa gasovitim radioaktivnim otpacima totalna aktivnost obično nema neki značaj, prihvaćeno je, da je jedino rešenje, klasifikovati gasovite efluente prema koncentraciji koja se ispušta, mada sa gledišta rizika, takva klasifikacija ne može da bude ni od kakve praktične važnosti.

U nedostatku bilo kakve pogodne alternative, preporučeno je da se klasifikacija gasovitih radioaktivnih otpadaka bazira na istim jedinicama kao i za tečne otpatke, tj. $\mu Ci/ml$ ili Ci/m^3 a takodje i prema postupku pre ispuštanja.

Predlog za klasifikaciju gasovitih otpadaka sadrži tri kategorije i prikazan je na tablici 3.

U Pravilniku gasoviti otpaci nisu klasifikovani.

7. Donja granica aktivnosti radioaktivnih otpadaka

U diskusiji o mogućnosti uznalaženja brojnih vrednosti, ispod kojih bi otpadni materijal mogao da se smatra kao neznatno radioaktivan, došlo se do zaključka, da zbog mnogih faktora i velike razlike u lokalnim uslovima, nije moguće odrediti bilo kakvu brojnu vrednost. Preporučeno je da IAEA treba da proučava ovaj problem u budućnosti.

Navedena klasifikacija tečnih, čvrstih i gasovitih radioaktivnih otpadaka odgovara izvesnom nivou aktivnosti. Aktivnosti ispod navedenih nivoa mogu se smatrati beznačajnim i prema tome može se dopustiti ispuštanje radioaktivnih otpadaka posle pouzdanih kontrolnih merenja, izvršenih od strane ovlašćenog organa.

Zvanične definicije, šta je radioaktivno a šta nije, trebalo bi da budu bazirane na internacionalnim preporukama izloženim u Osnovnim standardima sigurnosti za zaštitu od zračenja /19-21/.

U nekim članovima Pravilnika postoje takodje definicije o tome šta su radioaktivni otpaci a šta nisu, koje po našem mišljenju nisu bazirane na preporukama ICRP.

8. Označavanje kategorija radioaktivnih otpadaka bojom

Standardizovan sistem za označavanje otpadaka bojama može da bude koristan ali ga nije moguće lako predložiti. Osnovni razlog je taj, što su već različite boje i znakovi široko

primenjeni u nekoliko zemalja, posebno u hemijskoj industriji. Osim toga, broj preporučenih kategorija za tečne, čvrste i gasovite radioaktivne otpatke nije isti i u slučaju čvrstih otpadaka, poredak kategorija ne odgovara povećanju opasnosti. Zbog toga, samo je uopšteno preporučeno da se primeni označavanje bojama, koje odgovara ustanovljenim kategorijama.

Što se tiče boja i znakova, izbor istih zavisi od kompetentnih organa u svakoj zemlji, jer takav sistem ne bi trebao da se kosi sa konvencionalnim sistemima, iskustvom, običajima i navikama u tim zemljama.

Uopšte je preporučeno da se crvena boja upotrebi za najopasnije kategorije mada ne postoji ni prigovor za žutu boju. Oranž boju je teško specifikovati, pošto bi mogla da bude pogrešno zamenjena sa žutom ili crvenom. Zelena boja se ne preporučuje zbog toga što ona uopšte označava sigurnost. Takodje se može upotrebljavati bela, crna ili plava boja.

Koliko je nama poznato, u našoj zemlji , osim uobičajenih oznaka, boje nisu primenjene za označavanje različitih vrsta radioaktivnih otpadaka.

9. Komentar

S obzirom na važnost internacionalne standardizacije na polju zaštite od jonizujućeg zračenja, u ovom slučaju u oblasti tretmana radioaktivnih otpadnih materija, smatramo za potrebno da uporedimo predložene standarde kategorija radioaktivnih otpadnih materija, sa kategorizacijom koja se primenjuje kod nas. Po našem mišljenju, uvid u našu zvaničnu kategorizaciju najbolje se može dobiti iz Pravilnika o načinu i uslovima smeštaja i

čuvanja radioaktivnih otpadaka[2]. Postavlja se pitanje, šta se od predloženih standarda kategorija može iskoristiti za usavršavanje Pravilnika, koji je u pojedinim delovima skoro kvalitativan, a osim toga namenjen regulativi.

Držeći se redosleda izlaganja materije u Pravilniku, kao prvo postavlja se pitanje definicije radioaktivnih i neaktivnih otpadnih materija. U Pravilniku primenjene definicije radioaktivnih i neaktivnih otpadnih materija nisu bazirane na preporukama ICRP-a, nego su uglavnom preuzete iz sanitarnih normi SSSR-a.

Sa druge strane, u predlogu Internacionalnih normi za kategorizaciju radioaktivnih otpadaka, ovo pitanje ostaje potpuno otvoreno i preporučuje se da se zvanične definicije o tome šta su radioaktivni otpaci a šta nisu, zasnivaju na preporukama ICRP-a.

Čvrste radioaktivne otpadne materije su kod nas klasifikovane prema uslovima koji treba da budu obezbedjeni prilikom transporta radioaktivnog materijala. Nasuprot tome, predloženom internacionalnom standardizacijom, čvrste otpadne materije delile bi se na četiri grupe (3 za beta i gama otpatke; 1 za alfa otpatke) i predlaže se merenje jačine doze odnosno aktivnosti na površini samih otpadaka. Izgleda nam da predložena kategorizacija deluje više kvantitativno, tj. da bolje karakteriše otpadne materije i da omogućava komparaciju razultata merenja kod pakovanih otpadnih materija i otpadaka koji se, zbog svojih dimenzija, ne mogu pakovati. Posebno kao korisno smatramo da-to ograničenje količine fisibilnog materijala, što kod nas nije učinjeno kao i uvodjenje cifarskih oznaka kategorija.

Kod klasifikacije tečnih radioaktivnih otpadnih materija primenjena je ista osnova i u Pravilniku i u predloženim standardima za kategorizaciju tečnih radioaktivnih otpadaka. Smatramo da predloženih pet kategorija, prema naše tri, ne bi imale nikakvu prednost.

Medjutim, podatke o zaštiti i o potrebi tretmana, izložene u tablici br.1, treba uvažavati. Isto tako, smatramo da cifarsko označavanje kategorija tečnih radioaktivnih otpadnih materija treba podržati ali uz podatke o koncentraciji.

Što se tiče predloga kategorizacije gasovitih efluenata i aerosola, mišljenja smo da u našim uslovima ona ne bi imala nikakve svrhe, mada predložene kategorije gasovitih efluenata unose izvesne kvantitativne elemente.

10. Zaključak

S obzirom da su kod nas prihvaćene kategorije radioaktivnih otpadnih materija na neki način oznakonjene kroz Pravilnik, smatramo da u sadašnjem trenutku nije celishodno insistirati na bilo kakvoj promeni ili dopuni istog. Medjutim, ne treba isključiti mogućnost da se to docnije učini a na osnovu iskustva koje bi se steklo paralelnom internom primenom naših zvaničnih i predloženih kategorija radioaktivnih otpadnih materija.

Posebno, smatramo da po pitanju šta su radioaktivni otpaci a šta nisu, JDRZ treba da formira studijsku grupu koja bi se bavila ovim problemom.

Sl. 1. Postojeća klasifikacija tečnih radioaktivnih otpadaka

Tablica 1.

PREDLOG KATEGORIJA ZA TEČNE RADIOAKTIVNE OTPATKE

Kategorija	Nivo aktivnosti A (μCi/ml)	P r i m e d b a
1	$A \leqslant 10^{-6}$	Obično se ne tretira
2	$10^{-6} < A \leqslant 10^{-3}$	Bez zaštite*
3	$10^{-3} < A \leqslant 10^{-1}$	Zaštita moguća*
4	$10^{-1} < A \leqslant 10^{4}$	Zaštita nužna*
5	$10^{4} < A$	Potrebno hladjenje

*Tretman uobičajenim postupcima

Tablica 2.

PREDLOG KATEGORIJA ZA ČVRSTE RADIOAKTIVNE OTPATKE

Kategorija	Radijaciona doza na površini otpada D(R/h)	P r i m e d b a
1	$D \leqslant 0.2$	β, γ - emiteri
2	$0.2 < D \leqslant 2$	α - emiteri u neznatnoj količini
3	$2 < D$	
4	α - aktivnost izražena u Ci/m^3	α - emiteri dominantni β, γ - emiteri u neznatnim količinama. Nisu sumnjivi sa gledišta kritičnosti.

Tablica 3.

PREDLOG KATEGORIJA ZA GASOVITE RADIOAKTIVNE OTPATKE

Kategorija	Nivo aktivnosti A (Ci/m^3)	Primedba
1	$A \leqslant 10^{-10}$	- Obično netretirani efluenti
2	$10^{-10} < A \leqslant 10^{-6}$	- Efluenti obično tretirani filtracijom
3	$10^{-6} < A$	- Efluenti obično tretirani drugim postupcima

L I T E R A T U R A

1. Standardization of Radioactive Waste Categories,Technical Reports Series No 1o1,IAEA,Viena (197o).
2. Pravilnik o načinu i uslovima smeštaja i čuvanja radioaktivnih otpadaka, Sl.list SFRJ 1/70.
3. Proposed Definition of Radioactive Waste Categories, United States of America Standards Institute (1967).
4. The Sanitary Regulations for Handling of Radioactive Materials and Ionizing Radiation Sources, No. 333/1960, Moscow (1960).
5. Radiation Protection Law from 21 March 1963, Sbirka Zákonu No. 34/1963, Prague (1963) 129.
6. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Safety Series No. 6, IAEA, Vienna (1967).
7. Technology of Radioactive Waste Management Avoiding Environmental Disposal, Technical Reports Series No. 27, IAEA, Vienna (1964).
8. Operation and Control of Ion-Exchange Processes for Treatment of Radioactive Wastes, Technical Reports Series No.78, IAEA, Vienna (1967).
9. Treatment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Concentrates, Technical Reports Series No.82, IAEA, Vienna (1968).
10. Desing and Operation of Evaporators for Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 87, IAEA, Vienna (1968).
11. Chemical Treatment of Radioactive Wastes, Technical Reports Series No.89, IAEA, Vienna (1968).
12. The Management of Radioactive Wastes Produced by Radioisotope Users, Safety Series No.12, IAEA, Vienna (1965).
13. The Management of Radioactive Wastes Produced by Radioisotope Users, Technical Addendum, Safety Series No.19, IAEA, Vienna (1966).
14. Basic Factors for the Treatment and Disposal of Radioactive Wastes, Safety Series No.24, IAEA, Vienna (1967).
15. Radioactive Waste Disposal into the Sea, Safety Series No.5, IAEA, Vienna (1961).

16. Disposal of Radioactive Wastes into Fresh Water, Safety Series No.10, IAEA, Vienna (1963).

17. Radioactive Waste Disposal into the Ground, Safety Series No.15, IAEA, Vienna (1965).

18. Techniques for Controlling Air Pollution from the Operation of Nuclear Facilities, Safety Series No.17, IAEA, Vienna (1966).

19. Safe Handling of Radioisotopes, Safety Series No.1, IAEA, Vienna (1962).

20. Basic safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No.9, IAEA, Vienna (1967).

21. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 9, Pergamon Press, Oxford (1966).

Nr. / 9 / 05

ADMINISTRATIVNO-PRAVNI POSTUPAK LOKACIJE NUKLEARNE ELEKTRANE

Ljubomir Borbarać, dipl.ing. SKNE
Tomislav Veljković, dipl.pravn. IBK
Srdjan Mitrović, dipl.ing. IBK

ADMINISTRATIVNO-PRAVNI POSTUPAK ZA ODOBRENJE LOKACIJE NUKLEARNE ELEKTRANE

I U V O D

Postupak za odobrenje lokacije odnosno gradnje nuklearne elektrane regulisan je zakonskim propisima. Osnovni zakonski propisi koji regulišu ovo pitanje su Zakon o opštem upravnom postupku /1/ i Osnovni zakon o izgradnji investicionih objekata /2/. Može se slobodno reći da je ovo pitanje uredjeno kroz još dvadesetak saveznih zakona, a isto toliko i republičkih propisa. Pored toga i opštine su ovlašćene da propisiju i uredjuju neka pitanja postupka oko izdavanja odobrenja za lokaciju odnosno gradnju. U ovako velikom broju propisa koji regulišu ovu materiju nije se lako snaći u rešavanju jednog konkretnog problema. To je jedna strana ovog problema. Nepotpunost postojećih propisa i brojna pitanja koja nisu regulisana, pretstavljaju drugu stranu problema.

II PREGLED POSTOJEĆIH PROPISA

II.1. Zakon o opštem Upravnom postupku (ZUP)

ZUP je osnovni formalno-pravni propis koji reguliše postupak rada organa uprave i drugih državnih organa kad rešavaju predmete u upravnom postupku (o pravima i obavezama gradjana, radnih i drugih organizacija) gde spadaju i pitanja izdavanja odobrenja za lokaciju i gradnju. Zakon reguliše ko može da podnese zahtev za izdavanje odobrenja za lokaciju, uslove koji moraju da se ispune kao i potrebnu dokumentaciju, rok u kome se ima doneti rešenje po zahtevu i dr.

Pošto je ovo formalni propis, a shodno načelu zakonitosti rada organa uprave, ukoliko su ispunjeni svi uslovi koje zakon propisuje, organ uprave je dužan da izda traženo odobrenje bez prava slobodne ocene zahteva.

Osnovni organ za rešavanje svih pitanja upravnog postupka, na osnovu ZUP-a je opštinski organ ukoliko neka pitanja nisu data u nadležnost nekom višem organu ili radnoj odnosno privrednoj organizaciji.

Postupak za izdavanje odobrenja za gradnju nuklearne elektrane nije prema ZUP-u izuzet, te je za izdavanje odobrenja nadležan opštinski organ uprave. Medjutim, uslovi za lokaciju nuklearnih objekata dati su Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja[3].

II.2. Osnovni zakon o gradnji investicionih objekata

Ovaj zakon definiše uslove (pre svega tehno-ekonomske) koje mora da ispuni podnosilac zahteva (investitor) za odobrenje gradnje, odredjuje koja se dokumentacija mora pribaviti i podneti nadležnom organu. Prema zakonu, investitor je dužan da od stručnih službi, ustanova i organizacija pribavi potrebna pozitivno stručna mišljenja i saglasnosti (na pr. od Urbanističkog zavoda, Elektrodistribucije javnih službi...).

I prema ovom zakonu, koji izuzima samo vojne objekte u vojnom krugu, odobrenje za gradnju daje opštinski organ uprave, ukoliko drugim zakonskim propisima nije drugačije propisana, kao na primer:

- Potrebna su posebna odobrenja užih lokacija potencijalno opasnih objekata u pogledu zaštite od požara[4] i eksplozije[5];

- Definisani su posebni uslovi za granju u blizini javnih puteva[6], parkova i zelenila, istorijskih spomenika[7], aerodroma[8,9,10];
- zaštita vode i vazduha zagadjenja[11,12];
- saglasnost vodoprivrednih[11], elektroprivrednih[13] i drugih organizacija.

Odredjeni energetski i nuklearni objekti moraju se uskladiti sa potrebama narodne odbrane[14,15].

Nuklearna elektrana kao energetski objekat, nije posebno izuzeta od ostalih investicionih objekata. Jedino je osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja predvidjena posebna saglasnost za lokaciju nuklearnih objekata.

II. 3. Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja

Lociranje nuklearnih objekata, medju njima i nuklearnih elektrana, regulisano je Osnovnim zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja.

Član 7. ovog zakona definiše da je potrebna posebna saglasnost za lokaciju objekata koji sadrže izvore zračenja ili nuklearne reaktore, navodeći spisak uslova koji moraju da budu zadovoljeni za zaštitu života, zdravlja i imovine stanovništva u bližoj ili daljoj okolini.

Član 8. kaže da se izgradnji ili rekonstrukciji objekata ili postrojenja iz čl.7 može pristupiti tek pošto se utvrdi da projekat u pogledu zaštite od jonizujućih zračenja ispunjava uslove predvidjene propisima odnosno higijensko-tehničkim normativima.

U članu 9 se definiše nadležnost republičkog organa uprave za poslove sanitarne inspekcije koji utvrdjuje ispunja-

vanje uslova i izdaje odobrenja za lokaciju u sporazumu sa Saveznom komisijom za nuklsarnu energiju, a po pribavljenom mišljenju ustanove ovlašćene za poslove zaštite od jonizujućih zračenja.

Postoji više pratećih propisa Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja koji bliže uredjuju pojedina pitanja/16/.

Postupak za odobrenje lokacije se odvija na sledeći način:

Investitor podnosi pismeni zahtev republičkom sanitarnom inspektoratu, kao nadležnom organu za izdavanje odobrenja za lokaciju. Preporučljivo je da se istovremeno obrati i Državnom sekretarijatu za narodnu odbranu. Republički sanitarni inspektorat pribavlja stručno mišljenje ustanove ovlašćene republičkim propisima za poslove zaštite od zračenja (može se obratiti i ustanovi sa teritorije druge republike). Republički sanitarni inspektorat se takodje obraća Saveznoj komisiji za nuklearnu energiju da bi u sporazumu sa njom izdao odgovarajuće odobrenje za lokaciju. Dozvola se izdaje na osnovu podnetog projekta u smislu čl.8 Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja.

Investitor, pošto dobije odobrenje za lokaciju, obraća se nadležnom organu skupštine opštine, podnoseći potrebnu dokumentaciju, radi izdavanja odobrenja za gradnju. Opštinska skupština je takodje nadležna za izdavanje odobrenja za tehnički prijem, odobrenje za rad i vrši inspekcijske poslove.

III PRAZNINE I NEDOSTACI POSTOJEĆIH PROPISA NA OSNOVU KOJIH SE IZDAJE ODOBRENJE ZA LOKACIJU I GRADNJU NUKLEARNE ELEKTRANE

Navedeni zakonski propisi koji se mogu primeniti na izbor i odobrenje lokacije nuklearnih elektrana ne definišu dovoljno precizno uslove na osnovu kojih bi se cenila pogodnost predložene lokacije, kao ni uslove za zaštitu okoline od eventualnih štetnih posledica, čiji bi se izvor mogao naći u elektrani. Tako, na primer, ničim nisu odredjeni pogodnost konfiguracije terena, geološki i hidrološki sastav, nisu definisani hidrometeorološki i drugi uslovi. Za ocenu opasnosti od radioaktivnog zračenja i ispuštanje radioaktivnih materija u okolinu nedostaju propisi o maksimalnim dozvoljenim dozama za ozračivanje raznih kategorija stanovništva kao ni doze koje bi se mogle primeniti u akcidentalnim i vanrednim slučajevima. Slična je situacija i po drugim kriterijumima važnim za izbor lokacije.

III.1. Lokacija i gradnja /17,18 i 19/

Kod nas nije sasvim jasno regulisano pitanje lokacije i izgradnje privrednih investicionih objekata. To predstavlja ozbiljnu prazninu u propisima koji regulišu ovu oblast. Tako se, na primer, u Zakonu o preduzećima govori ko donosi odluku o osnivanju preduzeća, koja sadrži i mesto sedišta, u krajnjoj liniji mesto lokacije privrednog objekta. U Osnovnom zakonu o izgradnji investicionih objekata takodje nema posebnih odredaba koje govore o lokaciji, a posebno o odobrenju za izgradnju investicionog objekta. Izgleda da zakonodavac nije hteo da definiše razliku o tome šta je lokacija kao poseban problem,

a da je odobrenje za izgradnju objekta sa potrebnim dokumentima sasvim poseban pravni problem. Dok je prvi više vezan za ekonomske i stručne probleme, drugi je više vezan za pravne probleme. Možda je ovde zakonodavac kroz odobrenje za izgradnju vezao ili podrazumevao i odredjivanje lokacije preduzeća, ali takav stav je sasvim pogrešan.

Kada su u pitanju nuklearni objekti onda se još više mora voditi računa o problemu lokacije sa tehno-ekonomske, zdravstvene i sa pravne strane. Istina Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja u čl. 7. eksplicitno pominje i sadrži uopštene odredbe, koje govore da je potrebna posebna dozvola za lokaciju i ko je daje. Medjutim, i ovaj propis zbog nepotpunosti nije do kraja primenljiv u praksi, ali i ovo je korak napred u odnosu na ostale propise.

Kad je u pitanju lociranje objekta, onda se može mirno reći da opšti kriterijumi o lokaciji: sirovina, radna snaga, saobraćaj i bezbednost države, važe u celosti i kada su u pitanju nuklearni objekti. Treba preciznije još odrediti i stručne kriterijume koji se odnose na zaštitu stanovništva, drugim rečima uslove lokaciranja sa strane bezbednosti i zaštite ljudi i imovine od štetnog dejstva jonizujućih zračenja, kao pratećeg elementa rada nuklearnih objekata.

III.2. Mesto opštine

Osnovne specifične opasnosti kojima nuklearne energija može da ugrozi okolinu sastoji se u mogućnosti njene veće kontaminacije u slučaju nastanka nenormalnih uslova rada. Te opasnosti se mogu preneti u širu okolinu (van teritorije opšti-

ne, republike pa i države) vazduhom, vodom i dr. Medjutim, najverovatnije je da će područje opštine biti najugroženija, a da opštini nisu data adekvatna prava i dužnosti u pitanjima lokacije i gradnje nuklearne elektrane. To znači da opština, koja daje odobrenje za gradnju nije propisom obavezana te prema tome nije ni dužna da konsultuje susedne opštine. S druge strane pošto je dato odobrenje za lokaciju od strane republičkog sanitarnog organa opština je dužna da izda odobrenje za gradnju bez obzira na svoju ocenu i stav opštine.

III.3. Mogućnost republičkih organa

Na suprot relativno ograničenim pravima opštine republički sanitarni organi u izboru lokacija, ima, s obzirom na svoju osnovnu delatnost, veoma široka ovlašćenja. I ako je vezan za pribavljanje mišljenja ovlašćene ustanove a odobrenje izdaje u sporazumu sa Saveznom komisijom za nuklearnu energiju, zbog nedostatka potrebnih kriterijuma, njegova stvarna ovlašćenja su mnogo veća.

Nedostatak propisa o maksimalno dozvoljenim dozama za ozračivanje stanovništva, kao i nedostatak preciznijih kriterijuma o hidrološkim, meteorološkim i drugim uslovima stvaraju situaciju kod izdavanja odobrenja, koja liči na slobodnu ocenu a ne vezanost za zakon.

Nedostatak naših preciznih kriterijuma i normi treba nadoknaditi primenom medjunarodnih kriterijuma i preporuka, o čemu bi moralo da vodi računa i Savezna komisija za nuklearnu energiju prilikom davanja svoje saglasnosti.

Pre izdavanja jednog i drugog odobrenja tj. za loka-

ciju i gradnju treba, u duhu već formiranih stavova, a koristeći se propisima ZUP-a organizovati javne diskusije odnosno rasprave, pa tek posle toga izdati traženo odobrenje.

Prilaže se šema nadležnosti prema sadašnjim propisima.

IV MIŠLJENJE I PREDLOZI

Iz iznetog se vidi da postoji izvestan paralelizam u postupku izdavanja dozvole za odobrenje lokacije i gradnje nuklearnih elektrana, kao i da se o toj materiji odlučuje na različitim nivoima i od različitih organa. Takodje je ukazano i na nedostatak bližih propisa i tehničkih kriterijuma.

Medjutim postojeći zakonski propisi omogućavaju pokretanje postupaka i konačno izgradnju nuklearnih elektrana. Ukazano je na mogućnost da se mnoga pitanja nerešena zakonskim propisima u pogledu opštih uslova za izbor konkretne lokacije i ocene potencijalnih opasnosti po okolno stanovništvo ostavljaju nadležnom organu da ih slobodno ceni prilikom davanja dozvole.

Za prevazilaženje takve situacije trenutno se mogu sagledati dva puta odnosno dve mogućnosti i to:

1. Da svi zainteresovani za regulisanje gradnje nuklearno energetskih objekata (republički i lokalni organi, elektroprivreda itd.) pokrenu akciju za donošenje odgovarajućih propisa i tehničkih kriterijuma, i

2. Da Savezna komisija za nuklearnu energiju, sa kojom se u sporazumu daje odobrenje za lokaciju, u okviru svojih nadležnosti:

a) odredi podloge i potrebnu dokumentaciju na osnovu koje će ceniti sigurnost objekta i pogodnost lokacije (na primer: izveštaj o sigurnosti i drugo), i

b) da formira stručnu komisiju sastavljenu od eksperata koji pokrivaju sva područja relevantna za sigurnost i lokaciju nuklearnih elektrana.

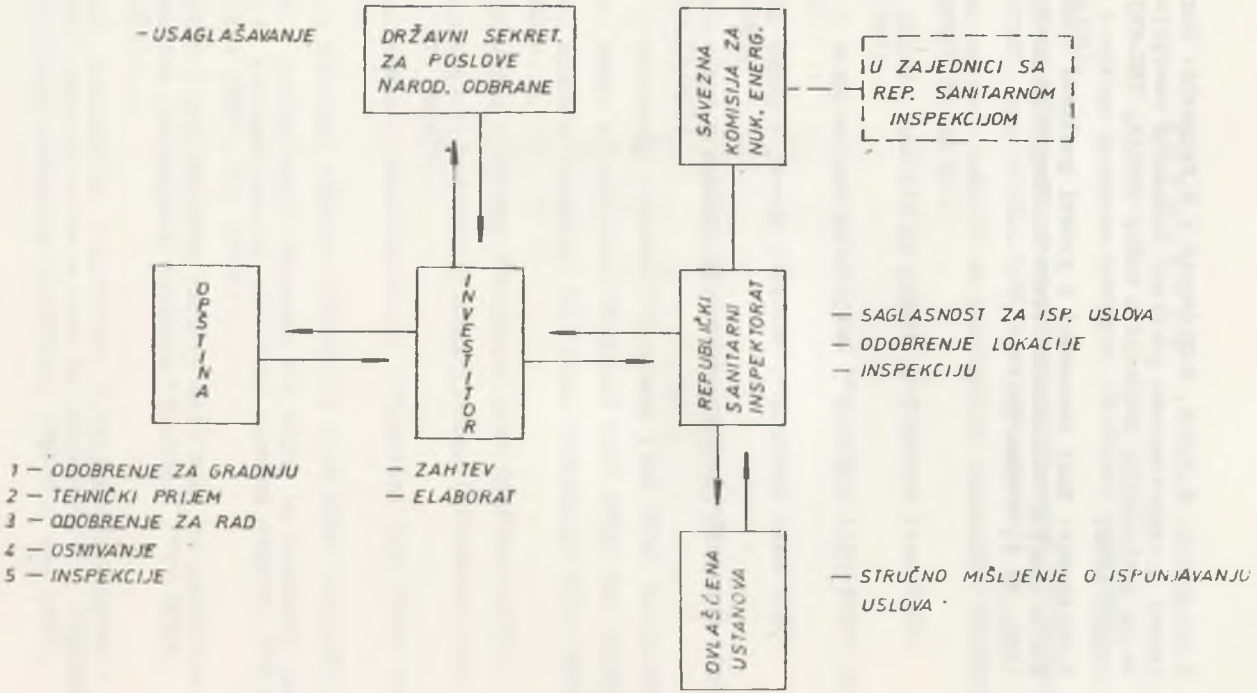
R E F E R E N C E

1. Zakon o opštem upravnom postupku (Službeni list SFRJ" br. 18/65);
2. Osnovni zakon o gradnji investicionih objekata ("Službeni list SFRJ", broj 45/61. 5/65 i ostale izmene);
3. Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja ("Službeni list SFRJ" br.12/65);
4. Opšti zakon o zaštiti od požara ("Službeni list SFRJ" br.25/70);
5. Zakon o eksplozivnim materijama ("Službeni list SFRJ",br. 25/70);
6. Osnovni zakon o javnim putevima ("Službeni list SFRJ" br.27/65);
7. Osnovni zakon o zaštiti spomenika kulture("Službeni list SFRJ br.12/65);
8. Zakon o vazdušnoj plovidbi("Službeni list SFRJ" br.12/65);
9. Osnovni zakon o rudarstvu("Službeni list SFRJ" br. 9/66);
10. Osnovni zakon o izgradnji železnica ("Službeni list SFRJ" br.9/65);
11. Osnovni zakon o vodama ("Službeni list SFRJ"br.13/65);
12. Zakon o zaštiti vazduha od zagadjivanja ("Službeni list SFRJ", br. 30/65);
13. Osnovni zakon o elektroprivredi ("Službeni list SFRJ" br. 17/65);
14. Zakon o narodnoj odbrani ("Službeni list SFRJ" br.8/69);
15. Odluka o odredjivanju objekata pri čijoj se izgradnji mora izvršiti prilagodjavanje zahtevima narodne odbrane ("Službeni list SFRJ", br. 5/70);
16. Pravilnik o pogodnostima radnika koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja("Službeni list SFRJ", br.26/64);...
17. B.Jović, S.Mitrović, S.Petrović, T.Veljković: Propisi o postupcima i nadležnostima u vezi sa projektovanje, izgradnjom i korišćenjem nuklearne elektrane, IBK-673, maj 1967.;

18. T.Veljković, B.Jović, S.Mitrović i S.Petrović: Neki stručni, pravni i organizacioni problemi nuklearne energije i zaštite od jonizujućih zračenja u našoj zemlji, IBK-655, avgust 1968;

19. T.Veljković: Neki ekonomski i pravni problemi lokacije uopšte a posebno nuklearnih objekata, Ekonomika preduzeća, 1969, No 2, strana 99.

ŠEMATSKI PREGLED NADLEŽNOSTI



OSNOVNI ELEMENTI KOJE TREBA DA SADRŽI OPŠTI AKT RADNE ORGANIZACIJE O ZAŠTITI PRI RADU SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Dj. Ristić, S. Gnjatović, S. Petrović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

Radne organizacije koje nabavljaju, stavljaju u promet i koriste radioaktivne materije iznad odredjene granice aktivnosti moraju imati Pravila o radu sa izvorima tih zračenja (stav 1 čl.20 Osnovnog zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja). Ova Pravila odobrava Republički organ uprave nadležan za poslove Sanitarne inspekcije u saglasnosti sa Republičkim organom uprave nadležnim za poslove inspekcije rada, po pribavljenom mišljenju ovlašćene ustanove koja vrši poslove zaštite od jonizujućih zračenja.

Pravila čine osnovu pri izradi normativnog akta radne organizacije kojim se reguliše zaštita od jonizujućih zračenja.

Da bi pomogli radnim organizacijama pri izradi opšteg akta o zaštiti pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja u ovom radu dajemo osnovne elemente koje treba da sadrži isti.

Opšte odredbe

- Namena odredaba, definicije i korišćeni pojmovi.

Organizacija bezbednog rukovanja sa izvorima jonizujućih zračenja

- Odgovornost radne organizacije i rukovodioca radne organizacije

- Obaveze i prava službi koja će sprovoditi mere zaštite
- Dužnosti i prava lica odgovorna za zaštitu od zračenja u radnoj organizaciji
- Dužnosti i prava osoblja.

Rad i rukovanje sa izvorima jonizujućih zračenja

a) Zatvoreni izvori zračenja

- Izbor i konstrukcija objekata
- Izbor odgovarajućih izvora jonizujućih zračenja, mašina, aparata, uredjaja i dr.
- Izbor pogodnih metoda postupaka i načina rada
- Mere zaštite koje se odnose na rad i rukovanje
- Podela na zone
- Režim rada i kretanja u kontrolisanim zonama

b) Otvoreni izvori zračenja

- Izbor i konstrukcija objekata
- Izbor odgovarajućih izvora jonizujućih zračenja ili radioaktivnog materijala
- Opremanje radnih mesta: podovi, zidovi i radne površine, nameštaj, osvetljenje, ventilacija, kanalizacija i dr.
- Izbor pogodnih metoda i postupaka i načina rada
- Podela radne organizacije, laboratorije, pogona, na zone
- Režim rada i kretanja u kontrolisanim zonama

Mere i sredstva zaštite

- Kolektivne mere i sredstva zaštite
- Lične mere i sredstva zaštite

Kontrola izlaganja osoblja jonizujućem zračenju

- Kontrola izlaganja osoblja spoljašnjem zračenju
- Kontrola primljenih doza zračenja pomoću ličnih dozimetara
- Kontrola osoblja na spoljašnju i unutrašnju kontaminaciju
- Kontrola radne atmosfere

Dozimetrijska kontrola radnih mesta i okoline

- Merenja polja zračenja
- Merenja kontaminacije prostorija, površina i opreme
- Merenja kontaminacije kože, odeće i obuće
- Merenja kontaminacije vazduha
- Merenja kontaminacije vode

Zdravstveni pregled osoblja

- Zdravstveni pregled pre početka rada sa izvorima jonizujućih zračenja
- Zdravstveni pregled u toku rada sa izvorima jonizujućih zračenja
- Zdravstveni pregledi u posebnim situacijama

Provera i kalibracija instrumenata

Maksimalno dozvoljene doze ozračivanja i maksimalno dozvoljeni nivoi kontaminacije

- Maksimalno dozvoljene doze za profesionalna izlaganja
- Maksimalno dozvoljene kontaminacije površina za profesionalna izlaganja
- Maksimalno dozvoljene kontaminacije u vodi i vazduhu za profesionalna izlaganja

- Maksimalno dozvoljene doze za neprofesionalna izlaganja
- Maksimalno dozvoljene kontaminacije površina za neprofesionalna izlaganja
- Maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi i vazduhu za neprofesionalna izlaganja

Sakupljanje i uklanjanje radioaktivnih otpadaka

- Sakupljanje radioaktivnih otpadaka
- Privremeno uskladištenje
- Trajno uskladištenje
- Uklanjanje i tretiranje

Dekontaminacija

- Dekontaminacija osoblja
- Dekontaminacija opreme
- Metode i postupci
- Sredstva za dekontaminaciju

Uskladištenje izvora jonizujućih zračenja

- Mesto uskladištenja
- Uslovi uskladištenja otvorenih izvora jonizujućih zračenja
- Uslovi uskladištenja zatvorenih izvora jonizujućih zračenja

Prenos izvora jonizujućih zračenja

- Prenos u radnoj organizaciji
- Prenos izvan radne organizacije

Upozorenja, ograničenja, zabrane

- Znaci, oznake, kategorije, ograde i sl.

- Ograničenja prolaza, kretanja, vremena boravka i dr.
- Zabrane rada, kretanja, prolaza, upotrebe i dr.

Evidencija

- Evidencija izvora jonizujućih zračenja
- Evidencija ljudi koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja
- Evidencija zdravstvenih pregleda
- Evidencija primljenih doza zračenja
- Evidencija distribucije film i penkalo dozimetra
- Evidencija dozimetrijskih kontrola i merenja ovlašćene ustanove za poslove zaštite od jonizujućih zračenja
- Evidencija servisa, tehničkih pregleda i atestiranja uredjaja, aparatura i dr.
- Evidencija kontrola od strane sanitarnih inspektorata

Akcidenti

- Mere predostrožnosti
- Identifikacija akcidenta
- Alarmiranje
- Intervencija
- Neophodna oprema za slučaj akcidenta

Prelazne, završne i kaznene odredbe