

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

PROBLEMI RADIOLOŠKE DEKONTAMINACIJE

Radovi sá II jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti
Mostar 1-4. novembra 1965.

Izdanje Instituta za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta, Sarajevo, 1966.

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA RADIOLOŠKU ZAŠTITU

PROBLEMI RADIOLOŠKE
DEKONTAMINACIJE

Radovi sa II jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti
Mostar 1-4. novembra 1965.

Izdanje Instituta za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta, Sarajevo, 1966.

REDAKcioni ODBOR:

Predsjednik: G. Žarković

Članovi: P. Bojović, Z. Buzadžić, K. Kostijal

Tehnički urednik: A. Smajkić

Lektor: R. Žarković

Štamparija: Radničkog univerziteta u Sarajevu
za štampariju odgovoran: — Zvonko Alilović

SADRŽAJ

	Strana
RADNA TJEJELA SIMPOZIJUMA	3
PREDGOVOR	5
REZOLUCIJA UČESNIKA SIMPOZIJUMA	7

R A D O V I

I OPŠTA I ORGANIZACIONA PITANJA

Z. BUZADŽIĆ: Značaj i osnovni principi organizacije radiološke dekontaminacije	13
G. ŽARKOVIĆ: Mogućnosti i putovi kontaminacije biosfere kod proizvodnje i korištenja izvora nuklearne energije	23
V. GAJIĆ, Z. ĐUKIĆ: Problem kadrova za službu dekontaminacije	43
A. MATIJAŠIĆ: Problem kontaminacije i mogućnosti dekontaminacije u slučaju kontaminacije radioaktivnim padavinama	49
V. POPOVIĆ: Prilog razmatranju mogućnosti i svrsishodnosti radiološke dekontaminacije u katastrofama	65
P. BOJOVIĆ, M. NINKOVIĆ: Neke procjene ukupnih doza ozračivanja za različite relacije čovjek - kontaminirana površina	80
S. MUŽDEKA: Instrumentacija za kontrolu i mjerenje radioaktivne kontaminacije	93

II SPOLJNA DEKONTAMINACIJA ČOVJEKA

B. PENDIĆ: O pitanjima radiološke kontaminacije i mogućnostima dekontaminacije ljudske kože	101
G. ŽARKOVIĆ: Dekontaminacija ljudske kože eksperimentalno zagađene radioaktivnim izotopima	113
K. PENDIĆ, B. PENDIĆ, K. MILIVOJEVIĆ i D. STOJANOVIĆ: Dekontaminacija kože kontaminirane nekim radioaktivnim izotopima	123
J. STAJIĆ, D. STOJANOVIĆ, A. MILOVANOVIĆ: Dekontaminacija kože oglednih životinja kontaminirane sintetičkom radioaktivnom prašinom	131
J. STAJIĆ, A. MILOVANOVIĆ, D. STOJANOVIĆ: Mogućnosti upotrebe morske vode za R- dekontaminaciju kože	139
J. GLIŠTJEVIĆ, J. BEGOVIĆ, B. DRAGANOVIĆ, A. JANKOVIĆ-ZAGORČIĆ: Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože	145

B. DRAGANOVIĆ, J. BEGOVIĆ, Z. MLOŠEVIĆ i S. FRANKOVIĆ: Transkutana kontaminacija eksperimentalnih životinja	157
G. ŽARKOVIĆ, A. FAJGELJ i N. POPOVIĆ: Prodžranje J-131 KROZ NEOŠTEĆENU LJUDSKU KOŽU	161
K. MILIVOJEVIĆ, D. STOJANOVIĆ: Prilog problemu per-kutane resorpcije radioaktivnih materija	173
D. STOJANOVIĆ, J. STAJIĆ, A. MLOVANOVIĆ: Uticaj preventivne primjene zaštitnih kremova za ruke na efikasnost R-dekontaminacije kože kontaminirane smjesom fistonih produkata	181
B. PENDIĆ, K. MILIVOJEVIĆ i D. STOJANOVIĆ: Uloga zaštitnih kremova u dekontaminaciji kože	187

III INTERNA DEKONTAMINACIJA ČOVJEKA

K. KOSTIAL: Problem interne kontaminacije i dekontaminacije čovjeka	197
D. DJURVIĆ: Dekontaminacija radioaktivnih supstancija iz ljudskog organizma	211
O.A. WEBER: Principi eliminacije radioaktivnih izotopa pomoću helatogenih supstancija i naša iskustva na tom području s posebnim osvrtom na eliminaciju zemnoalkalija	217
M. BLANUŠA: Usporedba dviju metoda za određivanje stroncija u biološkom materijalu	237
S. VOJVODIĆ, T. MALJKOVIĆ i K. KOSTIAL: Protektivno djelovanje fosfata i kalcija u hrani kod oralne kontaminacije radioaktivnim stroncijem	241
A. DURAKOVIĆ i K. KOSTIAL: Uticaj laktacije na mobilizaciju radioaktivnog stroncija iz skeleta majki	247
M. JEREMIĆ: Uticaj kompleksana BAETA na eliminaciju Sr-90 iz organizma pacova	251
BEK UZAROV Dj.N. i DJUKVIĆ Z.: Uredaj za mjerenje radioaktivnosti ljudskog tijela	255
V. ŠKARTIĆ, V. TURJAK-ZEBIĆ, L. STUHNE, Đ. ŠKARTIĆ: Višestruka primjena indazon-karbonskih kiselina s posebnim osvrtom na sekvistiranje zemno-alkaljskih metala	269
M. MEĐEDOVIĆ, D. PANOVIĆ, M. VUKOVIĆ, P. RAČEVIĆ i D. HAJDUKOVIĆ: Kontaminacija radijumom, radonom i njegovim potomcima u rudnicima urana	275
D. PANOVIĆ, M. KILIBARDA, DJ DJURVIĆ, LJ. MORAŠIĆ, M. KAČAREVIĆ, LJ. PANTELVIĆ: Kontaminacija uranom i uranovim jedinjenjima u rudnicima urana i tehnologiji prirodnog urana	285

M. KULBARDA, S. IGNJATOVIĆ, M. JEREMIĆ i D. PETROVIĆ: Kontaminacija radioaktivnim bojama i potreba veće bezbjednosti pri radu	291
M. TRAJKOVIC, V. STEPANOV: Apsorpcija Cs-137 iz raznih segmenata želudčano crijevnog kanala ..	299

IV DEKONTAMINACIJA VODE

G. ŽARKOVIĆ: Problemi kontaminacije vode za piće u Jugoslaviji radioaktivnim materijama u slučaju nuklearnog rata	315
G. ŽARKOVIĆ, A. LEOVAC: Efikasnost različitih postupaka za dekontaminaciju vode za piće ...	323
R. RADOSAVLJEVIĆ: Uklanjanje radioaktivnosti padavina iz dunavske vode na vodovodu Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"	329
A. ŠVABIĆ, P.S. BOJOVIĆ: Karakteristike i racionalnost postrojenja za obradu radioaktivnih efluenata	343
Z. KNEŽEVIĆ, G. ŽARKOVIĆ: Efikasnost domaćih liganta i zemlje crnice u dekontaminaciji vode za piće	349
R. DESPOTOVIĆ, M. HERAK, M. MRNIĆ, R. WOLF: Dekontaminacija vode heterogenom zamjenom radionuklida	369
M. RTSTIĆ, R. BOŽOVIĆ, M. ŽIVADINOVIĆ i T. CAVRTO: Uklanjanje radioaktivnih izotopa J-131, Ce-141, Ru-106 i Sr-89 iz vode primjenom postupka koagulacije, taloženja i cjeđenja	377
R. BOŽOVIĆ i M. RTSTIĆ: Mogućnost dekontaminacije vode zagađene radioaktivnim padavinama pomoću klasičnih postupaka prečišćavanja	385
P. BOJOVIĆ, O. GAČINOVIĆ: Uklanjanje Co-60 iz radioaktivnih efluenata taloženjem $Fe(OH)_2$	393

V DEKONTAMINACIJA HRANE

V. POPOVIĆ: Putevi ulaska radionuklida u organizam - uticaj strukture i hrane na stepen interne kontaminacije u normalnim i ratnim uslovima	401
--	-----

VI. DEKONTAMINACIJA OBJEKATA I MATERIJALA

H. CEROVAC, Đ. PEČKOVIĆ: Dekontaminacija potomaka Ra-226	419
--	-----

	Strana
LJ. JELIĆ, I. ČAVRČIĆ: Dekontaminacija pamučnih tkanina	425
M. ZARČIĆ: Problemi dekontaminacije kod vodom hlađenih i teškovodnih reaktora	431
R. BLAGOJEVIĆ i A. MATIJAŠIĆ: Dekontaminacija velikih ravnih površina	441
B. PAVLČIĆ, M. MIJOVIĆ: Mogućnost i efikasnost dekontaminacije ultrazvukom	455
B. STOJANOVIĆ i R. BLAGOJEVIĆ: Hvatač tampona - uređaj za dekontaminaciju	467

RADNA TIJELA SIMPOZIUMA

POČASNO PREDSEDNIŠTVO:

- AVDO HUMO - član SIV-a, predsednik Saveznog saveta za koordinaciju naučnih delatnosti
- DRAGUTIN KOSOVAC - sekretar za narodno zdravlje i socijalnu politiku SIV-a
- VOJIN GUZINA - predsednik Savezne komisije za nuklearnu energiju
- VASO RADIĆ - sekretar za narodno zdravlje i socijalnu politiku SRBiH
- Dr SIDA MARJANOVIĆ - predsednik Saveta za naučni rad SRBiH
- MUHAMED MIRICA - predsednik Opštinske Skupštine Mostar
- generalpukovnik BOGDAN OREŠČANIN - pomoćnik državnog sekretara za narodnu odbranu
- generalpukovnik Dr GOJKO NIKOLIŠ - načelnik saniteta JNA
- generalpotpukovnik ĐURO LONČAREVIĆ - načelnik Uprave za civilnu odbranu
- generalpotpukovnik CVJETKO UZUNOVSKI - načelnik Uprave za civilnu zaštitu DSNO
- generalmajor MILOŠ MANOJLOVIĆ - načelnik Uprave ABH odbrane JNA
- Ing ŠALOM ŠUICA - pomoćnik predsednika Savezne komisije za nuklearnu energiju
- Prof. Ing MILORAD RISTIĆ - direktor Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič"
- Prof. dr Ing. TOMO BOSANAC - direktor Instituta "Ruđer Bošković"
- Prof. dr Ing. MILAN OSREDKAR - direktor Nuklearnog instituta "Jožef Stefan"
- Dr HERBERT KRAUS - direktor Saveznog zavoda za zdravstvenu zaštitu
- Prof. dr GRUJICA ŽARKOVIĆ - direktor Instituta za higijenu i socijalnu medicinu
- Dr KAZIMIR BARYLA - direktor Instituta za tehničko medicinsku zaštitu
- Doc. Dr MILOŠ KILIBARDA - direktor Instituta za medicinu rada SRS
- Doc. Dr MARKO ŠARIĆ - direktor Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU
- Dr MILAN SKITEK - direktor Zavoda SR Slovenije za zdravstveno in tehnično varnost
- Dr GLIGOR TOFOSKI - direktor Zavoda za zdravstvenu zaštitu SRM

ORGANIZACIONI ODBOR

Dr ALIMPIJE ANĀELSKI
Dr KAZIMIZ BARYLA
Ing. PREDRAG BOJOVIĆ
Pukovnik ZDRAVKO BUZADŽIĆ
Dr ZORAN ĐUKIĆ
Ing. VLADETA GAJIĆ
Dr KRISTA KOŠTIAL
ANDREJA MATIJAŠIĆ
Pukovnik ANDRIJA MUHEK
Dr ŽIVANA PETROVIĆ
Ing. VELIMIR POPOVIĆ
Ing. MILAN PUTINČANIN
Ing. DUŠAN SRDOČ
Dr MILOVAN VIDMAR
Ing. OTTO WEBER
Dr GRUJICA ŽARKOVIĆ
MILUTIN ŽIVADINOVIĆ

SEKRETARIJAT

Dr FADIL ČERKEZ
Dr JOVAN JOKIĆ
Dr ARIF SMAJKIĆ

PREDGOVOR

Uklanjanje neželjene radioaktivnosti iz čovjekove životne sredine, odnosno radiološka dekontaminacija, je jedno od najvažnijih područja radiološke zaštite. To je razlog zašto je Jugoslovensko društvo za radiološku zaštitu radi razmatranja ovog pitanja sazvalo poseban stručni i naučni sastanak u Mostaru 1-4. novembra 1965.

Ciljevi simpozijuma u Mostaru su bili višestruki. Jugoslovensko društvo za radiološku zaštitu je na mostarskom skupu željelo:

1. da učesnici simpozijuma dobiju opći pregled problematike i savremenih dostignuća na polju radiološke dekontaminacije;
2. da se upoznaju sa dostignućima i nedostacima naučnog-istraživanja na polju radiološke dekontaminacije u našoj zemlji, i napokon
3. da pruži mogućnost naučnim radnicima i stručnjacima koji rade na polju radiološke dekontaminacije da se među sobno bolje upoznaju, izmijene iskustva i stvore predušlove za bolju koordinaciju rada u budućnosti.

Ovakova zamisao mostarskog skupa neminovno se odrazila na karakteru referata i saopštenja iznesenih na simpozijumu. Dok neki naručeni referati uglavnom postavljaju neriješene probleme ili iznose manje-više popularno postojeće znanje, dotle je većina naučnih saopštenja napisana visoko stručnim jezikom. Međutim, usprkos razlika u svrsi, jeziku i nivou pojedinih referata i saopštenja, Izvršni odbor Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu je odlučio da objavi i učini pristupačnim našoj javnosti sve radove iznesene u Mostaru, što se objavljivanjem ovog zbornika i čini, nakon minimalnih najneophodnijih redakcijskih izmjena i dopuna.

Predajući u štampu "Probleme radiološke dekontaminacije" uvjereni smo da će ova knjiga odigrati značajnu ulogu u daljnjem razvitku radiološke zaštite u Jugoslaviji.

Prof.dr Gruzica Žarković
Pretsjednik Jugoslovenskog društva
za radiološku zaštitu

Sarajevo, 1. juna 1966.

REZOLUCIJA

UČESNIKA II JUGOSLOVENSKOG SIMPOZIJUMA O RADIOLOŠKOJ ZAŠTI- -TI POSVEĆENOG PITANJIMA RADIOLOŠKE DEKONTAMINACIJE

Polazeći od činjenice da mirnodopska upotreba nuklearne energije stvara izgleda za dobijanje neiscrpnih količina energije i da obećava niz drugih prednosti koje će ubrzati ekonomski i socijalni progres, ali uviđajući i mnogobrojne opasnosti od zračenja, uključivo i opasnosti od kontaminacije životne sredine radioaktivnim materijalima; u želji da naša zemlja ostvari što veće koristi od primjene nuklearne energije uz što manje štetnih posljedica po život i zdravlje sadašnjih i budućih generacija; posebno u želji da se u slučaju eventualnog nuklearnog rata maksimalno snizi broj žrtava zbog izlaganja radioaktivnoj kontaminaciji, koja bi tada predstavljala veoma veliku opasnost; ocjenjujući - da su od I jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti do danas učinjeni dalji napori na polju radiološke zaštite, uglavnom, u domenu istraživačkog rada, što sve ipak ne zadovoljava, te je neophodno ovoj problematici pristupiti organizovanije i planski - učesnici ovog Simpozijuma do nose slijedeću

R E Z O L U C I J U

1. Sistem mjera za zaštitu od zračenja u našoj zemlji trebalo bi bezuslovno da prati, pa čak i da prethodi mjerama za primjenu nuklearne energije. S obzirom na to da opasnost od nuklearnog rata u svijetu još nije otklonjena, sistem mjera za zaštitu od zračenja treba da je postavljen tako - da posluži kao organizaciona osnova i za mjere zaštite - slučaju nuklearnih katastrofa.

2. U okviru mjera za zaštitu od zračenja neophodno je razvijati mjere, materijalnu bazu i službu za dekontaminaciju i bezbjedan postupak sa otpadnim radioaktivnim materijalima. U tom cilju treba donjeti odgovarajuće propise, predvidjeti i postaviti organizaciju, osposobiti i usavršavati - stručne i pomoćne kadrove, sprovesti stalno obavještenje - i masovnu obuku stanovništva, kao i neprestano sprovođiti -

naučnoistraživački rad u cilju daljeg produbljivanja znanja o tom problemu i efikasnosti preduzetih mjera.

3. Organizaciju radiološke dekontaminacije za mirnodopske potrebe treba bazirati na postojećim stručnim institucijama koje se profesionalno bave zaštitom od jonizujućih zračenja. Ove institucije treba da postanu okosnica za primje nu i drugih službi, organizacija i stanovništva za slučaj-kontaminacije širih razmjera - pri većim mirnodopskim nesrećama ili u eventualnom nuklearnom ratu.

Da bi se ovo ostvarilo, treba poći od izrade jedinstvenog-jugoslovenskog programa radiološke zaštite, odnosno radiološke dekontaminacije kao njenog sastavnog dijela. Na izrad i donošenju ovog programa potrebno je što prije angažovati odgovarajuće stručne institucije i određene organe uprave nadležne za organizaciju i sprovođenje radiološke zaštite u miru i ratu.

4. Potrebno je da jedan organ državne uprave, u saradnji -sa ostalim odgovornim organima, što prije pristupi izradi-i donošenju odgovarajućih zakonskih i drugih propisa i uputstava koji bi regulisali prava i nadležnosti stručnih organizacija i službi, radnih organizacija i društveno-političkih zajednica, kao i način organizacije i rada na izvođenju radiološke zaštite, odnosno dekontaminacije.

5. Radiološka dekontaminacija je veoma složen posao, koga-mogu organizovati i njime rukovoditi samo kvalifikovani stručnjaci. U vezi s tim potrebno je obezbjeđiti mjere za školovanje i usavršavanje onih kadrova koji bi rukovodili po slovim a dekontaminacije. Pored toga, osnovna znanja o tehnici dekontaminacije treba uključiti u nastavne programe školovanja svih stepena i profila.

Da bi čitavo stanovništvo naše zemlje bilo osposobljeno za mjere samozaštite u dekontaminaciji, neophodno je sprovođiti masovno obavještenje i obučavanje stanovništva svim raspoloživim sredstvima i metodama.

6. Mjere dekontaminacije u miru, a naročito za slučaj katastrofa, zahtijevaju određenu tehničku bazu, kao, naprimjer, bezbjedno snabdijevanje vodom i hranom, što veći broj raznih javnih komunalnih objekata i uređaja za dekontaminaciju vode na velikim vodosnabdjevačkim objektima, a za slučaj -rata predvidjeti i jednostavnija rješenja, dostupna širokim slojevima stanovništva. U vezi s tim u petogodišnjem planu razvoja zemlje treba obezbjeđiti brži napredak na ovom-sektoru.

7. Određivanje kontaminiranih područja i stepena kontamina

cije, odnosno efikasnosti izvršene dekontaminacije, moguće je samo uz upotrebu dobre i pouzdane instrumentacije, - koju treba nabaviti. U tom cilju treba pristupiti standard dizaciji i proizvodnji domaće savremene instrumentacije.-

8. Postojeća znanja o pitanjima kontaminacije i dekontaminacije nisu dovoljna, te je potrebno preduzeti mjere da - naša zemlja ide ukorak sa drugim zemljama u naučnom istraživanju na tom polju. Da bi se postigli veći rezultati u naučnom istraživanju na cijelom području radiološke zaštite, krajnje je vrijeme da se donese jedinstveni perspektivni plan naučnoistraživačkog rada za ovu oblast za čitavu Jugoslaviju, koji bi obuhvatio sve probleme, a spriječio - paralelizme ili rasipanje sredstava i snaga. Isto tako i naučnoistraživačkom radu treba posvetiti odgovarajuću pažnju i nastojanju da se rezultati naučnog istraživanja postignu u našoj zemlji i inostranstvu što brže - i što efikasnije koriste u praksi. Ovo pretpostavlja dobru organizaciju i koordinaciju djelatnosti organa nadležnih za pitanja zaštite od zračenja, uključujući i stvaranje određene transmisije za obaveznu primjenu rezultata - istraživanja.

9. Za održavanje efikasne službe radiološke zaštite i održavanje dugoročnog plana naučnih istraživanja na ovom području, neophodno je riješiti problem finansiranja ove djelatnosti. Bez adekvatnog finansiranja nemoguće je izbjeći zaostajanje i rasipanje snaga, što nanosi mnogostruke štete čitavoj zajednici.

Učesnici Simpozijuma stavljaju u zadatak njegovim organizatorima da sa ovom Rezolucijom upoznaju naše najodgovornije organe državne uprave, uz neumorno zalaganje da se Rezolucija što prije sprovede u djelo.

I OPŠTA I ORGANIZACIONA PITANJA

ZNAČAJ I OSNOVNI PRINCIPI ORGANIZACIJE RADIOLOŠKE DEKONTAMINACIJE

Z. Buzadžić

I

Korišćenje nuklearne energije se toliko razvilo da danas poprma sve raznovrsnije praktične vidove. Razgranalo se dobijanje nuklearnih sirovina i drugih prirodnih radioizotopa u rudnicima, jako se povećala proizvodnja veštačkih radioizotopa i nuklearnih goriva u raznim nuklearnim postrojenjima i instalacijama, a posebno mesto zauzima proizvodnja raznih vrsta i tipova nuklearnih borbenih sredstava.

Uporedo sa razvojem proizvodnje razvija se i primena nuklearne energije u mirnodopske — naučnoistraživačke i praktične svrhe (u humanoj i veterinarskoj medicini, u industriji, u poljoprivredi i šumarstvu, u elektroprivredi itd.). Slobodno se može reći da danas skoro i nema naučne delatnosti ili privredne grane koja u ovom ili onom vidu i obimu ne koristi i nuklearnu energiju, odnosno izvore jonizujućeg zračenja.

Kao normalni pratilci svih vidova proizvodnje i primene nuklearne energije u mirnodopske i ratne svrhe javljaju se mnogobrojni i obimni nusprodukti u vidu otpadnih materijala, padavina i raznih drugih otvorenih izvora jonizujućeg zračenja.

Akidenti pri proizvodnji i primeni nuklearne energije, zatim pri manipulaciji i transportovanju raznih izvora jonizujućeg zračenja i slične izvanredne situacije u miru i ratu — kvantitativno i kvalitativno doprinose proširenju ove skale izvora radijacione opasnosti.

Pri proizvodnji i primeni nuklearne energije može doći i do radijacione kontaminacije životne sredine i svih živih bića u njoj, kao i materijalnih sredstava i objekata.

Najznačajniji faktori radijacione kontaminacije ~~blatne~~ su radioaktivne padavine, kao produkti fisije prilikom atomskih eksplozija, i otpadni materijali iz raznih nuklearnih postrojenja. U nizu od nekoliko stotina radioizotopa najopasniji kontaminanti su radioaktivni stroncijum, cezijum, jod i ugljenik (C^{14}), pored klasični najviše zastupljenih toksičnih radioaktivnih plutonijuma i urana 235 koji nisu pretrpeli fisiju pri eksploziji. Najznačajniji momenat pri kontaminaciji atmo-

sfere je što kontaminirani vazduh postaje istovremeno izvor i spoljne i unutrašnje kontaminacije ljudi, životinja i biljaka.

Slično je i sa radiokontaminacijom vode (izvorske, cisternske, rečne, morske i jezerske), s tim što ovoj kontaminaciji znatno doprinose i drugi izvori — razni tečni radioaktivni otpaci — a kontaminirana voda opet postaje i značajan izvor radiokontaminacije zemljišta.

Kontaminirano zemljište je izvor kontaminacije ljudi, životinja i materijalnih sredstava. Ono je glavni izvor interne kontaminacije biljaka i biljnih proizvoda, od kojih najveći značaj imaju oni koji služe za ljudsku i stočnu ishranu, te zajedno sa kontaminiranim prehrambenim proizvodima animalnog porekla spadaju među najvažnije izvore interne kontaminacije ljudi.

Radiokontaminirani predmeti i objekti upotrebe (odeća i obuća, stambene i radne prostorije i objekti, komunalni objekti, instalacije i uređaji, transportna i druga tehnička sredstva i uređaji, naoružanje i druga vojna oprema) mogu takode da budu značajan izvor radijacione kontaminacije živog sveta.

II

Pojava intenzivnije radijacione kontaminacije životne sredine upošta, a naročito predmeta neophodnih za život i druge ljudske potrebe, kao i osobina radioaktivnih kontaminanata da izazivaju štetne posledice na živim organizmima — rezultirali su potrebu za vršenjem radiološke dekontaminacije. Ova mera je utoliko neophodnija ukoliko je duže vreme poluraspada i viši stepen koncentracije upotrebljenih odnosno na objekat dospelih radiokontaminanata.

Pod pojmom radiološke dekontaminacije najčešće se podrazumeva sistem postupaka ili procesa kojima se otklanja radijaciona kontaminacija sa kontaminiranih lica ili predmeta. To je, ustvari, radiološka dekontaminacija u užem smislu. Radiološka dekontaminacija u širem smislu je sistem preventivnih mera i postupaka kojima se prvenstveno sprečava sekundarna (indirektna) radiokontaminacija kao što je, na primer, indirektna interna kontaminacija biljaka preko zemljišta, životinja preko biljaka, ljudi preko hrane i vode itd.

Kako je radijacionoj kontaminaciji podložan sav materijalni svet na zemlji, to je iz metodoloških razloga preporučljivo izvršiti i odgovarajuću podelu radiološke dekontaminacije. Kao najopštija može se smatrati podela na dve velike grupe:

- dekontaminacija živog sveta,
- dekontaminacija materijalnih sredstava (dobara).

Zavisno od prirode objekata, sredstava (dobara), metoda i postupaka dekontaminacije, obe ove grupe raščlanjuju se prema specifičnostima objekata ili metoda dekontaminacije, stepenu dekontaminacije itd., što će kasnije biti detaljnije izneto.

Prema karakteru i značaju poslova koje treba obaviti u toku prema izvođenja radiološke dekontaminacije može se izvršiti njihovo sledeće grupisanje:

- a) *operativno vršenje radiološke dekontaminacije* u cilju brze i efikasne intervencije, sinhronizovano sa ostalim merama radiološke

zaštite u izvanrednim situacijama u kojima dolazi do kontaminaciji većih razmera usled:

- upotrebe nuklearnih sredstava u ratu;
- probnih nuklearnih eksplozija u miru;
- akcidenata pri proizvodnji i upotrebi nuklearnih, odnosno radioloških sredstava;

b) *rutinsko vršenje radiološke dekontaminacije* u svim slučajevima u kojima dolazi do kontaminacije pri normalnoj, redovnoj upotrebi nuklearne energije u razne svrhe, pod uslovom da ta kontaminacija ne predstavlja opasnost širih razmera;

c) *redovni poslovi radiološke dekontaminacije* koji se izvode u cilju pripreme i osposobljavanja cele zajednice da spremna dočeka opasnost od radijacione kontaminacije u mirnodopskim i ratnim uslovima. Ovdje spada:

- istraživački rad na iznalaženju i uvođenju novih metoda i postupaka u cilju unapređivanja tehnike i efikasnosti dekontaminacije;

- edukativni poslovi, tj. obučavanje i osposobljavanje kadrova i stanovništva za vršenje dekontaminacije, počev od samodekontaminacije do najsloženijih stručnih poslova i postupaka u dekontaminaciji;

- proizvodnja i snabdevanje opremom, priborima i sredstvima za dekontaminaciju, njihovo normiranje i standardizacija;

- planiranje, materijalno, finansijsko i kadrovsko obezbeđivanje dekontaminacije;

- izrada i donošenje zakonskih propisa i drugih upravnih akata kojima se regulišu bitna i za zajednicu najvažnija pitanja radiološke dekontaminacije i obezbeđuju društveni uslovi za uspešno izvršavanje zadataka radiološke dekontaminacije u mirnodopskim i ratnim uslovima.

Zbog svoje složenosti i značaja za zajednicu poslovi radiološke dekontaminacije se moraju obavljati planski u okviru službi osposobljenih za stručno i efikasno izvršavanje zadataka radiološke dekontaminacije u miru i ratu. Pripreme i efikasno obavljanje ovih poslova teško bi se mogli zamisliti bez punog angažovanja postojećih službi i organizacija (naučnoistraživačkih, zdravstvenih, veterinarskih, industrijskih, poljoprivrednih, saobraćajnih, komunalnih, prosvetnih i drugih) i njihovog osposobljavanja za izvršavanje zadataka radiološke dekontaminacije u okviru svoje redovne delatnosti.

Postojeće službe i organizacije treba upotpuniti formiranjem jedinica ili ekipa za dekontaminaciju na teritorijalnom i proizvodnom principu i organizovanjem dekontaminacionih stanica na istim principima uz puno iskorišćavanje mesnih sredstava i uređaja (kupaćih, perionica čistionica, raznih tehničkih pogona i servisa itd.).

Razgraničenje nadležnosti i odgovornosti pojedinih resora i službi, organa društveno-političkih zajednica, privrednih i drugih radnih organizacija — takođe je neophodan preduslov za uspešno izvršavanje zadataka radiološke dekontaminacije u miru i ratu.

III

Sadašnje stanje na planu rešavanja problematike radiološke dekontaminacije kod nas nije zadovoljavajuće. Ono ne bi moglo da zadovolji

ni mirnodopske, a pogotovu ne ratne potrebe. Ovim ne želimo da kažemo da se tim poslovima kod nas niko ne bavi, jer takva tvrdnja ne bi odgovarala pravom stanju stvari. Naime, mi imamo izvestan broj institucija i organizacija koje na ovaj ili onaj način, u većoj ili manjoj meri razmatraju probleme i obavljaju neke poslove vezane sa izvršavanjem zadataka radiološke dekontaminacije. Tu spadaju:

— *nuklearni instituti*, kao i manji broj drugih ustanova i organizacija koje se bave proizvodnjom, primenom i istraživanjima na polju nuklearne energije. Profesionalno se bave, uglavnom, onom problematikom i poslovima radiološke dekontaminacije koji proističu iz njihove osnovne delatnosti. Izuzetak je Institut za nuklearne nauke »Boris Kidrič« u Vinči, koji je osposobljen i za intervencije van Instituta i pri većim aksidanimama odnosno kontaminacijama;

— *neke zdravstvene ustanove*, u kojima su formirani tzv. centri za radiološku zaštitu (pri medicinskim fakultetima u Beogradu, Zagrebu i Sarajevu, Zavodu za zdravstvenu i tehničku zaštitu SR Slovenije u Ljubljani i Zavodu za zdravstvenu zaštitu SR Makedonije u Skoplju), između ostalog, vrše i neke od poslova radiološke dekontaminacije delom istraživačkog karaktera. Među njima postoje vrlo velike razlike u pogledu osposobljenosti za ove poslove;

— *organi civilne zaštite* odnosno narodne odbrane na raznim nivoima (od opštine do federacije) po državnoj liniji, između ostalog, bave se i organizacijom i finansiranjem poslova radiološke zaštite uopšte i u sklopu toga (u vrlo skromnom obimu) i problematikom radiološke dekontaminacije u mirnodopskim i ratnim uslovima.

Neosporna je činjenica da je u celokupnom sistemu mera i postupaka koji imaju za cilj ostvarenje zaštite od radijacione kontaminacije odnosno vršenja dekontaminacije — od najvećeg značaja pravilno upoznavanje najširih slojeva stanovništva sa prirodom ove opasnosti i merama koje treba preduzeti da se ona otkloni. Ovde se u prvom redu misli na obučavanje stanovništva u vršenju samodekontaminacije i uzajamne dekontaminacije, kao i na organizovanje raznih kategorija stanovništva u odgovarajuće formacije koje bi učestvovala u izvođenju radiološke dekontaminacije u izvanrednim situacijama u miru i u ratu. Međutim, na svemu ovome je do sada malo radeno, pa su i rezultati neznatni.

Ovakvo stanje je posledica činjenice da mi nemamo jedinstven program koji bi problematiku radiološke dekontaminacije postavio u celini kako u pogledu raznovrsnosti svih poslova vezanih za nju; tako i u pogledu svih organa i organizacija koje su dužne da taj program realizuju, uključujući i obezbeđenje potrebnih finansijskih sredstava. Zato je potrebno da svi zainteresovani organi i organizacije, pod rukovodstvom jednog saveznog organa, pristupe izradi jednog dugoročnijeg programa radiološke dekontaminacije (u okviru radiološke ili RBH zaštite kao celine) i usklađenog sa programom opštih priprema za jačanje odbrambene moći naše zemlje.

Pri izradi ovakvog programa treba, pored ostalog, imati u vidu i sledeće:

Razni stručni kadrovi — medicinari, veterinari, poljoprivredni stručnjaci, hemičari, tehnolozi i drugi — koji postoje u brojnim ustanovama i organizacijama mogu se, često uz minimalnu dopunsku

osobu, osposobiti za odgovarajuće poslove na radiološkoj dekontaminaciji.

Postojeća oprema, pribori i uređaji (pokretna komunalna tenziona perionice, kupatila, čistionice, garaže, radionice itd.), uz potrebno dopunjavanje i adaptiranje, mogu se koristiti za dekontaminaciju teritorije, ljudi, odeće, transportnih i drugih tehničkih sredstava.

Postojeće organizacije građana u gradovima i drugim naseljima (mesne zajednice, kućni saveti i sl.) pogodne su i za organizovanje rada na radiološkoj dekontaminaciji na teritorijalnom principu.

Nuklearne, medicinske i razne druge naučnoistraživačke i prosvetno-naučne ustanove potrebno je i moguće, bez većih dodatnih ulaganja i organizacijskih promena, orijentisati i angažovati da rade mnogo intenzivnije i šire nego dosad na problematici radiološke dekontaminacije uopšte, a naročito na istraživanju i usavršavanju praktičkih metoda, opreme i sredstava za izvođenje dekontaminacije stanovništva i materijalnih dobara.

Organi društveno-političkih zajednica i ostale nepomenute resorne službe na raznim nivoima mogu se, mnogo više nego dosad, angažovati na izvršavanju zadataka radiološke dekontaminacije (na planiranju, materijalnom, finansijskom i kadrovskom obezbeđivanju, zakonodavnom i drugom radu) i uopšte na obezbeđivanju ostalih potrebnih uslova, svaki u okviru svoga resora i nadležnosti, za sprovođenje raznih preventivnih i operativnih mera dekontaminacije većih razmera u mirnodopskim i ratnim prilikama.

Svi navedeni faktori mogu se na odgovarajući način angažovati i na zajedničkom poslu osposobljavanja najširih slojeva stanovništva. Svaki od njih može naći svoje mesto i ulogu koristeći najpogodnije forme obaveštavanja i obučavanja koje će obuhvatiti sve kategorije stanovništva. To se može postići dopunom redovnih školskih programa, putem seminara, kurseva, javnih masovnih predavanja, praktičnih vežbi i ukazivanja na mogućnosti korišćenja priručnih i drugih sredstava i uređaja koji stoje stanovništvu na raspolaganju, kao što su kućna kupatila i perionice, servisi, osnovna sredstva lične higijene i ostalo što se može upotrebiti za radiološku dekontaminaciju.

Prema tome, kod nas postoje razne potencijalne mogućnosti, odnosno preduslovi koji se, uz odgovarajuće plansko usmeravanje, organizaciono dopunjavanje i materijalno obezbeđenje, mogu iskoristiti kao baza za stvaranje takve organizacije u miru koja će moći uspešno da izvršava, ne parcijalno i sporadično, nego celovito i kontinuelno, sve zadatke radiološke dekontaminacije kako u mirnodopskim, tako i u ratnim uslovima. Do ovog zaključka se dolazi na osnovu razmotrenih mirnodopskih potencijalnih mogućnosti i činjenice da u mirnodopskoj i ratnoj problematici u ovoj oblasti nema značajnijih kvalitativnih razlika. Razlika se javlja u kvantitetu, tj. obimu radioaktivne kontaminacije u miru i ratu, što dozvoljava rešavanje mirnodopskih i ratnih problema radiološke dekontaminacije na istim organizacijskim principima i osnovama. Mirnodopska organizacija radiološke dekontaminacije mora se tako postaviti da se kontinuelnom delatnošću na rešavanju mirnodopske problematike osposobljava za uspešno rešavanje ratnih problema, a iskustva stečena u praktičnom obavljanju dekontaminacije

u slučaju (prilikom akcidenta na nuklearnim postrojenjima i sl.) ili improvizovanim uslovima kontaminacije, treba koristiti za operativno obavljanje poslova radiološke dekontaminacije i u ratu.

IV

Imajući u vidu veliku složenost i delikatnost metoda i postupaka radiološke dekontaminacije, napred izneto može izgledati kao izvesno potcenjivanje faktora visoke stručnosti, koja je inače neophodna za uspešno obavljanje dekontaminacije. Tačno je da radiološka dekontaminacija spada u najteže i najsloženije poslove u oblasti radiološke zaštite. Ponekad uslovi mogu biti tako teški da se može postaviti pitanje da li je radiološka dekontaminacija uopšte tehnički izvodljiva. Obavljanje dekontaminacije je ponekad tako opasan i složen posao da ga može obaviti samo veoma stručno i kroz dugu praksu obučeno ljudstvo. Ali treba imati u vidu i to da će u mnogim slučajevima čak i orlično jednostavne mere i skromno znanje i obućenost ljudi doprijeti da se osetnije smanji opasnost odnosno posledice radijacione kontaminacije. Ovo će naročito doći do izražaja kada stepen kontaminacije nije jako visok (ali ipak predstavlja opasnost, te se mora smanjiti) i kada su kontaminirana tako velika prostranstva da bi bilo iluzorno očekivati pomoć od nekih specijalno obučenih i opremljenih ekipa. Ove ekipe, koje su uvek malobrojne kada je reč o eventualnom nuklearnom ratu, imaju previše posla na onim objektima i rejonima koji su jako kontaminirani i na kojima će jedino one moći uspešno da intervenišu.

Osnovni princip na kome treba da se zasniva organizacija radiološke dekontaminacije u ratu i miru, po pravilu, treba da bude samodekontaminacija, počev od lične dekontaminacije ljudi i njihove odeće i opreme, pa do dekontaminacije krupnih sredstava i objekata. Da bi se ovo pravilno shvatilo, treba naglasiti da se ovde pod pojmom samodekontaminacije (pored njegovog primarnog značenja koje ne zahteva posebno tumačenje kada je npr. u pitanju lična samodekontaminacija ljudi) podrazumeva sledeće: dekontaminacija predmeta koju organizuju i vrše njihovi vlasnici i proizvođači, odnosno oni kojima ti predmeti služe ili su im dati na korišćenje, upravljanje, čuvanje i sl. Izuzetak može biti samo ako je zbog prirode kontaminanata, stepena ili obima kontaminiranosti neophodna upotreba specijalnih sredstava, opreme i postupaka koje mogu primenjivati samo specijalno opremljene i obučene ekipe i jedinice. To bi bio princip upotrebe (ispomaganja) specijalnih ekipa (jedinica).

Ako se napred navedeni princip organizacije i izvođenja radiološke dekontaminacije usvoji, onda se daljom razradom mogu dati realne konture celovite organizacije rešavanja ove tako važne i složene problematike.

Na osnovu svega izloženog i polazeći od postavke o opštoj i posebnim podelama radiološke dekontaminacije, celovito rešavanje ove problematike, po našem mišljenju, trebalo bi u osnovi da se odvija na sledeći način:

1. Dekontaminacija nepovređenog stanovništva treba da se organizuje i vrši uz doslednu primenu samodekontaminacije pomoću pri-

bora za ličnu dekontaminaciju i raznih drugih sredstava za dekontaminaciju kojima ono raspolaže, koristeći se takođe priručnim i mesnim sredstvima i uređajima kao što su javna (topla i hladna) kupatila, perionice, čistionice itd. u kojima ili na bazi kojih treba formirati dekontaminacione stanice.

Za organizaciju ovih stanica treba zadužiti opštinske i mesne organe i organizacije kojima ta kupatila i druge slične radnje ili preduzeća pripadaju ili koji njima upravljaju.

Dekontaminaciju povređenog ili obolelog stanovništva treba da vrši zdravstvena služba na svojim stanicama za dekontaminaciju i u svojim ustanovama (bolnicama, stacionarima i sl.).

2. Dekontaminaciju životinja organizuju i vrše njihovi vlasnici i odgajivači po uputstvima i pod nadzorom veterinarske službe.

U rejonima u kojima se stoka gaji u velikom broju u poljoprivrednim stočarskim organizacijama treba formirati dekontaminacione stanice, naročito za mlečnu stoku, čijoj dekontaminaciji treba posvetiti posebnu pažnju zbog značaja mleka u ishrani dece, ranjenika, bolesnika i sl.

Dekontaminaciju povređene i obolele stoke vrši veterinarska služba u veterinarskim ambulancama, bolnicama i drugim mestima gde je takva stoka smeštena.

3. Dekontaminaciju ljudske i stočne hrane, odnosno proizvoda biljnog, životinjskog i drugog porekla koji služe za ishranu ljudi i stoke i druge ljudske potrebe, organizuju i vrše radne organizacije koje se bave njihovom proizvodnjom, preradom i prometom. Ove organizacije mogu formirati svoje posebne ili zajedničke ekipe i stanice za dekontaminaciju, kako bi se ova inače veoma delikatna i komplikovana vrsta dekontaminacije što brže i stručnije obavlja.

Ova dekontaminacija se vrši po uputstvima i pod nadzorom odgovarajućih stručnih službi — poljoprivredne službe za zaštitu bilja i stoke, zdravstvenih, veterinarskih i drugih organa odgovornih za kontrolu kvaliteta životnih namirnica.

4. Dekontaminaciju vode, u prvom redu vode za piće i za pojenje stoke, treba da organizuju i vrše opet sami proizvođači, odnosno ustanove i organizacije snabdevači vodom, koji su i inače odgovorni za kvalitet vode (uprave gradskih i drugih vodovoda i sl.). Oni treba da raspolažu odgovarajućim uređajima i sredstvima za dekontaminaciju i kontrolisanje stepena kontaminacije, odnosno efikasnosti izvršene dekontaminacije. Za naselja u kojima nema uređenih vodnih objekata dekontaminaciju vrše sami korisnici primenom onih uprošćenih metoda koje ipak daju dovoljno čistu i pitku vodu.

5. Dekontaminaciju odeće, obuće i druge lične opreme i pribora stanovništvo takođe treba da obavlja samo, koristeći se vlastitim sredstvima, a gde postoje uslužne — servisne perionice, čistionice i drugi izvori tople vode i pare, treba formirati dekontaminacione stanice, na istom principu u pogledu zaduženja za njihovu organizaciju kao i stanice za dekontaminaciju ljudstva.

Svuda gde postoje mogućnosti za to, treba formirati kombinovane dekontaminacione stanice, u kojima bi se vršila i dekontaminacija ljudstva i odeće. Za ovo se takođe mogu adaptirati odgovarajući komunalni

i drugi objekti i uređaji, koje, pored ostalog, treba snabdevati i opremom za kontrolu stepena kontaminiranosti, odnosno kvaliteta izvršene dekontaminacije ljudi i opreme.

6. Dekontaminaciju izvesna, posebno važnih delova zemljišta i objekata (npr. saobraćajnica) organizuju i vrše njihovi vlasnici, odnosno radne organizacije kojima su oni povereni na iskorišćavanje, upravljanje ili održavanje kao što su: uprave i preduzeća za puteve, uprave za parkove i gradsko zelenilo, komunalna preduzeća za održavanje čistoće ulica i trgova, uprave pijaca itd.

Kako je za ovu vrstu dekontaminacije potreban veći broj tehničkih sprava sa motornom vučom i pogonom, sa kojima se uvek ne raspolaze u dovoljnoj meri, pri formiranju ekipa i jedinica ove sprave i stručno ljudstvo treba ravnomernije rasporediti kako bi se obezbedilo njihovo racionalno i maksimalno iskorišćavanje.

7. Dekontaminaciju stambenih, proizvodnih, poslovnih i drugih objekata i prostorija organizuju i vrše njihovi korisnici i posebne ekipe i jedinice sastavljene od obveznika civilne odnosno narodne odbrane, koje su opremljene potrebnom tehnikom i sredstvima. Od tehnike za ove ekipe najvažnije su građevinske i vatrogasne mašine i sprave, bez kojih bi teško bilo vršiti dekontaminaciju većih i visokih građevina. Zato će ovde biti neophodna najtešnja saradnja građevinskih i vatrogasnih organizacija sa svim njihovim tehničkim kapacitetima i kvalifikovanim ljudstvom.

8. Dekontaminaciju tehničkih sredstava (pogonskih i drugih mašina i uređaja) organizuju radne organizacije, a vrše je njihovi korisnici. Često će biti potrebno formirati posebne ekipe za opsluživanje određenih vrsta tehničkih sredstava, sastavljene od kvalifikovanog i za dekontaminaciju obučenog ljudstva. Prema prilikama i potrebama, mogu se obrazovati i stanice za dekontaminaciju.

9. Dekontaminaciju saobraćajnih sredstava treba organizovati na istim principima kao i tehničkih sredstava, s tim što je ovde posao olakšan zahvaljujući pokretljivosti vozila i postojanju posebnih prostorija za njihov smeštaj i održavanje (garaže i radionice), koje treba adaptirati za dekontaminacione stanice. Međutim, ovde je odgovornost utoliko veća što su vozila pretežno namenjena javnom saobraćaju.

U vezi sa formiranjem ekipa za dekontaminaciju treba istaći da se one predviđaju istovremeno za sve tri vrste dekontaminacije — radio-lošku, biološku i hemijsku, jer su tehnička sredstva, a često i postupci, uglavnom isti ili slični, pa ih može obavljati isto osoblje. Ovo najčešće važi i za dekontaminacione stanice.

Što se tiče odgovornosti društveno-političkih zajednica, odnosno njihovih organa, to bi trebalo regulisati na sledeći način:

— opštinske skupštine, odnosno njihovi organi za civilnu (narodnu) odbranu organizuju i formiraju jedinice civilne (narodne) odbrane i u njihovom sastavu ekipe (delove) za dekontaminaciju, kao i javne dekontaminacione stanice; mobilišu sve navedene izvršioce dekontaminacionih poslova i koordiniraju njihov rad. One treba da budu odgovorne za celokupnu organizaciju, pripreme i sprovođenje zadataka dekontaminacije na svojim teritorijama;

— sreski i pokrajinski organi (gde postoje) koordiniraju rad područnih opštinskih organa na izvođenju dekontaminacije na njihovim

Mogućnosti i putovi kontaminacije biosfere kod proizvodnje i korištenja izvora nuklearne energije

G. Žarković

Unazad posljednjih 20 godina čovječanstvo je na svom putu mirnodobskog ili ratnog korištenja nuklearne energije ogromno po visilo količinu radioaktivnih materija na zemlji prilikom čije proizvodnje, transporta, upotrebe ili dispozicije postoje mnogobrojne mogućnosti za kontaminaciju biosfere, naše prirodne životne sredine. Primjera radi sjetimo se vremena pred 20 godina kada je 1 gr. radiuma smatran za veliku količinu radioaktivnog materijala. Danas znademo da se prilikom nuklearnih eksplozija samo na svaku kilotonu eksplozije stvara nešto ispod 0.5 kilograma fisionog materijala koji je po radioaktivnosti ekvivalentan stotini hiljada tona radiuma. Kontinuirana proizvodnja ogromnih količina radioaktivnosti se zbiva u svakom nuklearnom reaktoru koji je u radu.

U ovom referatu će biti dat pregled najvažnijih faza proizvodnje, i korištenja izvora nuklearne energije pri kojima može doći do kontaminacije biosfere, kao i pregled općih zakonitosti kruženja umjetno proizvedenih radionuklida koji dospiju u biosferu.

1. Nuklearne goriva

Stalno povećanje broja nuklearnih reaktora i proizvodnja nuklearnog oružja su doveli do naglog razvitka proizvodnje i prerade nuklearnih sirovina. Proces proizvodnje i korištenja nuklearnih goriva je šematski prikazan na sl.1. Čitav proces počinje u rudnicima urana. Poslije procesa kopanja, usitnjavanja i koncentracije, sirovina se upućuje u rafinerije u cilju dobivanja metaličkog urana ili oksida koji bi se mogao koristiti u reaktorima. Iz rafinerija u ranove sirovine se upućuju ili na preradu gdje se gasnom difuzijom iz UF₆ dobiva zelena sol UF₆. Tim postupkom se povećava sadržaj U-235 u prirodnom uranu do željenog procenta koji prema namjeni goriva može ići i do 90%. U-235 se zatim šalje u pogone za izradu elemenata goriva saobrazno vrsti reaktora ili nuklearnog oružja za koje će se upotrijebiti. Uran kao metal ili u raznim spojevima ili legurama dobiva zaštitni omot od aluminijuma, cirkonijuma, nehrđajućeg čelika ili raznih legura i daje mu se oblik kakvog traži projektant reaktora. Nuklearni reaktori se koriste za produkciju topline, radioaktivnih izotopa, plutonija, ili za naučno istraživačke svrhe po pulacije. Nakon izvjesnog vremena nuklearno gorivo se mora ukloniti iz nuklearnog reaktora i uputiti na regeneraciju kako bi se uklonili neželjeni nuzprodukti, a ekstrahovao neutrošeni uran i plutnij-239. To se vrši hemijskim putem i tom prilikom se mora riješiti pitanje dispozicije ogromne količine radioaktivnih otpadaka od kojih se danas samo mali dio može korisno upotrijebiti. U reaktorima za proizvodnju radioizotopa se planski stvaraju željeni radioizotopi pomoću izlaganja stabilnih izotopa struji neutrona. U svakoj fazi procesa proizvodnje i korištenja nuklearnih goriva nailazimo na posebne higijenske probleme koji će biti ovdje ukratko opisani.

filtri može doći i do zagadjivanja okoline uranovom prašinom
2.4. Izotopsko obogaćivanje je složeni postupak kome je svrha da se u uranu poveća postotak U-235 koga normalno ima samo 0,7%. Obogaćivanje se vrši u posebnim fabrikama pomoću gasne difuzije. Zelena sol UF₆ se najprije prevodi u uranov heksa fluorid UF₆ koji u prolazu kroz mnogobrojne porozne kaskade na svakom kořaku difuzije daje uran nešto bogatiji u U-235. Obogaćeni uran se šalje u pogone za izradu elemenata goriva ili za gradjenje nuklearnog oružja, dok se prirodni uran u pogodnoj formi za sada diponira, jer nema mogućnosti za njegovu korisnu upotrebu.

2.5. Elementi nuklearnog goriva, se izradjuju u oblicima koji su potrebni za nuklearne reaktore. U ovoj fazi proizvodnje može doći do požara i eksplozija ili nuklearnih reakcija, što rezultira u kontaminaciji okoline.

Pored urana kao nuklearnog goriva moguće je za istu svrhu koristiti i torium što je od velikog značaja za budućnost, jer njega ima tri puta više u zemljinoj kori nego urana. Proizvodnja toriuma je za sada beznačajna, ali kad se on počne obilno je koristiti kao nuklearno gorivo, to će donijeti za sobom ozbiljnije probleme zbog veće radiotoksičnosti toriuma i njegovih potomaka.

3. Nuklearni reaktori

Nuklearni reaktor je uređaj u kome se određena količina nuklearnog goriva /fisionog materijala/ geometrijski tako raspoređuje da se u njoj - pomoću prikladne ekonomije sa neutronima odvija raspadanje jezgara urana u procesu lančanih reakcija a koje same sebe održavaju.

Nuklearni reaktori služe pretežno za dobivanje električne energije iz toplote koju oni proizvode, ili pak za naučno istraživanje i proizvodnju radioizotopa: kao izvor neutrona i gama zračenja. Raketni pogon.

U Jugoslaviji za sada imamo u radu samo reaktor u Vinčici kod Beograda. U pretstojećih 10-15 godina nije vjerovatno da će se kod nas mnogo povećati broj reaktora, jer u zemlji imamo još znatne neiskorištene rezerve hidroenergije i fosilnih goriva koje se mogu koristiti ekonomičnije i sa manje investicijama. Medjutim, za 15-20 godina, kada se još usavršava i pojeftinjen konstrukcija i eksploatacija reaktora mi moramo očekivati nagli porast takvih uređaja, tako da će oni postati sve važniji objekti kojima se mora voditi računa sa stanovišta javnog zdravlja.

3.1. Vrste reaktora. S obzirom na energiju neutrona reaktore dijelimo na brze /sa energijama većim od 0.1 Mev/ i termalne /energije neutrona sa nekoliko stotinki jednog elektron volta/. U termalnim reaktorima moramo koristiti moderatore, tj. materijale za usporavanje struje neutrona. Većina reaktora u svijetu je tipa termalnih reaktora. Brzi reaktori imaju izvjesne prednosti jer ne zahtijevaju upotrebu moderatora, te im jezgra može biti znatno manja, nego kod termalnih reaktora. U njima se može do većeg stepena iskorištavati nuklearno gorivo i može se proizvoditi plutonij-239 iz urana-238, ali je kod njih velik problem u izboru sretstava za hladjenje.

Najčešći tipovi termalnih reaktora su prikazani šematski na sl. 2.

Reaktori koji se hlade i moderiraju sa lakom vodom su prikazani na sl. 2/a. Voda u primarnom sistemu za hlađenje reaktora se nalazi pod visokim pritiskom i pri prolazu kroz reaktor preuzima njegovu toplinu koju zatim predaje u izmjenjivaču topline sekundarnom sistemu i pumpa se natrag u reaktor. U izmjenjivaču topline se stvara para koja u turbogeneratoru proizvodi električnu energiju. Sistem izmjenjivača topline se koristi radi toga da bi se spriječilo širenje radioaktivne kontaminacije za slučaj da fisioni produkti prodru iz gorišta u primarni sistem hlađenja. Reaktor sa kipućom vodom je sličan ovom reaktoru /sl. 2/b/ samo što se u njemu dozvoljava da voda ključa i stvara se para koja ide direktno u turbogenerator.

Reaktor koji se hladi natrijumom, a moderira grafitom je prikazan na sl. 2/c. U njemu se za hlađenje koristi tekući natrij u temperaturnom pojasu od otprilike 98-880°C bez upotrebe pritiska. U prolazu kroz jezgru reaktora natrij postaje jako radioaktivan zbog stvaranja Na-24. Mana ovog reaktora je u opasnosti koja bi nastupila ako bi došlo do kontakta između natrija i vode. Opasnost se smanjuje konstrukcijom trostrukog sistema cirkulacije u kom se toplina iz primarnog kruga kruženja natrija predaje sekundarnom, a iz ovog se prenosi na vodu tek u tercijarnom krugu.

Reaktor hlađen gasom je prikazan na sl. 2/d. Za hlađenje obično se koristi ugljendioksid koji prenosi toplinsku energiju iz reaktora direktno na turbogenerator.

Kao moderator u reaktorima se može također upotrebljavati teška voda koja ima tu prednost što skoro nikako ne absorbuje neutrone, te radi toga omogućuje odličnu ekonomiju neutrona i upotrebu prirodnog urana kao goriva. U novije vrijeme je sa uspjehom isprobana upotreba organskih materijala kao moderatora i sredstava za hlađenje.

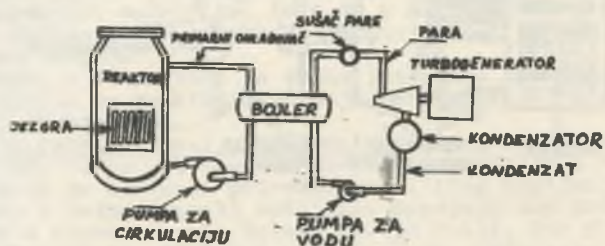
Kontaminacija sredine i reaktora

3.2. Radioaktivni otpatci iz reaktora pod normalnim uslovima rada reaktora se ne bi smjeli javljati, ako je reaktor dobro konstruisan, mada su reaktori u početku njihove proizvodnje predstavljali izvjesnu opasnost i u tom smislu. Tako npr. istraživački reaktori moderirani grafitom i hlađeni vazduhom u Oak Ridge i Brookhaven-u u SAD proizvode radioaktivni argon-41 /poluživot 1,8 sati/ koga kroz visoki dimnjak ispuštaju neposredno u atmosferu. Reaktori hlađeni vodom bez sistema izmjene topline djeluju neutronima na nečistoće u vodi stvaraju seriju radioaktivnih izotopa u njoj.

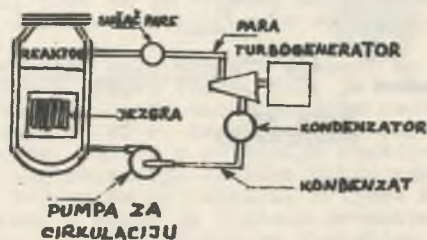
Kod rada na nuklearnim reaktorima ima dosta operacija u kojima se stvaraju kontaminirani otpatci /npr. prodiranje vode iz primarnog sistema hlađenja, zamjena raznih dijelova, itd/ Za tretiranje ovakvih otpadaka i dekontaminaciju zagadjenih površina i materijala treba da su predviđeni odgovarajući uredjaji.

3.3. Radioaktivni efluenti kod kvarova i akcidenata na reaktorima predstavljaju znatno veću opasnost za okolicu. Uzroci kvarova i akcidenata na reaktorskim uredjajima mogu biti mnogo brojniji, a znatno se razlikuju prema vrsti i konstrukciji reaktora. Kod ocjene projekta i davanje dozvole za štavljanje e u upotrebu nekog nuklearnog reaktora nadležni organi kont-

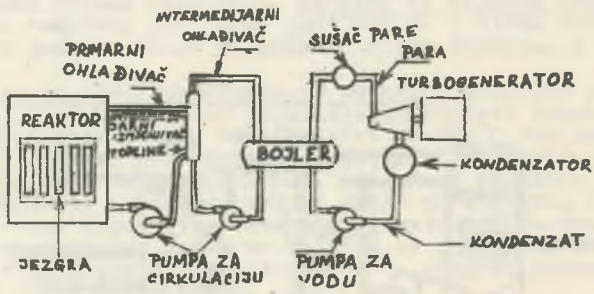
Slika 2a



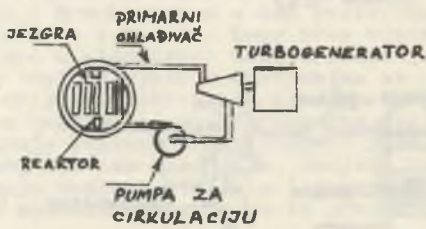
Slika 2b



Slika 2c



Slika 2d



role vrše analizu sa stanovišta "maksimalnog vjerovatnog akcidenta", tj. događaja koji bi proizveo maksimalno oštećenje reaktora, a ocjenjuje se kakve bi bile posljedice takvog akcidenta.

Najvažniji tipovi akcidenta koji bi doveli do topljenja jezgre reaktora i prodora radioaktivnosti u okolinu mogu biti: - pretjerana reaktivnost, te gubitak ili zastoj u strujanju sretstava za hladjenje. Do ovih akcidenta može doći zbog kvarova u pokretanju kontrolnih štapova /pomoću kojih se absorbira višak neutrona/, ili zbog kvarova na pumpama, nedostataka struje ili naglog dodavanja hladne vode sistemu za hladjenje. Kod izgradnje savremenih reaktora poklanja se krajnja pažnja izradi materijala tako da se spriječe kvarovi. Međutim, za svaki slučaj zgrade reaktora zatvaraju u čelične sudove koje se mogu hermetiski zatvoriti, tako da u slučaju nekog udesa - ispušteni radioaktivni materijal ostane unutar zgrade i ne kontaminira okolinu.

Usprkos toga, u literaturi je objavljeno više akcidenta koji su se desili na reaktorima i koji su doveli do radioaktivnog zagađenja okoline.

Akcident na reaktoru br.1 u Windscale-u u Engleskoj desio se oktobra 1957. To je bio reaktor moderiran grafitom i hladjen vazduhom koji je koristio prirodni uran. Zbog topljenja jezgre reaktora i nedostatnosti zaštitnih uređaja tom prilikom je prodrlo u atmosferu oko 20.000 kirija I-131, 600 C cezija -137, 80 C stroncija-89 i 9 C stroncija-90. Pažljivim naknadnim ispitivanjem je utvrđeno zašto je došlo do pregrijavanja. Uпотреba uranovog oksida umjesto metaličkog urana bi na vodno bila smanjila njegovu zapaljivost. Radiojod kao najvažniji kontaminant je prodro iz jezgre reaktora i bio bi zadržan da je filtracija vazduha dobro funkcionisala. Opasnost od ispuštenog radiojoda nije dolazila toliko do disanja kontaminiranog vazduha koliko od kontaminacije usjeva i mliječnih proizvoda. Koncentracija joda-131 u mlijeku od 0.1 mikrokiri na litru je davala dozu zračenja od preko 20r u štitačači -djece.

Kontaminacija plutonijuma u Oak Ridge u SAD u novembru 1959. - se desila nakon jedne hemijske eksplozije u jednom starom pogonu za hemijsku preradu jako ozračenih goriva i to u času dekontaminacije opreme. Kod eksplozije nije niko bio ranjen, ali se plutonium raširio po zgradi, okolnim ulicama i površi nama drugih objekata, tako da je trebalo mnogo vremena i sredstava da se izvrši dekontaminacija, iako se raspršilo svega-15 gr plutonijuma.

Eksplozija vojnog reaktora male snage u stanici za testiranje nuklearnih reaktora u državi Idaho, SAD, je izazvalo smrt trojice operatora reaktora, a 22 osobe koje su radile na savjetavanju su primile dozu od 27 r. Uzrok nesreće nije utvrđen ali se, po svim znacima, radilo o povećanju reaktivnosti. Stepen radioaktivne kontaminacije okoline nakon udesa ovisio mnogo faktora među kojima su najvažniji: vrijeme koliko je reaktor dugo bio u radu i kakve je fisione produkte sadržavao, priroda akcidenta i stepen oštećenja, količina fisionihih produkata koji prodru u vazduh i meteorološki uslovi koji vladaju u času nesreće.

U cilju ocjene stepena opasnosti i mjera koje treba poduzeti

u slučaju prodiranja radioaktivnih materijala iz reaktora u biosferu Atomska komisija SAD je izdala svoje kriterije koji su prikazani na Tab.1. O kriterijima na kojima se zasnivaju zaključci sa te tabele nema dovoljno iskustva niti eksperimentalnih studija te ih zato treba shvatiti samo kao orijentaciju.

3.4. Kriteriji za lokaciju reaktora. Lokacija nuklearnih reaktora kao i drugih izvora zračenja u odnosu na naselja, vodotoke, komunikacije, itd. je također vrlo važna profilaktička mjera s obzirom na potencijalne accidente i mogućnost ispuštanja proizvoda fisije u okolinu.

"Objekti u kojima se namjeravaju smjestiti nuklearni reaktori, akceleratori, laboratorije za rad sa visokim aktivnostima radioaktivnih materija, postrojenja koja služe za preradu radioaktivnih ruda, nuklearnih sirovina, ozračivnih goriva i fisivnih produkata, kao i objekti za preradu i smještaj radioaktivnih otpadaka, mogu biti izgrađeni samo na takvim mjestima koja po svojoj konfiguraciji, geološkom i hidrološkom sastavu terena, hidrometeorološkim, seizmološkim i drugim uslovima obezbjeđuju zaštitu života, zdravlja i imovine stanovništva u bližoj i daljnjoj okolini. Za lokaciju ovih objekata i postrojenja potrebna je posebna saglasnost".

U našem zakonodavstvu još nisu pobliže definirani uslovi koji bi se smatrali zadovoljavajućim s obzirom na lokaciju pomenutih objekata što bi u slučaju veće aktivnosti na izgradnji takvih objekata stvorilo mnogo glavobolje investitorima i organima nadležnim za poslove sanitarne inspekcije.

U SAD je 1962. Komisija za Atomsku energiju izdala kriterije za evaluaciju prikladnosti predloženih lokacija za izgradnju energetskih i pokusnih reaktora. Polazeći od pretpostavke da se desi "maksimalni vjerovatni akcident" za kalukaciju veličine "zone isključenja" /vidi definiciju u produženju teksta te za izračunavanje veličine slabo naseljene zone i udaljenosti od većeg naselja se koriste slijedeći kriteriji:

a/ Zona isključenja mora biti tolika da neka osoba koja se nalazi na bilo kojoj tački njezinih granica za dva sata neposredno iza ispuštanja pretpostavljenih fisivnih produkata ne primi ukupnu dozu zračenja na čitavo tijelo veću od 25 rem ili ukupnu dozu zračenja na štitnjači veću od 300 rem od ekspozicije jodu.

b/ Zona slabe naseljenosti mora biti tolika da neka osoba koja se nalazi na bilo kojoj tački njezinih spoljnjih granica ako bi bila izložena radioaktivnom oblaku /za čitavo vrijeme njegovog prolaska/ koji bi proizašao od pretpostavljenog ispuštanja fisivnih produkata, ne bi primila ukupnu dozu zračenja na čitavo tijelo veću od 25 rem, ili ukupnu dozu zračenja veću od 300 rem na štitnjači radi ekspozicije jodu.

c/ Udaljenost od većeg naselja mora biti najmanje 1,3 puta veća od udaljenosti vanjske granice zone slabe naseljenosti od reaktora. Kod primjena ovog pravila valja voditi računa i o distribuciji stanovništva unutar tog naselja". Kao "zona isključenja" u okolici reaktora se smatra takvo područje u kome korisnik reaktora može slobodno odlučivati o -

svim aktivnostima uključivo i evakuaciju osoblja ili imovine. Kroz zonu mogu prolaziti putevi, željeznice ili rijeke pod uslovom da ne ometaju normalni rad pogona. Po pravilu je zabranjeno stanovanje u toj zoni.

"Zona slabe naseljenosti" neposredno okružuje "zonu isključenu". Ona mora biti toliko slabo naseljena da budu stvoreni realni uslovi da se stanovništvu koje u njoj živi može pružiti efikasna pomoć u slučaju ozbiljnijeg akcidenta. Kriteriji ne određuju gustinu naseljenosti ni broj stanovnika, jer moćnosti evakuacije ovise o nizu faktora koje treba proučiti u svakom konkretnom slučaju.

4. Radioaktivni izotopi

Nakon otkrića procesa kontrolisane fisije u nuklearnim reaktora stvorila se mogućnost za proizvodnju i sve širu upotrebu mnogobrojnih radio-izotopa.

Radio-izotopi se danas koriste za najrazličitije svrhe u naučnom istraživanju, medicini i industriji. U naučnom istraživanju se najviše koriste kao izvori jonizujućeg zračenja ili kao "obilježeni atomi". U medicini se koriste kao eksterni i izvori zračenja velikog intenziteta ili kao interni izvori zračenja za razne dijagnostičke i terapijske svrhe.

U industriji se radio-izotopi koriste kao izvori gama zraka u industrijskoj radiografiji ili kao "statički eliminatori" za jonizaciju vazduha u blizini nekih predmeta s električnim nabojem, ili kao mjerači i regulatori debljine sloja, kao svjetleći spojevi, itd. Izvori gama zraka ukoliko su dobro zatvoreni ne predstavljaju komunalno-higijenski problem, dok se otvoreni izvori moraju nakon upotrebe pravilno disponirati, o čemu će biti govora u posebnoj točki ovog prikaza.

5. Prečišćavanje ozračenog nuklearnog goriva

Prečišćavanje ozračenog nuklearnog goriva predstavlja najopasniju fazu rada sa nuklearnim gorivima koja bi, u slučaju, ne dovoljne obezbjedjenosti mogla dovesti do ogromne kontaminacije životne sredine. Jezgra svakog reaktora se, nakon što - prodje izvjesni period njegovog rada, mora da bi on dalje uspešno radio prečistiti, ođn. osloboditi stvorenih produkata fisije, iako se u medjuvremenu stvarno utroši samo mali procenat U-235 i samo se mali dio U-238 pretvorio u plutonium-239.

Proces prečišćavanja neutrošenog goriva iz jezgre reaktora je vrlo skup i težak, jer se u njoj stvore ogromne količine radioaktivnog materijala. Tako se npr. u jednom reaktoru od 500 Mwt koji je radio svega 180 dana stvori oko 3×10^5 C Sr-90 i približno isto toliko Cs-137, a da ne govorimo o količinama kratkoživećih radio-izotopa. Da bi se jezgra reaktora oslobodila kratkoživećih izotopa, poslije uklanjanja goriva iz reaktora ono se ostavlja da se "hladi" oko 3 mjeseca, a zatim se upućuje u preradu. Prva faza prečišćavanja se sastoji u otapanju materijala kojim je gorivo vezano. Ako je taj materijal bio aluminijum on se uklanja natrijevim hidroksidom ili natrijevim nitratom. Cirkonij se uklanja otopinom amonijevog fluorida, a nehrđajući čelik /koji se najčešće koristi za vezanje goriva uranovog oksida/ se uklanja sumpornom kiselinom.

U ovim operacijama se stvaraju velike količine jako radioaktivnih otopina, tj. između 2000-6000 litara visoko radioaktivnih tekućina na tonu goriva, već prema postupku koji se potrebno, iako se na taj način ukloni tek 0.04% radioaktivnosti nakupljene u gorivu. Ekstrakcija urana, uranovog oksida i plutonija iz goriva se vrši različitim postupcima, - npr. tributil fosfatom /TBP/ pošto je gorivo prethodno bilo rastopljeno u azotnoj kiselini.

Čitav tehnološki postupak prečišćavanja nuklearnih goriva - je vrlo složen, a zbog ogromnih količina radioaktivnog materijala s kojima se mora tom prilikom manipulirati, sve se mora odvijati telekomandama i što više automatski. U čitavom postupku se ne smije dozvoliti da ni najmanja količina radioaktivnog materijala prođe u okolicu, a isto tako se ne smije dozvoliti kontaminacija radnika u ovim pogonima. Otpad koji preostane iza prečišćavanja - sadrže proizvode fisije u određenim međusobnim proporcijama koje ovise o starosti otpadaka /vidi sl.3/. Radioaktivne otpadne vode se koncentrišu i zatim deponiraju u sudove od nehrđajućeg čelika - ugrađene u beton na terenima određenim za čuvanje tih otpadaka. Dispozicija ovih otpadaka će postajati sve veći problem što se bude više povećavao broj nuklearnih reaktora. Inсталacije za prečišćavanje ozračenih nuklearnih goriva su i zvanredno skupe i rentiraju se samo u slučaju da služe velikom broju reaktora. U SAD na preko 150 reaktora imaju svega 4 /četiri/ centra za prečišćavanje nuklearnog goriva. Od svih vrsta nuklearnih instalacija pogoni za prečišćavanje iskorištenih nuklearnih goriva zahtjevaju najveću pažnju nadležnih organa javne zdravstvene službe i to kako u smislu preventivnog tako i u smislu redovnog sanitarnog nadzora.

6. Eksplozije nuklearnih oružja

Jonizirajuća zračenja nastala iza eksplozije nuklearnih oružja donose sa sobom zdravstvene probleme koji beskrajno povećavaju sve zdravstvene opasnosti koje mogu nastati zbog najgorih kvarova na nuklearnim reaktorima.

Nuklearne eksplozije se mogu izvesti bilo procesom fisije - urana-235 ili plutonija-239 kad se dvije subkritičke mase ovog goriva približe jedna drugoj tako da postanu superkritičke, ili procesom fuzije laganih elemenata kao što su deuterij i tritijum na temperaturi od više miliona stepeni C izazvanih fisijom nuklearnih goriva.

Prilikom fisije nuklearnih goriva umnažanje neutrona se odvija brzinom od 10^{-6} sec, a 0.9% eksplozije se odigrava unutar 0.07 mikrosekundi. 50 posto energije nuklearne eksplozije ima razorno djelovanje, 35 posto se pretvara u toplinu, a oko 15 posto u jonizujuće zračenje. Stepent stvaranja radioaktivnih otpadaka prilikom eksplozije može biti različit. Uzevi s tim govore o "prljavim" ili o "čistim" bombama. Što više energije bombe proizlazi iz fuzije tim manje one stvaraju radioaktivnih proizvoda.

Prilikom eksplozije se stvara oblak usijanih gasova i para, /"vatrena kugla"/ koji se naglo diže u visinu i povlači za sobom u snažnom vihoru razni materijal sa površine zemlje - ili vode. Dijametar vatrene kugle će ovisiti prvenstveno o energiji eksplozije, kao $D = 460 W^{2/5}$ gdje je d = promjer,

a W = energija u kilotonama. Visina do koje će se popeti va trenu kugla ovisi o snazi eksplozije, nadmorskoj visini na kojoj se ona odigrala, kao i o meteorološkim uslovima u času eksplozije. Raspadni produkti bomba ispod 100 kilotona - ispaljenih u srednjim geografskim širinama se zadržavaju unutar troposfere odn. ispod tropopauze, dok detonacija megatonskih oružja po pravilu prodire u stratosferu. Taloženje raspadnih produkata ovih eksplozija se odvija na različite načine. U vezi s tim govorimo o lokalnim i globalnim talozima od nuklearnih eksplozija.

6.1. Lokalni talozi nakon nuklearnih eksplozija

Radioaktivni talozi prilikom eksplozije se stvaraju na različite načine. Najviše radioaktivnih proizvoda su radioizotopi proizvedeni prilikom fisije čije relativne količine su prikazane na sl.4. Većina tih radioizotopa su kratkog života, dok neki od njih kao Sr-90 i Cs-137 imaju znatno duži poluživot. Ako bomba eksplodira blizu zemlje stvoreni neutroni će proizvesti izvjestan broj radionuklida kao što su Na-24, P-32, K-42, Ca-45, Mo-56, Fe-55 i Fe-59. U atmosferi se na isti način takodjer stvaraju veće količine C-14, te tetricium i argon-39.

Radioaktivnost A u bilo kom času t nakon neke nuklearne eksplozije će iznositi /ukoliko je poznata radioaktivnost u nekoj jedinici vremena A_0 /.

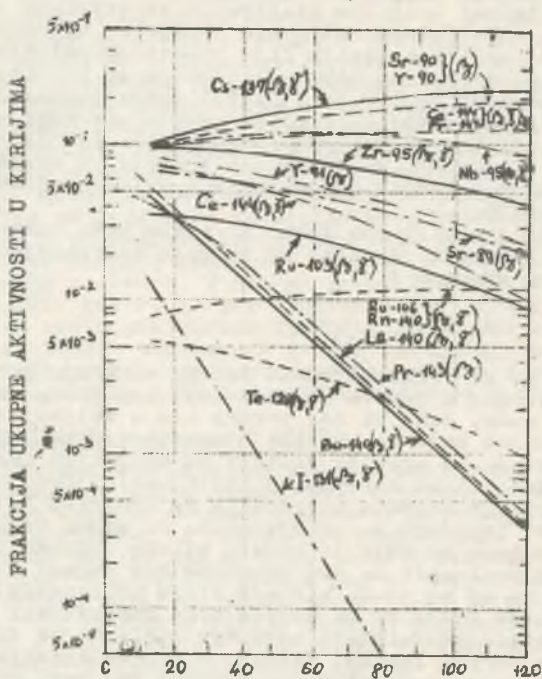
$$A = A_0 t^{-1.2}$$

To znači, da će se radioaktivnost taloga na kraju prvog dana iza eksplozije, u odnosu na aktivnost iza prvog sata, smanjiti oko 20 puta, iako bi taj proces bio u velikoj mjeri u brzom disperzijom koja će ovisiti o meteorološkim uslovima. Lokalni talozi se po pravilu sastoje od krupnijih taloga, dok se globalni talozi sastoje od finih nevidljivih čestica. Prilikom američkih probnih eksplozija na Pacifiku 1954. desio se poznati incident sa urođenicima na otoku Rongelap i 22 japanska ribara na koje je padala bijela radioaktivna prašina koja se naslagala na sve površine kao lagani sloj snijega tako da su se na njemu vidjele stope prolaznika.

Uloženo je mnogo truda da se utvrde neke zakonitosti pomoću kojih bi se moglo predviđati na kakav način će se iza jedne eksplozije širiti lokalni talozi. U pravac širenja i veličinu taloga će uplivisati mnogo faktora kao npr. visina i snaga eksplozije, brzina i pravci vjetrova, oblačnost i precipitacije. U praksi u slučaju nuklearnog rata bilo bi neophodno vršiti lokalna mjerenja o kretanju radioaktivnog oblaka. Kod kilotonskih eksplozija čiji produkti ostaju u troposferi, oblak bi sledio dominantne vjetrove i imao bi više ili manje oblik krastavca. Kod megatonskih eksplozija bi pravci kretanja vjerovatno bili nepravilniji. Udaljenost do koje bi dopirali radioaktivni talozi iz troposfere bi iznosila više stotina, pa i hiljada kilometara.

Ako apstrahiramo posljedice pritiska i topline koje bi izazvale glavninu smrtonosnih oštećenja i povreda samo u relativno uskom području od nekoliko desetaka kilometara od mjes-

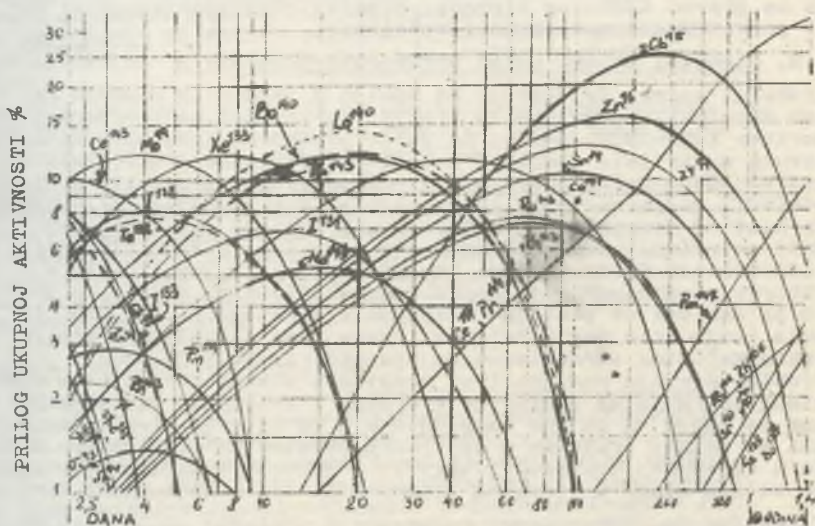
VRIJEME HLADENJA, DANA



Slika 3.

Međusobni odnosi najvažnijih radionuklida u fisionim proizvodima u različitim rokovima poslije prestanka rada reaktora
 Pretpostavlja se da je reaktor radio tokom dužeg perioda vremena i da je pre prestanka rada postignuta približna ravnoteža
 (Glastone S.. 1955. The Effects of Atomic Weapons, USA, E.C.)

VRIJEME POSLIJE FISIJE



Slika 4.

Relativno učešće najvažnijih radionuklida nakon fisije urana-235 sporim neutronima tokom 1,4 godine (Hunter i Balou, 1951, Brzina raspadanja fisionih produkata, Nucleonics, 9:C2)

ta eksplozije, ostalo stanovništvo napadnute zemlje bi bilo - izloženo pretežno opasnostima eksternog zračenja i interne kontaminacije zbog lokalnih nuklearnih taloga. Pored gama zračenja - čiji bi efekti ovisili o primljenoj dozi, oštećenja koja treba očekivati su opekotine kože zbog beta zračenja, te interno zračenje zbog inhalacije i ingestije radioaktivnog materijala. Izgledi za biološko preživljenje stanovništva na napadnutom području u najvećoj mjeri ovise o tom u kojoj mjeri će ono biti zaštićeno od lokalnih nuklearnih taloga. U najužem području napadnutom nuklearnim oružjem nema mnogo izgleda za efikasnu zaštitu ljudi koji se budu nalazili u tom krugu. Medjutim, broj žrtava nuklearnog napada unutar zone djelovanja pritiska i vrućine bi se odnosio otprilike kao 1:4 prema ukupnom broju žrtava od djelovanja nuklearnih taloga na pravcu njihovog širenja, ukoliko stanovništvo ne bi bilo pravovremeno upozoreno i zaštićeno.

6.2. Globalni talozi nakon nuklearnih eksplozija

Globalni talozi se obaraju na zemlju u toku niza mjeseci nakon eksplozija megatonskih oružja. Za eksplozije izvršene u periodu 1958-1960. smatra se da je prosječni boravak radioaktivnog materijala ubačenog u stratosferu iznosio 0.7 - 0.1 - godinu. Zbog dužeg zadržavanja radioaktivnih produkata u atmosferi, među radionuklidima sadržanim u globalnim talozima će biti od prvenstvenog zdravstvenog značaja oni koji imaju duži poluživot. Među njima su od najvećeg značaja slijedeći radionuklidi Sr-90, Sr-89, Cs-137, I-131, Pu-239 i C-14. S obzirom na činjenicu da I-131 ima poluživot od 8 dana, a Sr-89 51 dan oni se pretežno raspadnu u stratosferi. Pu-239 i C-14 imaju vrlo dug poluživot. Prema tome su među stratosferskim talozima zdravstveno najopasniji Sr-90 i Cs-137. Problem širenja radioaktivne prašine u atmosferi i brzine njezinog obaranja na zemlju je bio dugo i svestrano studiran. Danas se znade da se one raspodjeljuju po čitavoj stratosferi, ali se talože pretežno u umjerenim pojasevima i to znatno više u sjevernoj hemisferi, nego li u južnoj. Količina kiše igra veliku ulogu u lokalnom deponiranju tih radionuklida.

Stroncium-90. Zdravstveno najopasniji proizvod nuklearnih eksplozija koji se taloži na zemlju je Sr-90, zbog toga što se akumulira u kostima. Kruženje Sr-90 u biosferi se počelo proučavati još 1953. i danas je najtemeljitiije proučeno. Kretanje Sr-90 u prirodi, u hrani i u ljudskom organizmu slijedi metabolizam kalcija, te se zato i izražava u stroncium jedinicama /l picocurie Sr-90/g Ca/.

Kontaminacija ljudi sa Sr-90 ovisi s jedne strane o stepenu kontaminacije hrane /mlijeka, žitarica, povrća, itd./, sa Sr-90, a s druge strane o dijetarnim navikama stanovništva. Stanovništvo koje troši hranu bogatu sa kalcijem će absorbirati i više Sr-90. Ovaj radionuklid dolazi u hranu bilo putem tla ili putem neposredne depozicije na lišće i cvijeće. Danas su postavljene i formule pomoću kojih se iz podataka o sadržini Sr-90 u hrani može procijeniti koncentracija Sr-90 u organizmu osoba različite starosti, a iz toga se približno može odrediti i doza na kost i koštano moždinu. Komitet stručnjaka U.N

/1962/ je svojevremeno izračunao da je u to doba prosječno-doza iznosila na kompaktnu kost 2.7 mrem/god/pC. U medjuvre-
menu nakon obnove eksperimentalnih eksplozija koje su uslij-
edile te godine, kontaminacija biosfere sa Sr-90 se znatno-
povećala, a to znači da je poraslo i tjelesno opterećenje -
ljudskih, a naročito dječjih kosti sa ovim radionuklidom.

Sr-89 se u prirodi u svakom pogledu ponaša kao Sr-90, ali z-
bog kraćeg poluživota /51 dan/ uglavnom dolazi do čovjeka -
putem folijarne depozicije. On može biti od značaja kao izv-
or zračenja u kostima dojenčadi.

Cezij-137 je pretežno gama emiter. On se u zemljištu čvrsto
veže i ne ulazi u biljke, ali se zato lako absorbira putem-
lišća. U čovjeku dolazi pretežno putem mlijeka. Pored stron-
cija-90, on daje najveću dozu zračenja medju radionuklidima
ubačenim u atmosferu nuklearnim eksplozijama.

Sadržaj ugljika-14 je znatno porastao u atmosferi nakon dos-
adašnjih nuklearnih eksplozija, ali nema većeg značaja za -
zdravlje.

Plutonij-239 se stvara i taloži na zemlju u velikim količin-
ama, ali se čvrsto veže u zemlji i teško se topi, tako da ni
on ne predstavlja posebnu opasnost za ljude.

Jod-131 je od prvorazrednog značaja u troposferskim talozima.
On dospjeva u čovjeka pretežno putem mlijeka i to od krava -
koje pasu kontaminiranu hranu. Izmedju joda-131 u mlijeku i
njegove akumulacije u štitnjači je dokazana čvrsta korelaci-
ja. Preventivne mjere se sastoje u izbjegavanju kontaminira-
ne hrane, a u obzir dolazi i blokada štitnjače običnim jodom
ili kalijevim perhloratom.

7. Kruženje radionuklida u prirodi

Stepen opasnosti po zdravlje zbog ispuštanja odredjenih koli-
čina radionuklida ne ovisi samo o njihovoj radiotoksičnosti-
i količini, nego o njihovoj daljnjoj sudbini u prirodi. Radi
toga je neophodno poznavati zakonitosti koje uplivišu kruže-
nje radionuklida u atmosferi, na zemljište ili u vodotocima-
i moru. Zbog nekontrolisanih nadzemnih probnih nuklearnih ek-
splozija daleko najveća količina do sada stvorenog radioakti-
vnog materijala je ubačena najprije u atmosferu. Dvije treći-
ne od te aktivnosti pada u more, a jedna trećina na zemlju, -
kontaminirajući usput obradivo zemljište i usjeve. Za razumi-
jevanje daljnjeg ciklusa kruženja radionuklida u periodi i -
puteva kontaminacije čovjeka, razmotrićemo ukratko mehanizme
njihovog transporta u atmosferi, vodama, zemljištu i živim -
bićima.

7.1. Širenje radionuklida kroz atmosferu

Radionuklidi ubačeni u atmosferu mogu biti u gasovitom ili -
krutom stanju. Radioaktivni gasovi relativno brzo difundira-
ju u atmosferi, dok taloženje radioaktivnih čestica u veliko-
j mjeri ovisi o njihovom dijametru, visini na kojoj su one -
dospjele u atmosferu i o opštim meteorološkim uslovima koji-
vладаju u tom sloju atmosfere. Sve do pojave probnih nuklear-
nih eksplozija, sva aerzagadjenja koja su se stvarala u na-

seljima zadržavala su se u sasvim prizemnom sloju atmosfere debelom svega nekoliko stotina metara. Radioaktivna zagađena iz nuklearnih eksplozija se ubacuju u više slojeve atmosfere, ali inače slijede iste radioaktivnosti dilucije i taloženja kao i ostale prašine, tj. difundiraju molekularno - ili turbulentno, a procesi njihovog taloženja su uplivisani gravitacijom, impakcijom čestica i dakako precipitacijom kiše i snijega. Ovdje je potrebno jedino da se nešto kaže o mehanizmima transfera radioaktivnih čestica iz stratosfere u troposferu.

Proučavanje mjesta i brzine taloženja radioaktivnih čestica na zemljinoj kugli nakon pojedinih nuklearnih eksplozija je dovelo do niza novih spoznaja o kretanju vazduha u pojedinih slojevima atmosfere, ali postojeće znanje još uvijek ne omogućuje materijal ubačen u gornju atmosferu istaložiti na zemlju. Danas se zna da je srednje trajanje boravka radioaktivnih čestica ubačenih u troposferu oko 30 dana, a njihov oblak da se širi duž geografskog pojasa na kom je bomba eksplodirala. Prosječni boravak radioaktivnih čestica ubačenih u donju stratosferu u tropskom pojasu iznosi 2-3 godine, dok je to vrijeme u polaznim predjelima znatno kraće, tj. oko 8 mjeseci. Ovo se objašnjava činjenicom što se vazduh u tropskim predjelima jako zagrijava i diže se do 30 km u visinu, a odatle se spušta ponovo u troposferu, te se taloži sa kišama. Ovaj proces se po jednoj drugoj teoriji objašnjava diskontinuitetom tropopauze u umjerenom geografskom pojasu i - te radi pojačane turbulencije vazduha krajem zime i početkom proljeća.

7.2. Širenje radionuklida putem zemljišta i hrane

Umjetno proizvedeni radionuklidi koji se na zemlji istalože iz atmosfere mogu se direktno deponirati na usjeve /foliarnu a depozicija/, te tako direktno ili kroz produkte domaćih životinja dospjeti u čovjeka, ili se talože u zemljište, pa tek iz njega ulaze u biljke i zatim u domaće životinje i ljude.

Opasnost za čovjeka od određene količine dugoživećih radionuklida koji se istalože na zemlju ovisi o ponašanju tih radionuklida u zemljištu, a naročito o tome da li će oni ostati i na dometu korjenja biljki. Proces prodiranja različitih radionuklida kroz zemljište različitog sastava, različite važnosti i raznog pH, još nije dovoljno proučeno. Brzina prodiranja nekog jona u zemljištu ovisi o njegovoj valenciji, ali i o drugim faktorima. Divalentni kation će se brže adsorbirati nego monovalentni, ali je utvrđeno da se monovalentni Cs-137 ipak brže veže u zemljištu nego li divalentni Sr-90 i to zato što je cezij uopće rjeđi u zemljištu od stroncij.

Sr-90 se u toku prvih godina iza depozicije na tlo zadržava u gornjih desetak centimetara zemljišta. Neke studije na terenima visoke vlažnosti su pokazale da Sr-90 prodire oko 1.1 - 1.3 cm na dan na zemljištu umjereno visoke sposobnosti izmjenjivanja jona, tako da može u godini dana da se proširi i do 5 m., odn. dok ne izgubi svoju radioaktivnost i do 200 m. Dakako pod uplivom kiše i vjetrova može doći do redi

stribucije radionuklida oboreni na zemlju. Resorbicija radionuklida iz zemljišta u bilje ovisi o fiziološki tog bilja. Radionuklidi slijede u biljkama normalni metabolički put svojih stabilnih izotopa iako je utvrđeno da biljke i životinje posjeduju sposobnost razlikovanja između izotopa istog elementa. U vezi s tim je proučen problem faktora diskriminacije prema radionuklidima.

Radioaktivne prašine istaložene na lišću bilja dospjevaju direktno u organizam životinja koje se hrane tim biljem. Tako je folijarna depozicija I-131 najvažniji način kako on prodi re u lonac hrane. Čak je i Sr-90 u godinama probnih nuklearnih eksplozija kao i 1963. i 1964. dospjevao u mlijeko prvenstveno folijarnom depozicijom, a manje absorbcijom kroz korjenje biljki.

Metabolički transport radionuklida unutar biljaka, životinja i čovjeka je također od značaja za razumjevanje stvarnih oštećenja koja proizlaze iz kontaminacije biosfere radionuklidima. Studirajući međusobni odnos količine Sr-90 i kalcija u prethodnoj i kasnijim karikama ciklusa kruženja radionuklida kroz pojedina živa bića, utvrđeno je postojanje pomenutih faktora diskriminacije. Za čovjeka je vrlo povoljna okolnost što stopa resorbicije Sr-90 u odnosu na kalcij u kostima uspoređeno sa odnosom Sr-90 u mlijeku iznosi 0.25 do 0.30. Opća šema metaboličke diskriminacije Sr-90 na 1 gram kalcija pod pretpostavkom da počnemo sa 1 pC Sr-90 izgleda otprilike ovako:

1 pC	1 pC	0.13 pC	0.032 pC	odn.
tlo	_____ biljka	_____ mlijeko	_____ ljudska kost	
1 pC	1 pC	0,25 C		
tlo	_____ biljka	_____ ljudska kost		

Cezij-137 u zemljištu čvrsto veže sa mineralima iz gline i - slabo se absorbira putem korjena. Kod folijarne depozicije - on slijedi metabolički put kalija, ali faktori diskriminacije između ova dva elementa u raznim biljkama i životinjama nisu dovoljno proučavani.

7.3. Širenje radionuklida u akvatičkoj sredini

Na kretanje radionuklida koji dospjevaju u akvatičku sredinu djeluje niz fizikalnih, hemijskih i bioloških procesa. Zahvaćeni rječnim ili morskim strujama radionuklidi se kreću u odredjenom pravcu i pri tom podliježu molekularnoj i turbulentnoj difuziji. Ako su u dodiru sa nekim materijalom suspendiranim u vodi ili su i sami netopivi radionuklidi se talože na dno. Radionuklidi mogu biti absorbirani od planktona u vodi i zajedno sa njim preći u više organizme. Ukoliko ti organizmi uginu, radionuklidi zajedno s njima padaju na dno i tamo ulaze u novi lanac hrane, a mogu biti i izvučeni iz akvatičke sredine i kontaminirati čovjeka, npr. putem kontaminirane ribe, školjki i ostale hrane porijeklom iz mora.

Fitoplankton posjeduje ogromne sposobnosti da koncentriše u-

sebi određene elemente, naročito u slatkim vodama. Faktor koncentracije za izvjesne elemente može iznositi više hiljada. Na taj način radionuklidi koji su bili razrijeđeni u akvatičkoj sredini mogu ponovo stići do čovjeka u vrlo koncentrisanoj formi. Fitoplankton koncentriše Zn-65, Co-57, Co-60, Fe-55 i Mn-54 u većoj mjeri nego ostale produkte fisije. Putevi pojedinih radioelemenata kroz lanac hrane su studirani, ali još uvijek ne dovoljno da bi se mogla vršiti kvantitativna predviđanja o njihovom kretanju. Značaj ciklusa kretanja pojedinih radionuklida ovisi o vrsti hrane iz mora ili rijeka za koje su ljudi zainteresovani, te o količinama u kojima se ona troši.

U vodotocima dolazi do relativno brzog miješanja ispuštenih radionuklida sa vodom. Suspendovana glina i pijesak vežu znatan dio otopljenih radionuklida, a tako djeluju i riječna flora i fauna.

S obzirom na mogućnost da se najdublje prodoline oceana iskoriste za dispoziciju dugoživećih visoko radioaktivnih otpadaka mnogo su studirani procesi miješanja između pojedinih slojeva mora. Najveći dio /75%/ oceanske vode predstavlja hladna voda temperature 1-4 °C sa salinitetom od oko 3.47%. Između dubokih i površinskih voda postoji jedna intermedijarna zona /"termoklima" ili /"piknoklima"/, koja ograničava da će se usjeci dublji od 7 km na dnu oceana /ima ih oko 19/ moći koristiti za deponiranje dugoživećih radioaktivnih otpadaka.

Od posebnog interesa je kretanje radionuklida u obalnim vodama i na ušću rijeka, jer je tamo akvatički život obilatiiji. Koliko god je dosadašnje znanje o sudbini radionuklida u akvatičkoj sredini oskudno, jasno je da se ovdje u prirodi ne smije koristiti kao ambijent za dispoziciju dugoživećih radionuklida putem difuzije, te da postoji ozbiljna potreba za zaštitom vodnih rezervi od radiokontaminacije uz odgovarajuću nacionalnu i internacionalnu kontrolu.

Tabela 1.

Kriteriji za oštećenje ljudi i mjere zaštite kod reaktorskih
akcidenata

Kriteriji	Ispuštanje svih proizvoda fisi- je C-sec/m ³	Ispuštanje vol atilnih proizv oda fisije C- ec/m ³
<u>Kategorija:</u>		
A. Smrtna eksplozija	400	350
B. Bolest je vjerovatna	400-90	350-80
C. Bolest se ne očekuje, ali će biti troškova	90-10	80-10
D. Neće biti ni oštećenja ni troškova	10	10
<u>Mjere zaštite:</u>		
I Neophodna je hitna evaku acija /unutar 12 sati/	0.2 10 ⁻²	0.1 ⁴ 0.1
II Neophodna je evakuacija		
III Neophodne su restrikcije u upotrebi zemljišta, pri vremena evakuacija, ogra ničenje rada van kuće	10 ⁻² -10 ⁻³	0.1-10 ⁻²
IV Vjerovatno je potrebno, u ništavanje usjeva u po ljima, te ograničenje poljoprivredne upotre be zemljišta u prvoj godini	10 ⁻³ -10 ⁻⁴	10 ⁻² -10 ⁻³

Ukoliko ljudi nemaju zadovoljavajuća skloništa

Literatura za dopunsko čitanje

1. American Public Health Ass /1958/: Public Exposure to Ionising Radiations, New York, The Am. Publ. Health Ass. - Inc.
2. Barnse D.E., Taylor D. /1958/: Radiation Hazards and Protection, London, Georg Newnes Ltd.
3. Blatz Hanson /1959/: Radiation Hygiene Handbook, New York Toronto, London, McGraw-Hill.
4. Blifford I.H.L.B. Lochard i drugi /1952/: On the National Radioactivity of the Air, Naval Res. Lab. Rep. 4036.
5. Eisenbud Merrill /1963/: Environmental Radioactivity, New-York, Toronto, London, McGraw-Hill Book Co.
6. Glasstone S. /1957/: The Effects of Nuclear Weapons, Washington DC. USAEC.
7. Gorodinskij S.M., Parhomenko G.M., Tarasenko N.Ju./1962/: Radiacionaja Gigiena /Tom I/, Moskva, Medgiz.
8. Kenny A.W. /1962/: Sanitary Engineering Aspects of Nuclear Energy Developments Bull. Wld. Hlth. Org. 26, 475 - 494.
9. Krotkov F.G. redaktor /1963/: Problemi radiacionnoj gigije ni, Moskva, Medgiz.
10. Lindell Bo, Dobson R.L./1961/: Ionising Radiation and Health, Geneva, World Health Organisation.
11. Marei A.N. /1962/: Radiacionnaja Gigiena, Tom II. Komuna ljnaja Gigiena, Moskva, Medgiz.
12. Medical Research Council /1960/: The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, London, Her Majesty's Stat Office.
13. Shultz V. and Klement A.W. /Editors//1963/: Radioecology New York and Washington D.C., Reinhold Publ. Corp. and - The Am. Inst. Biol. Sciences.
14. United Nations /1958/: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, New-York off. Record, Supl. No. 17/A-3838/.
15. Uprava za civilnu zaštitu DSNO /1963/: Radioaktivnost živ otne sredine u Jugoslaviji, /podatci za 1961, 1962 i 1963 g./, Beograd, BSI0.

Problem kadrova za službu dekontaminacije

V. Gajić, Z. Đukić

I

Obim radiološke kontaminacije u ratnim uslovima može biti - izvarnedno veliki. Kontaminacijom može biti zahvaćena čitava državna teritorija i to u vrlo kratkom vremenskom intervalu. Pošto kontaminacija, po pravilu, predstavlja veliku - pretnju stanovnicima kontaminiranih oblasti, to se mora vršiti dekontaminacija. Ovo zahtijeva da svaki građanin bude-sposoban da vrši dekontaminaciju, makar u cilju lične zaštite.

Problem kadrova možemo dvojako tretirati. Prema potrebama - koje bi stvorio neki nuklearni rat, bilo bi neiphpdno da - svaki sposobni građanin može vršiti dekontaminaciju. Ali - prema teškoćama i opasnostima koje predstavljaju poslovi u-dekontaminaciji, bili bi neophodni samo što iskusniji, stručniji i uvježbaniji kadrovi. A takvih je uvijek nedovoljno, čak i kada se radi o mirnodopskim oksidanima većih razmjera.

Pa ipak, mislimo da u ovako složenoj i protivurečnim zahtjevima bogatoj situaciji, ne samo moramo, već i možemo naći - rješenje.

Još 1953.godine propisima Sekretarijata za unutrašnje poslove osnovane su jedinice /na teritorijalnom i proizvodnom principu/ koje su, pored ostalih poslova, u slučaju rata trebale da vrše i dekontaminaciju od bojnih otrova.

1962.godine Državni sekretarijat za unutrašnje poslove donosi posebno uputstvo o stanicama za dekontaminaciju, koje treba formirati u preduzećima.

Najzad, ove godine donijet je Savezni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, koji postavlja sasvim određene zadatke i iz oblasti radiološke dekontaminacije. U stvari, ovaj zakon stavlja u dužnost republikama, da se pobrinu za školovanje kadrova za dekontaminacione poslove.

Mada je prošlo nekoliko mjeseci od donošenja ovog zakona, - republike su koliko nam je poznato, malo preduzele na planu školovanja kadrova za ovaj zadatak.

II

Iz razloga čisto praktične prirode izgleda najpogodnija slijedeća kategorizacija područja dekontaminacije:

1. dekontaminacija zdravog i neozlijeđenog ljudstva,
2. dekontaminacija bolesnog ili ozlijeđenog ljudstva,
3. dekontaminacija životinja /posebno zdravih, a posebno bolesnih ili ozlijeđenih/,
4. dekontaminacija odjeće, obuće i predmeta lične upotrebe,
5. dekontaminacija hrane ljudske i stočne,
6. dekontaminacija vode za piće i druge potrebe,
7. dekontaminacija građevinskih objekata,
8. dekontaminacija zemljišta i puteva,
9. dekontaminacija tehničkih sredstava i opreme,
10. dekontaminacija saobraćajnih sredstava.

Postoji velika sličnost između ove podjele i slične podjele koja se vrši kada je riječ o kemijskoj ili biološkoj dekontaminaciji, odnosno kada se radi o uklanjanju bojnih - /ili drugih/ otrova i bioloških agenasa, bilo da su oni primjenjeni kao oružje u ratu ili su u doba mira izbili kao epidemija, odnosno aksidan u pogonima hemijske i druge industrije. To je razlog što se dekontaminacija, bar kada je riječ o ratnim uslovima, postavlja kao ABH, odnosno RBH dekontaminacija. Medjutim, radiološka komponenta ovdje je sva kako najaktuelnija i najvažnija iz mnogih razloga. Zato, - kada je riječ o kadrovima za dekontaminaciju, na prvom mjestu mora se riješiti njihova osposobljenost za radiološku dekontaminaciju. Kada se, odnosno ako se ona savlada, tada je daleko najteži kadrovski zadatak u okviru RBH dekontaminacije obavljen. U okviru jednog ovakvog simpozijuma, ustvari i jeste moguće rješavanje samo ove jedne - R komponente.

Sada dolazimo do osnovnog pitanja naše teme:

- do analize stanja ovih kadrova u našoj zemlji i
- do ispitivanja raznih mogućnosti, gdje će se /i kako/ - potrebni kadrovi za radiološku dekontaminaciju osposobiti.

Kroz školu za obuku kadrova u primjeni radioizotopa, koju ima nuklearni institut "Boris Kidrič", prošao je veliki broj lica. Ona su u toj školi dobijala predznanja neophodna i za dekontaminacione poslove. Doduše, to je nedovoljno i za onakve poslove kakve zahtijevaju mirnodopski aksidantili kontaminacija koju bi stvorio eventualni nuklearni rat. Pa ipak, i ovo školovanje nikako nije za potcjenjivanje sa aspekta ovog referata, pošto je to jedino sistematsko školovanje koje su iz ove oblasti dobili mnogobrojni saradnici svih naših nuklearnih instituta, kao i drugih ustanovak koje primjenjuju u svom radu radioaktivne materijale. Na taj način mi imamo prilično veliki broj kadrova, koje bismo već mogli koristiti bar za neke dekontaminacione poslove. - Ti kadrovi su različitog profila. Tu su i oni sa završenim tehničkim ili tehničkog smjera fakultetima, a i oni sa medicinsko-biološkog smjera fakulteta. Osim toga, ova lica - se nalaze sada na radu u velikom broju ustanova i organizacija širom naše zemlje.

U našoj zemlji postoji samo jedan centar koji ima dovoljno iskusne stručnjake, da se mogu angažovati i pri najtežim slučajevima kontaminacije kod raznih mirnodopskih aksidana. Ti stručnjaci su do sada uvijek pozivani da ukažu pomoć, bilo da se aksidan desio na krajnjem sjeveru ili jugu naše zemlje. To su pripadnici radiološke zaštite iz instituta u Vinči. To ni malo nije neobično, kada se zna da je institut u Vinči ne samo naša najstarija i najsnažnija nuklearna institucija, već da se u njemu nalaze i najjači izvori jonizujućih zračenja u našoj zemlji, a da je svakodnevni rad sa otvorenim izvorima zračenja visokog aktiviteta zahtijevao da se u tom institutu pokloni naročita pažnja radiološkoj dekontaminaciji najraznovrsnijih objekata, pa i ljudi.

Zahvaljujući gore navedenim činjenicama, kao i tomu da se u tom institutu nalazi i škola za obuku kadrova u primjeni ra dioizotopa, ovaj institut postaje centar od posebnog značaja i za dalje školovanje kadrova za radiološku dekontaminaciju. Važno je i to, da se u ovom institutu mogu steći i teoretska i praktična znanja iz ove oblasti, a da učesnici po jedinih kurseva mogu biti ne samo fakultetski obrazovani, već i srednje stručni kadrovi, laboranti i tehničari raznih smjerova, koji su postali vrlo korisni i neophodni saradnici kada se radi o sprovođenju mjera iz radiološke zaštite. Sretna je okolnost što je ovaj institut osposobljen kako za tehničku, tako i za medicinsku radiološku zaštitu. Na taj način dobili smo u nuklearnim institutima, u centrima za zaštitu od zračenja, kao i u mnogim drugim ustanovama, organi zacijama i preduzećima znatan broj za poslove radiološke zaštite osposobljenih ljekara, farmaceuta, veterinarara, biologa, fizičara, hemičara, inženjera tehnološkog, elektrotehničkog i drugih smjerova, kao i odgovarajuće srednje stručne kadrove.

U ovom momentu nije važni znati ni koje su to naše institucije, osim pomenutog instituta u Vinči, sposobne /i u kojoj mjeri su sposobne/ za dalje školovanje kadrova za radiološku zaštitu, odnosno dekontaminaciju. Iz mnogih razloga ne bismo smjeli dozvoliti da u našoj zemlji imamo samo jedno - takvo mjesto za obuku ovih kadrova. Ovo tim prije, što se i u nekim drugim institutima vrši obuka kadrova za neke od poslova radiološke zaštite, mada je tu riječ o čisto lokalnim i rutinskim potrebama tih instituta. Očigledno je da ovi kadrovi / koji su često i izvanredni stručnjaci za neke naučne oblasti/, iako imaju dovoljna teoretska i praktična znanja za dekontaminacione poslove u okviru svog redovnog, uglavnom istraživačkog rada, nemaju dovoljna znanja, a naročito iskustva, kada se radi o dekontaminaciji poslije jednog-udesa. Kada je riječ o udesu nuklearnog rata, tada se radi o kvalitativnom novom, izvanredno visokom afinitetu kontaminacije, za koji ti kadrovi nisu imali iskustva. U slučaju kontaminacije koju stvara atomska eksplozija, radi se i o sasvim drugim postupcima i sredstvima koji se primjenjuju u dekontaminaciji, a primjenjuju se, ne tako strogi kriterijumi, šta je to opasan nivo kontaminacije, kod koga aktivitet se mora vršiti dekontaminacija i do koga aktivitet se mora sniziti. Za takvu, kvalitativno novu situaciju, kakvu stvaraju udesi velikih razmjera ili atomska eksplozija, očigledno je da je potrebna i drukčija obuka kadrova za dekontaminaciju. Zato smatramo da bi takve kadrove trebalo obuhvatiti školovanjem za određene dekontaminacione poslove u situacijama i situacijama koje stvaraju ozbiljni udesi. Na gore izloženi način mi bismo, u prvoj etapi priprema kadrova za poslove radiološke dekontaminacije raspolagali značajnim brojem ljekara, inženjera, farmaceuta, veterinarara, hemičara, fizičara i drugih. Ovaj kadar bio bi tada naš osnovni fond instruktora, koji bi preuzeo na sebe ulogu stvaranja daljih kadrova potrebnih za radiološku dekontaminaciju. Često bi se ti novi kadrovi mogli stvarati i u institutima-

i drugim institucijama u kojima rade ti, nazovimo ih, instruktori.

IV

Osnovni zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja stavlja republikama u nadležnost, pored ostalih poslova, i staranje o osposobljavanju ustanova za vršenje poslova zaštite od zračenja i organizovanje službe za dekontaminaciju kao i organizovanje i sprovođenje obrazovanja i usavršavanja kadrova u oblasti zaštite od zračenja, odnosno kadrova za preduzimanje i sprovođenje poslova dekontaminacije.

Očekuje se, da će republička izvršna vijeća, odnosno njihovi organi koje ovaj zakon obavezuje za neke od mjera i poslova angažovati za ove zadatke neke republičke i druge stručne ustanove i organizacije. Ovdje u prvom redu dolaze nuklearni instituti i republički centri za zaštitu od zračenja.

Prilikom školovanja kadrova, mislimo da bi se oni mogli podijeliti u tri osnovne kategorije, prema sumi znanja i iskustva, prema njihovoj opštoj osposobljenosti za organizovanje i izvođenje dekontaminacije.

U prvu grupu, sa najvišim znanjem i sposobnostima za ove poslove spadali bi oni koji će biti rukovodioci ekipa koje vrše neke dekontaminacione poslove. Njihovo školovanje je najdelikatnije, ali mislimo da bi se, bar dijelom /naprimjer, teoretska znanja/, mogla steći i na odgovarajućim fakultetima, u vidu poslije diplomskih studija ili na sličan način. - No ovi kadrovi moraju biti i iskusni praktičari, a to iskustvo morali bi steći i na nekom poligonu, odnosno u poljskim uslovima, gdje bi se stimulirali uslovi većih radioloških nesreća i primjenila sva ona tehnika pri dekontaminaciji, kakva će se stvarno i primjeniti u slučaju velikih aksidana - ili kod kontaminacija koje stvara atomska eksplozija. Ovaj kadar rukovodioca dekontaminacionih ekipa biće relativno - malobrojan /u odnosu na ostale kadrove potrebne za dekontaminaciju./. Ali od njegovog znanja, snalažljivosti i iskustva zavisice uspjeh dekontaminacije, naročito kada sredstva i opreme ne bude dovoljno.

U drugu grupu spadali bi oni stručnjaci, koji će ulaziti u sastav ekipa za dekontaminaciju. Te ekipe mogu prvenstveno biti organizovane na proizvodnom principu, tj. da svako veće preduzeće, tvornica, rudnik i slično, kao i veća ustanova ili stambena zajednica, imaju svoju ekipu za dekontaminaciju. Rukovodioc ove ekipe je stručnjak koji pripada prvoj grupi, o kojoj je maloprije bilo riječi. Članovi ekipe također moraju biti stručni za ovaj posao, te proći kroz posebno školovanje. Ove ekipe bi radile u uslovima jake kontaminacije, te bi vršile one dekontaminacione poslove većeg obima ili opasnog karaktera, koji se poslovi ne bi smjeli prepuštiti običnim građanima, poput onih koji su ranije bili odabirani za kurseve PAZ-a. Članovi ovih ekipa treba da prođu kroz neki kurs upoznavanja radioizotopa i onih uzroka - koji mogu stvoriti radiološku kontaminaciju jačeg stepena,-

uključujući i atomsku eksploziju. No njihovo osnovno znanje mora biti praktičnog karaktera. Oni moraju poznavati sredstva i postupke za dekontaminaciju i moraju znati rukovanje raznim aparatima, mašinama i uređajima koji se koriste za one dekontaminacione poslove koji će biti najvažniji obzirom na karakter njihovog preduzeća, odnosno ustanove, organizacije i slično. Drugim riječima, cilj ove ekipe biće da sv oju tvornicu, rudnik, ustanovu itd. osposobe za normalno funkcionisanje poslije dekontaminacije.

Kadrova za ove ekipe biće svakako veliki broj. Stoga će zah tijeovati posebnu analizu plan njihovog osposobljavanja za ovaj posao. Vjerovatno će se pokazati, da se za ovu svrhu mora stvoriti šira mreža školovanja, nego kod osposobljavanja rukovodioca ekipa, tj. stručnjaka iz prve grupe. Imati u vidu da će u ovu ekipu ulaziti i oni stručnjaci koji su ina če zaposleni u pogonima koji imaju sličnosti sa dekontaminacijom. Tu mislimo na parne perionice rublja, hemijsko čišćenje odjeće, parna javna kupatila i slično. Ovi pogoni mogu se koristiti i za radiološku dekontaminaciju ljudi, odnosno odječne opreme, pa stručnjake koji ovdje rade treba osposobiti i za dekontaminaciju one vrste koja će se u njihovim pogonima primjenjivati u slučaju aksidana, odnosno kontaminacije uslijed atomske eksplozije.

Najzad, imamo treću grupu kadrova. To su ustvari svi sposobni građani naše zemlje, koje treba poučiti bar za radiološku samodekontaminaciju, odnosno međusobno ukazivanje pomoći kod radiološke kontaminacije. Oni građani koji su prošli kroz savremenu obuku u našoj armiji, svakako da su stekli ova znanja. No velika većina građana, žene i starija, godišta, kao i omladina, takva znanja nemaju. Svi oni treba na kraćim kursevima, da steknu ova znanja, prvenstveno teoretska, a zatim praktična, ali bez ikakvog simuliranja kontaminacije pravim radioaktivnim materijama.

Problem kontaminacije i mogućnosti dekontaminacije u slučaju kontaminacije radioaktivnim padavinama

A. Matijašić

1. Uvod

Nuklearna eksplozija prouzrokuje udarni talas, svjetlosno zračenje, primarno jonizujuće zračenje i radioaktivnu kontaminaciju teritorije nad kojom je eksplozija izvršena.

Oko 85% energije otpada na udarni talas i svjetlosno zračenje. Zahvaljujući tako visokom procentu, osnovni interes se dugo poklanjao efektima vezanim za ovu frakciju ukupno oslobođene energije. Radioaktivnoj kontaminaciji na koju otpada samo 10% energije eksplozije poklanjana je manja pažnja.

Mada nije ispravno razmatrati izolovano učinak pojedinih uništavajućih faktora, ovom prilikom posvetićemo pažnju radioaktivnoj kontaminaciji uz obavezan osvrt na ostale efekte eksplozije kojima ćemo prema potrebi upotpunjavati sliku mogućih situacija.

2. Radioaktivna kontaminacija - rezidualna aktivnost

Sve manifestacije radioaktivnosti koje nastaju jedan minut poslije eksplozije po prestanku dejstva primarnog neutronsog i gama zračenja obuhvaćene su pojmom - rezidualna radioaktivnost.

Rezidualna radioaktivnost potiče od nastalih produkata fisije, od nefisioniranog urana plutonijuma, od radioizotopa nastalih zahvatom neutrona u materijalu od koga je napravljena bomba, kao i od indukovane radioaktivnosti u vazduhu tlu i vodi.

Eksplozija izvršena u vazduhu, kada vatrena lopta ne dodiruje zemlju, nije interesantna sa tačke gledišta radioaktivne kontaminacije jer ne izaziva radioaktivne padavine uzrokom eksplozije.

Minimalna visina kada nuklearna eksplozija proizvodi radioaktivne padavine izražena je jednačinom:

$$R = 55 \cdot P^{2/5}$$

gdje R predstavlja prečnik vatrene lopte mjereno u trenutku drugog maksimuma temperature, a P anaga bombe u KT.

U slučaju kontaktne eksplozije, tj. kada se nuklearna bomba u trenutku eksplozije nalazi na površini zemlje (vode), oko 50% ukupne količine radioaktivnih materijala nastalih prilikom eksplozije taložiće se na površinama čije se granice kreću do nekoliko stotina kilometara od epicentra eks-

plozije. Prilikom ovakve površinske eksplozije, uslijed vi-
soke temperature, isparavaju velike količine zemlje koje -
zatim vakuumom i usponskim strujanjima nastalim u vatre -
noj lopti, bivaju podignute u visinu. Ispareni materijal -
zemljišta brzo se hladi, a čestice zemlje predstavljaju ce-
ntre kondenzacije za fisione produkte i ostale radioaktiv-
ne materijale koji se za njih vezuju. Hladenjem ove smješe
formira se ogromna količina čestica različite veličine ko-
je počinju da se talože brže ili sporije, u zavisnosti od-
njihove veličine . Veći komadi zemljišta izbačeni iz kra-
tera koji načini eksplozija i krupnije čestice, padaju u -
blizini mjesta eksplozije formirajući površinu veoma slič-
nu krugu. Centar ovakvog tzv. "kruga u epicentru" biva obi-
čno nešto malo pomjeren od tačke eksplozije u pravcu duva-
nja vjetra.

Teži materijal taloži se u kratkom vremenskom periodu, ne-
duže poslije jednog časa. U prvom trenutku poslije eksplo-
zije oblak koji nosi radioaktivne čestice vezan je sa dim-
nim stubom, a kasnije se kreće samostalno, na visini od -
6-30 km, u zavisnosti od jačine eksplozije.

Od običnih oblaka radioaktivni oblak se razlikuje ne samo-
visinom na kojoj se kreće, već i svjetlijom, bjeličastom -
bojom; svremena na vrijeme on dobija rozikaste i crvene to-
nove.

Vrijeme za koje ove čestice pristižu na zemlju i horizonta-
lno rastojanje koje prelaze u pravcu vjetra zavisi od maks-
imalne visine koju su dostigle, od njihovih razmjera i od-
karaktera vjetrova koji vladaju u gornjim slojevima atmos-
fere.

Akomulirane doze zračenja za vrijeme od 48 časova poslije-
eksplozije, koje se mogu očekivati unutar ovih površina, bi-
vaju slijedeće:

- Zona vrlo visoke kontaminacije (zona g^{10})
Dimenzije zone: 120 km x 15 km
Intenzitet doze: > 10 R \bar{h} (inicijalna doza koja iznosi -
1/100 dio od doze registrovane 1h poslije eksplozije)
Akomulirana doza: > 2800 R \bar{h} .
- Zona visoke kontaminacije (zona g^3)
Dimenzije zone: 280 km x 25 km
Intenzitet doze: 3 - 10 R \bar{h}

Akumulirana doza: 800-2800 R \ddot{S}

- Zona umjerene kontaminacije (zona $g^{0,3}$)

Dimenzije zone: 800 km x 70 km

Intenzitet doze: 0,3-3 R \ddot{S} /h

Akumulirana doza: 80-800 R \ddot{S}

- Zona slabe kontaminacije (zona g^{+})

Dimenzije zone: 1500 km x 130 km

Intenzitet doze: \leq 0,3 R \ddot{S} /h

Akumulirana doza: \leq 80 R \ddot{S}

Iz ovog prikaza može se sagledati neophodnost preduzimanja različitih mjera zaštite, ne samo u direktno pogođenoj zemlji, već i u nizu evropskih zemalja koje bi u manjoj ili većoj mjeri bile zasute radioaktivnim padavinama.

Pored prikazane situacije moguća je i pojava "vrućih pega" - reona sa povećanim intenzitetom doze zračenja u odnosu na ukupnu radioaktivnost okoline. Ove kritične tačke nastaju u zavisnosti od lokalnih meteoroloških okolnosti (lokalni vjetrovi, olujne kiše, snježne padavine).

3. Zračenje koje potiče od radioaktivnih padavina i njegovo dejstvo na organizam

Na ovom mjestu podsjetićemo se na dejstvo zračenja na organizam što će pomoći da bolje sagledamo probleme o kojima će dalje biti riječi.

Raspad radioaktivnih izotopa prisutnih u česticama radioaktivnih padavina praćen je alfa, beta i gama zračenjem.

Najštetnije dejstvo na živo tkivo imaju alfa čestice, no one se tako brzo apsorbiraju prilikom prolaska kroz vazduh ili tkaninu odjeće da ne predstavljaju opasnost ako se izvori zračenja nalaze van ljudskog tijela i ne dospjevaju u organizam.

Po štetnom dejstvu beta čestice dolaze na drugo mjesto. One imaju nešto veći domet u vazduhu nego alfa čestice, ali i ovo zračenje biva apsorbovano u vazduhu i drugom prirodnom zaštitnom materijalu do tog stepena, da takođe ne predstavlja veliku opasnost.

Gama zračenje, mada u poređenju sa alfa i beta zračenjem - ima manju biološku aktivnost, stvarno predstavlja najveću opasnost po živi organizam zbog njegove izvanredne prodorne moći.

Međutim, ako dođe do unutrašnje kontaminacije organizma, - onda se izloženi biološki red efikasnosti zračenja mijenja. Zbog visoke intenzivnosti alfa raspada, alfa čestice predstavljaju glavni element opasnosti; za njima će slijediti beta čestice, a gama zračenje će imati daleko manji značaj. Prema tome, problem dejstva radioaktivnih padavina na ljudski organizam može se podijeliti na dvije oblasti koje odgovaraju spoljnjem ili unutrašnjem položaju izvora zračenja.

3.1. Posljedice spoljašnjeg, opšteg gama ozračivanja

Spoljašnje ozračivanje prouzrokuju radioaktivni talozi koji se nalaze na površini zemlje ili uopšte bilo gdje van ljudskog tijela.

3.1.1 Period bliskih posljedica ozračivanja

Ovaj period počinje od momenta ozračivanja i završava se približno kroz 6 mjeseci. U ovom periodu zapaža se najveći broj smrtnih slučajeva od ozračivanja, a kod većine preživjelih završava se ciklus razvitka bolesti zračenja - od lakih oblika do akutnih. To je istovremeno i period maksimalne potrebe za službama hitne pomoći. Prilikom planiranja zaštite od radioaktivnih padavina u sistemu nacionalne odbrane, u prvom redu treba da bude obuhvaćena ova faza - faza bliskih posljedica ozračivanja.

3.1.2 Period kasnih posljedica ozračivanja

Ovaj period počinje sa završetkom faze bliskih posljedica i proteže se približno na svo životno doba ljudi koji su preživjeli ozračivanje. Ove posljedice javljaju se u sve većem stepenu u kasnijem dobu u obliku raznih poremećaja i dovešće vjerovatno do izvjesnog skraćivanja životnog vijeka u saglasnosti sa primljenim dozama. Prilikom planiranja odbrane, ove posljedice imaju drugostepeni značaj.

3.1.3 Genetske posljedice

Genetske posljedice rasprostiru se na neograničen broj pokoljenja, počev od prvog potomstva preživjelih. Genetske posljedice sastoje se u povećanom broju mutacija kod slijedećih pokoljenja.

3.2. Dejstvo unutrašnjeg beta i alfa zračenja

Za vrijeme taloženja radioaktivnih padavina, ljudi koji se nalaze izvan zaklona ili u skloništima bez filtrirane-ventilacije udišuće radioaktivne čestice. Doći će također

do kontaminacije otvorenih rezervoara za vodu i izvjesnih količina hrane koja će na taj način postati posrednici - preko kojih će radioaktivne čestice dospjevati u organizam.

Na kraju jedan manji dio čestica koje dospjevaju na zemlju preko rastinja može takođe da dospije u ljudski organizam. Neki radioaktivni elementi se brzo eliminišu iz organizma i ne predstavljaju veliku opasnost. Drugi elementi se akumuliraju u određenim organima prema svojim hemijskim osobinama i izazivaju specifična oštećenja.

Problem unutrašnjeg ozračivanja sa tačke gledišta fizičke hemijske i biološke problematike razlikuje se od problema spoljnog ozračivanja.

4. Razmatranje moguće situacije

Problem protiv atomske zaštite veoma je složen jer obuhvata ne samo ličnu zaštitu od uništavajućih faktora nuklearne eksplozije, već takođe obuhvata efikasnost sistema oba vještavanja kao i mjere ekonomskog, socijalnog i psihološkog karaktera.

Iz kratkog pregleda nastajanja i efekta kontaminacije, može se zaključiti da postoji niz promjenljivih veličina, tj "nulta tačka" eksplozije, trotilni ekvivalent nuklearnog-punjenja, visina i tip nuklearne eksplozije, netačnost bombardovanja, topografske karakteristike reona eksplozije i meteorološki uslovi. Pored ovoliko promjenljivih koje otežavaju planiranje odbrane, može se pojaviti još niz nepredviđenosti koje otežavaju analiziranje neke konkretne situacije. Uopšteno može se očekivati slijedeće:

4.1. Kontaminacija naseljenih teritorija i mogućnost narušavanja službi transporta

Mada se za zaštitu gradskog stanovništva kao jedna od aktivnih mjera zaštite predlaže evakuacija, ovoj mjeri suprotstavljaju se neka ozbiljna ograničenja. Iz postojećih saopštenja o površinama koje mogu da prekriju radioaktivni talozi nastali od eksplozije jedne bombe, očigledno je da u uslovima vjerovatnog onesposobljenja transportnih sredstava i sredstava veze, uslijed eksplozivnih i toplotnih dejstava eksplozije kao i zbog kontaminacije, za evakuaciju biće potrebni dani, a moguće i nedjelje.

Preživljavanje pogodenih zavisiće u znatnoj mjeri od dejstva neprekidnog ozračivanja u toku prvih dana ili nedjelja, kada će radioaktivnost biti najviša.

Borbena dejstva armije u ovakvim uslovima i njene sposob-

nosti manevrisanja biće potpuno paralisane i svedene na -
izuzetni minimum.

4.2. Spasilačke operacije, kontrola oštećenja i mjere de- kontaminacije u reonima zagađenim radioaktivnim pada vinama

Da bi se sprovele ovakve akcije na kontaminiranoj terito-
riji, neophodno je da ljudi izađu iz zaklona ili uđu na -
ovu teritoriju gdje će biti izloženi zračenju. U ovakvim-
okolnostima neophodno je poznavati vrijeme za koje se u -
izvjesnoj mjeri može izložiti zračenju ili vrijeme posli-
je eksplozije kada se bez opasnosti po ljude može ulazi-
ti u kontaminirani reon, znajući dozvoljeno vrijeme zadrž-
avanja u njemu. Problemi iste prirode javljaju se i prili-
kom izvođenja borbenih, frontovskih ili posadinskih opera-
cija u kontaminiranoj zoni, podrazumjevajući i neophodne-
manevarske pokrete preko kontaminirane teritorije.

4.3. Uspostavljanje normalne djelatnosti u kontaminiranim reonima

U ratno vrijeme, najvjerovatnije je da će radioaktivnim -
talozima naročito biti zagađeni reoni koji sadrže opremu-
i izvore za vođenje rata. Mada će privremena evakuacija -
ili boravak u skloništima biti obavezan, pitanje brzog ob-
navljanja proizvodne djelatnosti biće od velikog značaja.

4.4. Pokušaj detaljnijeg razmatranja izloženih situacija- može da ukaže na cjelishodnost preduzimanja ovih ili omih mjera pasivne ili aktivne zaštite

Evakuacija stanovništva ili pokreti vojnih jedinica kao -
mjere zaštite protiv radioaktivnih padavina, očigledno, mo-
guća je samo u tom slučaju ako u blizini pogođenog reona-
postoji teritorija kojoj ne prijete radioaktivne padavine
Pitanje je, koliko je vjerovatno sprovođenje ovakvih mje-
ra. Ako se može od iskustva iz oglednih nuklearnih eksplo-
zija, moguće je u izvjesnoj mjeri predvidjeti situacije -
koje se mogu očekivati.

Na prvom koraku analize, predpostavljajući da je poznato-
mjesto eksplozije, proizlazi da je veoma teško unaprijed-
ukazati na zonu koja će biti zahvaćena radioaktivnim pada-
vinama, i vjerovatno "čistu" zonu koja bi se nalazila u -
blizini. Nemogućnost ovakvog predviđanja vezana je za pro-
mjenljivost meteoroloških okolnosti. Potvrda ovakvom gle-
dištu je slučaj koji se dogodio prilikom probne nuklearne

eksplozije u KASLU, 1954.god. Uslijed neočekivane promjene pravca vjetera, radioaktivne padavine taložile su se u zoni koja je smatrana bezopasnom, a o tome se saznalo tek onda kada je do taloženja došlo.

Sasvim drugačija situacija nastaje kada bi došlo do istovremene eksplozije više bombi. U tom slučaju evakuacija "opasnih zona" kao aktivna mjera zaštite očigledno dozvoljava svoju protivriječnost.

Iz iskustva je poznato da je mogućnost postavljanja meteoroloških prognoza veoma ograničena. Idealan slučaj bio bi postavljanje prognoza na osnovu raspoloživih podataka u momentu eksplozije. U stvarnosti, najbolja moguća prognoza bila bi ona, postavljena nekoliko časova ranije, prije eksplozije. Čak i u ovakvim uslovima jedva da je moguće prognozirati pravac vjetera sa tačnošću većom od približno 10 stepeni. Na rastojanju 160 km od mjesta eksplozije, ovo da je grešku u određivanju mjesta taloženja radioaktivnih padavina koja približno iznosi 25 km. Dalje, podaci o mjestu gdje se dogodila eksplozija vjerovatno bi bili poznati tek poslije nekog vremena nakon eksplozije, a u početku, obavještenja bi imala karakter sličan prvim neslužbenim saopštenjima o dejstvu prirodnih stihija, ili ratnih paničnih vijesti.

Jasno je da će prva saopštenja o eksploziji doći od posmatrača koji će biti znatno udaljeni od epicentra eksplozije. Uzimajući u obzir nedostatak iskustva, napregnutost situacije, i sigurna oštećenja u radu službi veze i transporta može se reći da se u prvo vrijeme poslije eksplozije mogu očekivati greške od 30-50 km, u pokušaju da se utvrdi tačno mjesto eksplozije.

Navedene teškoće i greške dovešće do toga, da će biti prilično nemoguće utvrditi da li će kontaminacija na nekom mjestu biti veća nego na drugom, gdje bi se za nekoliko sati moglo evakuisati u uslovima nuklearnog napada. Očigledno je da je besmisleno izvoditi evakuaciju dok nema pouzdanih podataka o tome da će u određenom rejonu kontaminacija biti neznatna, tj. da će zona biti bezbjedna. Ova situacija će biti donekle razjašnjena u rejonima snabdjevenim dozimetrijskim uređajima koji će registrovati početak padavina, pa i tada, vjerovatno, neće biti poznata situacija u susjednim rejonima. U ovakvim okolnostima, najefikasnije mjere zaštite biće mjere pasivne zaštite, tj. boravak u skloništim do trenutka kada intenzitet doze omogući makar kratko vreme boravak van zaklona.

Potrebe za izvođenjem izuzetno hitnih zadataka koji imaju lokalni ili možda nacionalni značaj, zahtijevaće kratkovre

meni boravak u zonama sa još uvijek znatnim intenzitetom zračenja. Rješenje ovih zadataka biće vezano sa neophodnošću svjesnog ozračivanja određenog broja ljudi, u manjoj ili većoj mjeri, ali to će biti zanemarljivo u odnosu na potrebe djelimične dekontaminacije, brzog uspostavljanja životno važnih komunikacija, osposobljavanja sredstava veze, dopremanja medikamenata kao i za obnavljanje ili uspostavljanje rada energetskih centara.

Navedene neodložne potrebe podrazumjevaju preduzimanje mjera djelimične dekontaminacije. Razmjere dekontaminacije zavisiće od trenutnih okolnosti, i u svakom pojedinom slučaju mogu da variraju u širokim granicama.

5. Mjere dekontaminacije

Dekontaminacijom treba ostvariti uklanjanje radioaktivnih materija sa svih površina i iz svih sredina odakle bi zračenjem mogle da ugroze živote i zdravlje ljudi.

Mjere dekontaminacije uključuju dva problema: prvi - uklanjanje radioaktivnih materija, i drugi - odlaganje ovih materija na takvo mjesto gdje više neće predstavljati opasnost.

Ako se ovom drugom problemu radioaktivnih otpadaka ne pokloni dovoljno pažnje, to će u krajnjem rezultatu sav kompleks preduzetih mjera donjeti ili neznatnu ili gotovo nikakvu korist.

U uslovima nuklearnog rata, kriterijumi za preduzimanje i sprovođenje mjera dekontaminacije veoma su složeni i uključuju čitav niz faktora.

Prvi faktor je svakako kritična doza zračenja koja se apsorbuje u organizmu čovjeka. Polazeći od podatka da doze od 25 do 100 R \bar{h} ne predstavljaju veliku opasnost, čak iako se prime u kraćem vremenskom intervalu možemo uzimajući u obzir drugi faktor - intenzitet doze zračenja, sa približnošću da sastavimo tablicu ograničenog vremena boravka u zonama sa određenim intenzitetom zračenja.

Posredstvom ove tablice i drugim, preciznijim računanjima nije teško utvrditi vremenske norme za sprovođenje pojedinih mjera dekontaminacije. U ratnim uslovima, kontaminiranim zonama smatraju se površine ograničene intenzitetom doze čija vrijednost iznosi $> 0,5$ R \bar{h}/h .

Iza granice ove zone preduzimaju se sve mjere neophodne za ličnu zaštitu ljudi.

Visoko kontaminiranim smatraju se tereni gdje intenzitet doze zračenja iznosi 10 R \bar{h}/h . Iznjeta vremenska ograničenja za određene vrijednosti doze zračenja, istovremeno mogu

da posluže i kao kriterijumi za preduzimanje određenih mjera dekontaminacije.

Tablica 1.

Približno dozvoljeno vrijeme boravka u kontaminiranoj zoni u zavisnosti od intenziteta doze zračenja

Dozvoljeno vrijeme boravka	Izuzetno produženo vrijeme boravka u slučaju neophodne potrebe	Postojeća doza zračenja, R \bar{S} /h
Više mjeseci		0,05
2 dana i 2 časa	8 dana i 8 časova	0,5
1 dan i 7 časova	5 dana i 4 časa	0,8
25 čadova	4 dana	1
5 časova	20 časova	5
2,5 časa	10 časova	10
0,5 časa	2 časa	50
15 minuta	1 čas	100
10 minuta	40 minuta	150
5 minuta	20 minuta	300
3 minuta	12 minuta	500

Doze zračenja od 25 do 100 R \bar{S} izazivaju izvjesne neodređene simptome koje u mnogim slučajevima mogu i potpuno izostati. Ljudi su uglavnom sposobni da obavljaju svoje redovne poslove.

Pošto za ljude koji izvode dekontaminaciju uvijek postoji vjerovatnoća ozračivanja i kontaminacije, ovi radovi izvode se što je moguće kasnije da bi se iskoristio proces prirodnog opadanja radioaktivnosti. Postojeće slučajevi koji će iziskivati neodložnu dekontaminaciju bez obzira na intenzitet doze zračenja. Međutim, očigledno je da se u zonama gdje intenzitet doze prelazi veličinu od 50 R \bar{S} /h ne mogu preduzimati nikakve ozbiljnije mjere, niti bi pak sproveli na dekontaminacija znatnije uticala na smanjenje opšteg fona. Ukoliko ne postoje razlozi izuzetne hitnosti, kao što je rečeno, treba sačekati da intenzitet zračenja opadne do granica koje će omogućiti sprovođenje aktivnih mjera zaštite, tj. eventualnu evakuaciju ili dekontaminaciju. Za približnu ocjenu opadanja radioaktivnosti sa vremenom, služi jednostavno pravilo: svako sedmostruko povećanje vremena poslije eksplozije, dovodi do opadanja radioaktivnos-

ti za lo puta. Tako, prvih 7 časova poslije eksplozije intenzitet radijacije opada za lo puta, poslije 7,7 = 49 časova (približno 2 dana), za 100 puta; kroz 7.7.7 = 343 časova - (poslije 2 nedjelje) - za 1000 puta. Slijedeći zaključak je da će na kraju prve nedjelje intenzitet doze iznositi 1/10 dio intenziteta registrovanog po isteku prvog dana - nakon eksplozije.

Ostali faktori koji utiču na utvrđivanje kriterijuma za uspješnu dekontaminaciju uslovljeni su veličinom površina i brojem predmeta koje treba dekontaminirati, zatim kvalitetom ovih površina, kao i raspoloživim ljudskim i materijalnim sredstvima.

Dalje okolnosti koje diktiraju mjere dekontaminacije odnose se na to, da li se dekontaminacija izvodi unutar kontaminiranog rejona ili poslije izlaska, odnosno prolaska preko kontaminirane teritorije. Obim ovih mjera veoma je elastičan i diktiran je navedenim okolnostima, tako da je riskantno - upuštati se u davanje preporuka koje bi sa izuzetkom apsorbirane doze u organizmu precizirale kriterijume i obim potrebnih mjera.

Odluka o sprovođenju dekontaminacije zavisi dakle od niza okolnosti, a njeno izvođenje skopčano je sa određenim rizikom.

U okviru organizacionih pitanja dekontaminacije, prvo mjesto zauzima detekcija zračenja. Podatak ove službe je da brzo i sa najvećom tačnošću pruži obavještenja o tome:

- da li se može ući u jednu kontaminiranu zonu, i koliko dugo vremena se može boraviti u njoj;
- da li se može izaći van zaklona i eventualno izvršiti evakuacija iz ugrožene zone;
- da li su koža i odjeća ljudi kontaminirane radioaktivnim materijalom;
- da li su kontaminirana prevozna sredstva, pokrivke, predmeti lične upotrebe, mjesto na kome se ljudi trenutno nalaze (skloništa), zatim voda, hrana, medikamenti, sanitet i dr.

Organizacione mjere zavise takođe od toga da li se dekontaminacija izvodi na licu mjesta, tj. u kontaminiranoj zoni - ili po izlasku iz nje.

Dekontaminacija može da bude djelimična ili potpuna. Djelimičnom dekontaminacijom postiže se brzo, no i nepotpuno uklanjanje radioaktivnog kontaminanta. Cilj djelimične dekontaminacije je da se na najbrži mogući način snizi mogućnost interne kontaminacije posredstvom dodira sa zagađenim površinama.

Moguće je dati izvjestan prioritet određenom broju površina

i vrstama predmeta neophodnim za održavanje egzistencije i obavljanje najnužnijih djelatnosti. Prioritetna lista, podložna manje više izmjenama, uključila bi slijedeće:

1. lična dekontaminacija ljudi i dekontaminacija odjeće,
2. transportna sredstva,
3. ambalaža medikamenata i drugi sanitetski materijal,
4. hrana i voda,
4. sredstva veze,
6. određene količine tekstilnog materijala,
7. manji dijelovi zemljišta (reda 2-3000 m²),
8. kraći putevi i prolazi.

Ova lista uz izmjene u zavisnosti od situacije odnosi se uglavnom na urgentnu djelimičnu dekontaminaciju. Veći poduhvati zahtijevaju izvanredno angažovanje ljudstva i materijala uz posebnu organizaciju. Potpuna dekontaminacija predstavlja dug proces, a često se ne može ostvariti što u najvećem broju slučajeva i nije potrebno. Praktično, dekontaminaciju treba sprovoditi do stepena koji će u konkretnim uslovima - do izvjesne mjere sniziti opasnost od mogućih ozbiljnijih posljedica ozračivanja i interne kontaminacije.

Kada se dekontaminacija mora sprovesti unutar kontaminirane zone može se očekivati neophodnost da se stvore čista ostrva. U ovom slučaju važno je primjetiti da gama zračenje koje emituju produkti fisije ima znatnu prodornu moć u vazduhu. Naprimjer, u centru velike, ravne i ravnomjerno zagađene površine, na visini od 0,9 m od površine zemlje, oko 50% intenziteta doze potiče sa rastojanja većeg od 7,6 m, i oko 25% sa rastojanja većeg od 15,2 m. Prema tome, potpuno udaljšavanje zagađenog gornjeg sloja zemlje sa površine prečnika 15,2 m smanjiće intenzitet doze u centru ove površine od prilike do 1/4 od prvobitne veličine. Međutim, ako kontaminirana zemlja nije udaljšena na veće rastojanje već samo pre mještena na granice ovog kruga, to će intenzitet doze biti znatno veći nego 1/4 od prvobitne veličine.

Mjere i sprovođenje dekontaminacije za potrebe borbenih jedinica armije zahtijeva nešto drugačije kriterijume koji su najčešće diktirani taktičkim razlozima i potrebama. U tom cilju treba sprovoditi odgovarajuću taktičku obuku za preduzimanje aktivnih i pasivnih mjera zaštite u slučaju prelaska preko kontaminiranih terena, kao i za vođenje borbi u na stupanju i odbrani u uslovima nuklearnog rata, odnosno uslova kontaminacije radioaktivnim padavinama.

Sa gledišta dekontaminacije razrađene su uglavnom metode i postupci za djelimičnu dekontaminaciju koja omogućava održavanje gotovosti za izvođenje borbenih zadataka.

6. Ocjena trenutne situacije i prijedlozi za dalji rad

Na osnovu ranije iznjelog vidi se da nuklearni rat ugrožava pored zaraćenih strana i države koje bi eventualno ostale po starni od ratnih sukoba.

U tom svjetlu, planiranje i eventualno sprovođenje zaštite civilnog stanovništva predstavlja problem od životnog značaja. O tome svjedoče i napori koje organizacije civilne zaštite u raznim zemljama preduzimaju na sprovođenju organizacionih mjera, obavještavanju stanovništva, obuci kadrova i stvaranju odgovarajuće tehničke baze.

Bez pretenzija da ocjenjujemo spremnost naše civilne zaštite za preduzimanje pasivnih i aktivnih mjera zaštite u slučaju nuklearnog rata, čak da naša zemlja i ne bude direktno pogođena atomskim napadom, na osnovu iskustava sa dopunskih kurseva za referente civilne zaštite, možemo reći da je nivo znanja ovih ljudi izvanredno nizak. Ovaj kadar, koji bi u slučaju nuklearnog rata trebao dobrim dijelom da preuzme na sebe direktno organizovanje i rukovođenje nad-sprovođenjem mjera zaštite, na osnovu uvida koji smo stekli to nije u stanju. Kada se govori o spremnosti civilne zaštite u cjelini, ovaj zaključak može izgledati preoštar i ne odgovoran. Međutim, provjeravajući i ocjenjujući znanje iz vjesnog broja ljudi, direktno i lično odgovornih za pitanja zaštite, stekli smo utisak koji nije ni malo povoljan. Logično je postaviti pitanje, da li ovakav, makar i nepotpun uvid dozvoljava da se stekne utisak o spremnosti nacije da se uspješno suprotstavi nuklearnoj opasnosti - ravnoj stihijskim katastrofama najvećih razmjera.

Primajući na sebe odgovornost zbog iznošenja ovakvog, sops tvenog stava, moramo reći da sa prilično skepse ocjenjujemo sposobnost naše civilne zaštite da uspješno organizuje i sprovede potrebne mjere pasivne i aktivne zaštite u slučaju nuklearne opasnosti, naročito kad se ona pojava u svom najtežem obliku.

Ono o čemu možemo govoriti sa većom sigurnošću je to, da mi danas raspolazemo uglavnom podacima iz literature, a da su normirani postupci dekontaminacije uz korišćenje odgovarajućih priručnih sredstava ili mašina i uređaja, dobiveni iz oglada koji nisu izvedeni u optimalnim uslovima kontaminacije radioaktivnim padavinama.

Ovdje mislimo na to, da su ogladi izvođeni na pojedinačno-

kontaminiranim predmetima, što ne može da predstavlja uslove postojanja opšteg visokog fona, reda desetina R μ /h, na većoj teritoriji.

Rezultati dobiveni iz ovakvih oglada teško da su reproduktivni, pogotovu što ne pružaju nikakve indicije za izvođenje masovne dekontaminacije i sprovođenje odgovarajućih organizacionih mjera u realnim uslovima. Mišljenja smo da bi organizovan istraživački rad doprinjeo boljem sagledavanju svih pomenutih problema. O problemima kontaminacije i dekontaminacije informisani smo danas uglavnom preko inostrane literature ili naših kompilacija na tu temu, tako da ne možemo imati jasnu predstavu o stvarnoj situaciji koja bi se mogla očekivati u slučaju nuklearnog rata.

Ovakvo stanje informisanosti, uz nedostatak ličnog iskustva može da rezultira samo u neshvatanju i nespремnosti za izvođenje niza zadataka koje bi u slučaju rata Civilna zaštita i svo stanovništvo imali da rješavaju.

Dopustiti da stanje ostane i dalje ovakvo kakvo je, veoma je opasno, jer borba sa radioaktivnom kontaminacijom nije isto što i odbrana od poplava, intervencije u slučajevima zemljotresa i slično.

Ogledi koje bi trebalo izvršiti u okviru jednog jasno postavljenog i stručnog programa bi utvrđivanju optimalnih uslova za dekontaminaciju raznih površina i predmeta, uz korišćenje odgovarajućih metoda i materija za dekontaminaciju, što bi konačno rezultiralo u utvrđivanju normativa i rutinskih radnih postupaka.

U osnovu ovih oglada trebalo bi postaviti probleme kontaminacije, dozimetrijske kontrole i dekontaminacije.

U uslovima masovnih oglada, koji bi podrazumjevali intenzitet doze reda desetina R μ /h u trenutku kontaminacije, trebalo bi izložiti kontaminaciji različite predmete, prevozna sredstva, različitu opremu, sagraditi male simultane građevinske objekte koristeći različite materijale; zatim kontaminaciji izložiti hranu, vodu i životinje. Ovakvo širok spektar materijala omogućio bi izvlačenje niza zaključaka a vezi sa kontaminacijom, dozimetrijskom kontrolom i dekontaminacijom.

Cilj ovog istraživačkog rada ne treba da bude usmjeren na otkrivanje novih metoda i postupaka za dekontaminaciju. Posljednjih godina tehnologija dekontaminacije uglavnom je utvrđena i što se tiče metoda i postupka izvjesna ispitivanja mogu i treba da se izvrše da se ove postojeće metode i postupci postave na sopstvenu tehničku i industrijsku osnovu. Ovdje podrazumjevamo korišćenje domaćih (tehničkih) sredstava i primjenu naših komercijalnih hemijskih proizvoda -

gdje se mogu očekivati izvjesna odstupanja od podataka publikovanih u inostranoj literaturi.

Podvlačimo još jednom, da od ovakvih oglada ne treba očekivati otkrivanje novih metoda i postupaka, već sticanje uvi da u način i postupak sprovođenja ovih mjera. Dalje, na osnovu ovakvog uvida moguće je sprovesti odgovarajuću preventivu i izvršiti eventualnu korekciju postojeće operative organizacione šeme, a kao krajnji rezultat, došao bi konkretan nastavni program za specijalizovano osoblje, kao i niz praktičnih upustava za široke mase stanovništva.

Prilikom izvođenja ovakvih oglada posebnu pažnju trebalo bi posvetiti problemima dozimetrijske kontrole. Smatramo - takođe da u ovim uslovima treba izvršiti poređenje efikasnosti dozimetrijskih instrumenata domaće proizvodnje sa drugim etalonskim instrumentima.

Ovo navodimo zbog toga, što su moguće znatne razlike koje mogu da maskiraju stvarnu situaciju. U prilog ovome navodi mo podatak, da kod pojedinih domaćih instrumenata mogu dapostoje odstupanja i do 50% od stvarne vrijednosti mjerene doze. Ovakvim upoređivanjem stekao bi se uvid u stvarnu upotrebljivost domaćih instrumenata, naročito za mjerenje relativno niskih aktivnosti, tj. na granici riskantno dozvoljenih nivoa radioaktivnosti na površinama, hrani, vodi i živoj sili.

Od ovakvih oglada mogu se dalje očekivati precizniji podaci u odnosu na faktor zaštite različitih materijala i konstrukcija, što bi znatno uticalo na utvrđivanje kriterijuma za dekontaminaciju, tj. za dostizanje potrebnih minimalnih nivoa kontaminacije koju su funkcija faktora zaštite u uslovima djelimične dekontaminacije.

Mogućnosti za organizovanje i sprovođenje ovakvih oglada - postoje. Ne govoreći uopšteno o takozvanim zainteresovanim institucijama, smatramo da bi DSNO sa svojim podređenim resorima, u saradnji sa nuklearnim institutima i institucijama za radiološku zaštitu, trebali da nađu načina i sredstva za ostvarivanje jednog ovakvog programa. Ulaganja i ovaj program istraživanja imaju svoje puno opravdanje u podizanju spremnosti nacije za slučaj nuklearne opasnosti, a uložena sredstva višestruko bi se isplatila u neželjenom konkretnom slučaju.

LES PROBLEMES DE LA CONTAMINATION ET LES POSSIBILITES DE - LA DECONTAMINATION EN CAS DE CONTAMINATION AVEC LES PRECI- PITATIONS ATMOSPHERIQUES RADIOACTIVES

Le travail traite tres en raccourci les phenomenes de la -
contamination avec les precipitation atmospheriques radica
ctives. Il contient l'analyse de la situation prevue a ve
nir apres l'explosion d'une ou plusieurs armes nucleaires.
On a demontre a la base de cette analyse, les possibilites
et les criteres porr l'entreprise des mesures de decontami
nation.

A la fin, l'auteur donne une appreciation subjective des -
problemes concernant la protection civile. Il suggere un -
programme de travail et des recherches qui doivent etre rea
lises en cue de perfectionnemrnt qui doivent etre realises
en vue de perfectionnemrnt du service de la protection ci
vile et vu la determination des conditions optimaux pour -
la realisation des mesures de decontamination.

Literatura

1. H.O. Davidson, Biological Effects of Whole - Body Gamma Radiation on Human Beings (U), Publish. for Operations Research Office .
2. The Effects of Nuclear Weapons, Washington (1954).
3. A. Costedoat, La Protection me Dicale de la Populazion-Civile Contre les Attaques Atmosques, Edit. Berger, Levrault, Paris, (1957).
4. H. Macuda, K. Hajasi, Jadernoe cruzie i čelovek.
5. R. Gardel, La radioactivite, Le point de vue de la protection et des services sanitaires, France selection.

MOGUĆNOST I SVRSISHODNOST RADIOLOŠKE DEKONTAMINACIJE

V. POPOVIĆ,

I

Radiološka dekontaminacija materijala je vrlo složena i vremenski relativno dugotrajan proces. Složen je zbog toga jer se dekontaminacija ne može svesti samo na dobru metodu, nego je potrebno u svakoj situaciji da se ocijeni i mogućnost i svrsishodnost radiološke dekontaminacije, a to znači dobro poznavanje u različitim situacijama niza važnih faktora. Ovdje je nemoguće ulaziti detaljno u sve te faktore kao što su količina materijala, količina sredstava za dekontaminaciju, problem otpadnih voda, rizik za ljudstvo itd. Radiološka dekontaminacija je relativno dugotrajan proces zbog toga što u toku samog procesa treba neprekidno voditi računa o vremenu poluraspada fisionih produkata, kako se ne bi dogodilo da čitav proces teče sporije od samog radioaktivnog raspadanja.

Svi ovi nabrojani faktori, a i niz drugih, su integralni dio složenog procesa radiološke dekontaminacije. Samo poznavanjem svih ovih faktora moguće je dati i ocjenu o mogućnosti i svrsishodnosti radiološke dekontaminacije materijala.

II

Kod nas se u većini slučajeva pristupalo problemu radiološke dekontaminacije samo s metodske strane, tj. da li se određenom metodom mogu uspješno ukloniti fisioni produkti s raznog materijala, pa ako je to uspjelo, problem radiološke dekontaminacije se smatrao riješenim. A to je isto kao i izgraditi supermodernu tvornicu za koju se — kad je bila gotova — nije znalo da li ima osiguranu energetska bazu, sirovine i potrebno tržište, kao i da li uložena sredstva daju i adekvatnu korist.

Jedna je od grešaka i ta što se povlači suviše velika analogija između kemijske i radiološke dekontaminacije, iako oba procesa imaju donekle zajedničku samo metodska stranu. Kemijska dekontaminacija

materijala može se vršiti na licu mjesta, i uz dobru opremu nema skoro nikakvog rizika za ljudstvo, nema problema s otpadnim vodama itd.

Iz svih ovih i drugih razloga potrebno je da se prije nego bi se pristupilo razradi samih metoda radiološke dekontaminacije principijelno razmotri čitav proces, uz suradnju svih potrebnih stručnjaka.

U jednom ovakvom napisu nemoguće je ulaziti pojedinačno u svaki detalj, jer to zahtijeva posebnu studiju, nego bi se poslužili samo nekim razmatranjima koja treba da pridonese, s jedne strane, boljem razumijevanju složenosti samog procesa radiološke dekontaminacije, a, s druge strane, njegovom efikasnijem rješavanju. Poslužimo se u tu svrhu jednim konkretnim primjerom.

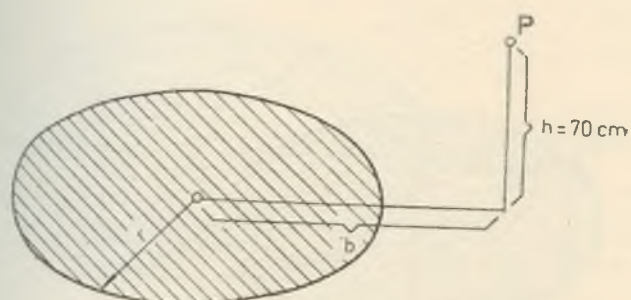
Razni materijali nalaze se u kontaminiranoj zoni, čiji stepen kontaminacije za ovo razmatranje nije bitan. No, uzimimo da je intenzitet zračenja 200 r/čas. Svi materijali imaju razne oblike i različitih veličina, ali radi jednostavnijeg proračuna i što manjeg kompliciranja uzeti su kao ravne okrugle površine. Za površine su izabrane tri veličine: 1,13 m², 4,19 m² i 10,17 m². Ovakve površine su izabrane jer se sa velikom tačnošću mogu jednostavnim postavljanjem proporcija dobiti i vrijednosti za druge veličine ako se upotrebe podaci iz odgovarajućih tablica.

Pretpostavka je da su ti materijali jednako kontaminirani kao i samo zemljište, tj. postoji jednaka aktivnost po jedinici površine.

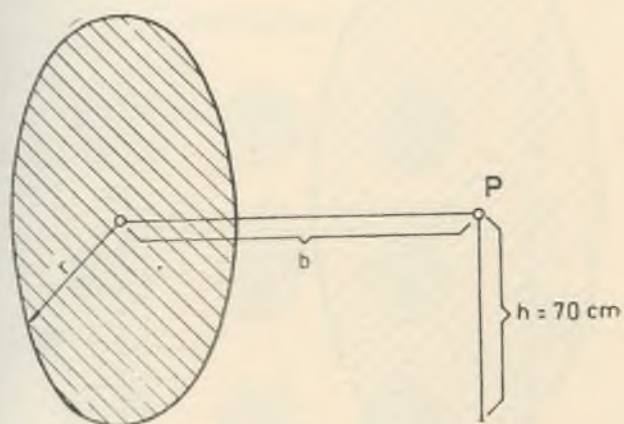
Kod radiološke dekontaminacije potrebno je da se ti materijali izvuku iz kontaminirane zone i da se tek onda pristupi njihovoj potpunijoj dekontaminaciji. Jasno je da postoji mogućnost djelimične dekontaminacije, no njome se ništa ne postiže ako se radi o intenzitetu zračenja na ljude na samoj kontaminiranoj zoni. Zato je u ovom razmatranju i izvršen proračun da se vidi koliki intenzitet zračenja dolazi od svakog materijala posebno ako se takav materijal izvuču iz kontaminirane zone, tj. kakvu opasnost za ljudstvo predstavlja svaki takav materijal u odnosu na opasnost u kontaminiranoj zoni, za koju je uzeto, kako je već rečeno, da ima intenzitet zračenja od 200 r/čas.

S obzirom da je vrlo teško predvidjeti u kakvom geometrijskom položaju će stajati dotični materijali u odnosu na ljudstvo, a to je vrlo važno kada se vrši proračun za intenzitet zračenja, to je uzeto nekoliko položaja koji, vjerovatno, najrealnije mogu odraziti sliku stvarne situacije. Naime, uzeti su položaji gdje je, uz određeno odstojanje ljudstva, najveći intenzitet zračenja, ali i najmanji, a ujedno i jedan koji bi trebalo da bude, nekako, na sredini između ova dva. Svi su ti položaji prikazani na šemama 1, 2, 3, 4 i 5.

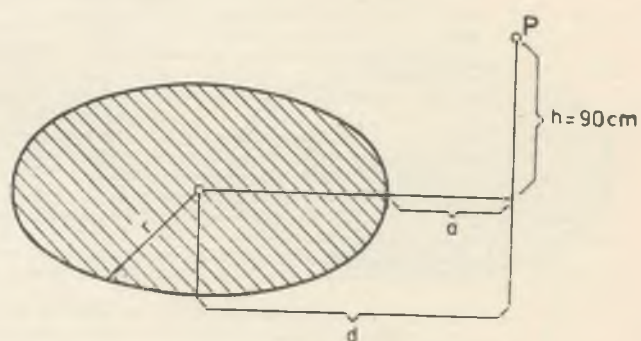
U prvom proračunu uzete su, kako je već naglašeno, ravne okrugle površine triju različitih dimenzija u vodoravnom položaju, a intenzitet zračenja je računat u tačkama (na šemama tačka P) koje su bile udaljene 20 odnosno 50 cm od ruba zamišljene površine po pravcu i 70 cm po visini. Sama situacija prikazana je na šemi 1, a rezultati u tablici 1. Rezultati su dati kao odnosi proračunatog intenziteta zračenja u tačkama P i intenziteta zračenja u kontaminiranoj zoni (20 r/čas). Rezultati, u stvari, pokazuju koliko je puta intenzitet zračenja od samog materijala (pri postavljenim uslovima) manji od intenziteta zračenja u kontaminiranoj zoni.



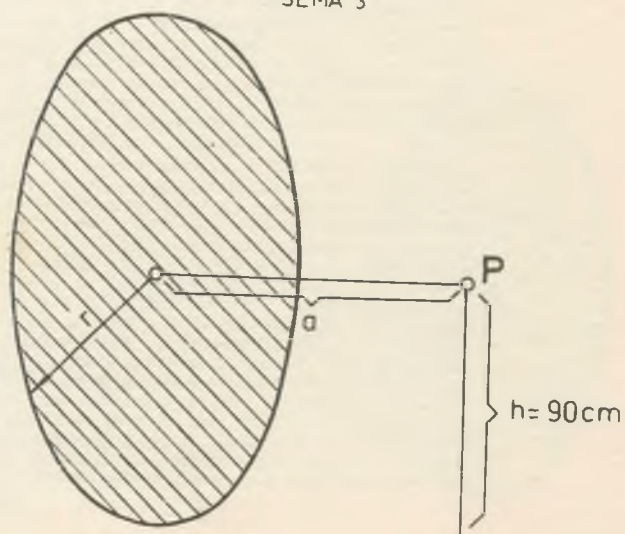
ŠEMA 1



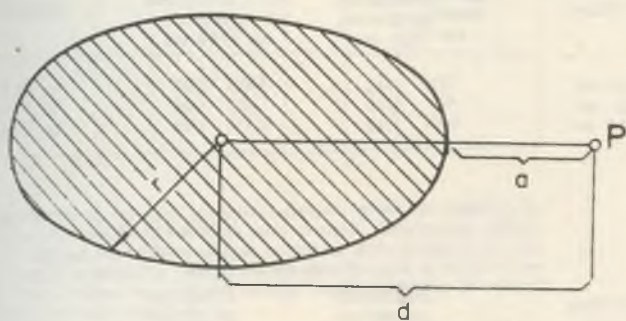
ŠEMA 2



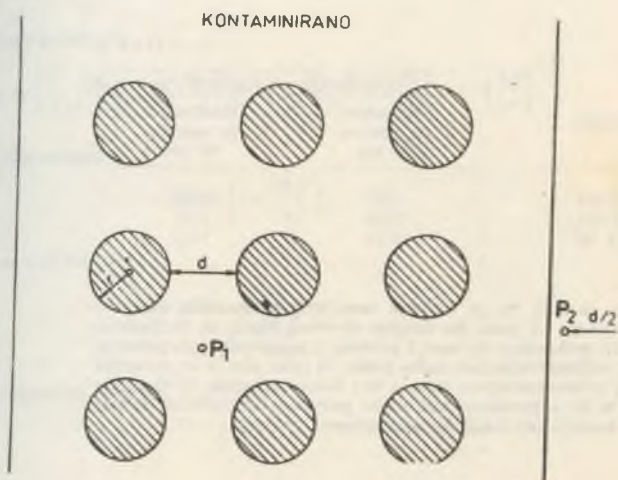
ŠEMA 3



ŠEMA 4



ŠEMA 5



ŠEMA 6

Tablica 1

Površina	Udaljenost po visini 70 cm	
	Udaljenost po pravcu 20 cm	Udaljenost po pravcu 50 cm
1,13 m ²	1/41	1/57
4,91 m ²	1/19	1/26
10,17 m ²	1/14	1/18

Tablica 2

Površina	Visina tačke 70 cm	
	Udaljenost po pravcu 20 cm	Udaljenost po pravcu 50 cm
1,13 m ²	1/6	1/15
4,91 m ²	1/3,6	1/6,6
10,17 m ²	1/3	1/5

Tablica 3

Površina	Udaljenost po visini 90 cm	
	Udaljenost po pravcu 20 cm	Udaljenost po pravcu 50 cm
1,13 m ²	1/51	1/72
4,91 m ²	1/20	1/26
10,17 m ²	1/15	1/17

Iz tablice se vidi da je najveće smanjenje intenziteta zračenja 57 puta, a najmanje 14 puta, što drugim riječima znači, da bi ljudstvo prema situaciji prikazanoj na šemi 1 primalo u najpovoljnijem položaju 3,5 r/čas, a u najnepovoljnijem nešto preko 14 r/čas ako bi se materijal samo izvukao iz kontaminirane zone, a ne i dekontaminirao. Ovdje treba spomenuti i to da u proračun nije uzeto prirodno radioaktivno raspadanje, što će kasnije biti detaljnije razmatrano.

Tablica 4

Površina	Visina tačke 90 cm	
	Udaljenost po pravcu 20 cm	Udaljenost po pravcu 50 cm
1,13 m ²	1/5,4	1/23
4,91 m ²	1/3,7	1/6
10,17 m ²	1/2,7	1/6,5

U drugom proračunu uzet je najteži mogući prostorni položaj, tj. da zamišljena kontaminirana površina stoji okomito. Udaljenosti tačaka u kojima je računat intenzitet zračenja ostale su iste. Situacija je prikazana na šemi 2, a rezultati u tablici 2. Na prvi pogled iz tablice 2 se vidi da je ovdje intenzitet zračenja znatno manje smanjen u odnosu na intenzitet u kontaminiranoj zoni.

Formula za oba ova proračuna uzeta je iz knjige: Wilson, C. W., *Radium Therapy* (London p. 70, 1956).

Da bi se dobili što realniji podaci, za proračun je uzeta i jedna nešto promijenjena formula, visina tačaka uzeta je 90 cm, a dodat je još i jedan novi prostorni položaj (šema 5), koji bi, u stvari, trebalo da predstavlja situaciju u kojoj je čovjek u istoj ravnini sa zamišljenom kontaminiranom površinom, tj. u ležećem položaju.

Formula za šemu 3:

$$D = (\pi\sigma r) lh \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{R}{h}\right)^4 + 2 \left(\frac{h^2 - d^2}{h^2}\right) \left(\frac{R}{h}\right)^2 + \left(\frac{h^2 - d^2}{h^2}\right)^2} + \left(\frac{R}{h}\right)^2 + 1 - \left(\frac{d}{h}\right)^2 \right\}$$

Formula za šemu 4:

$$D = (\pi\sigma r) lh \left\{ 1 + \left(\frac{R}{a}\right)^2 \right\}$$

Formula za šemu 5:

$$D = (\pi\sigma r) lh \frac{1}{1 - \left(\frac{R}{d}\right)^2}$$

Za beskonačnu površinu, 90 cm iznad:

$$D = 12(\pi\sigma r)$$

Tablica 5

Površina	Udaljenost po pravcu	
	20 cm	50 cm
1,13 m ²	1/14,5	1/33
4,91 m ²	1/8,8	1/17
10,17 m ²	1/7,2	1/13

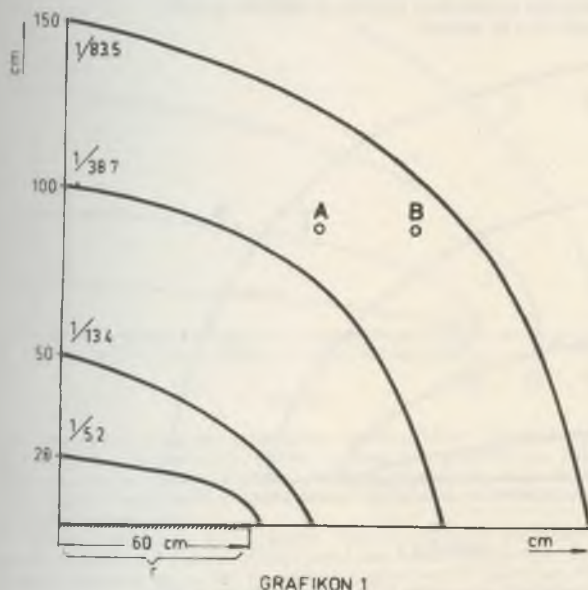
Tablica 6

Površina	Udaljenost tačkaka 1 m
1 m ²	1/200
2 m ²	1/100
3 m ²	1/75
4 m ²	1/50
5 m ²	1/40
10 m ²	1/20
20 m ²	1/10

Tablica 7

Površina m ²	d (m)	$\frac{D}{D_{\infty}}$ u P ₁	$\frac{D}{D_{\infty}}$ u P ₂
1,13	2	1/108	1/215
	5	1/415	1/830
	20	1/4520	1/9000
4,91	2	1/50	1/100
	5	1/100	1/200
	20	1/1100	1/2000
10,17	2	1/25	1/50
	5	1/90	1/200
	20	1/660	1/1300

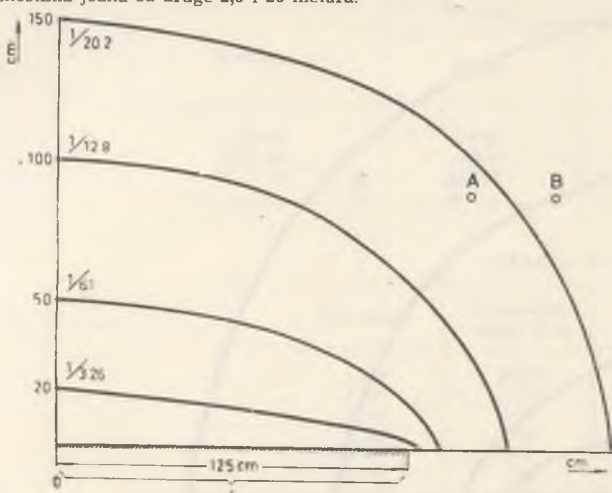
Na kraju je izvršen jedan proračun gdje su zamišljene kontaminirane površine uzete kao tačkasti izvor, a intenzitet zračenja je računat u drugim tačkama na udaljenosti od 1 m. Rezultati su prikazani u tablici 6. Jasno, i ovdje su rezultati dati kao odnos prema kontaminiranoj zoni, odnosno kao faktori oslabljenja intenziteta zračenja.



Da bi se što plastičnije prikazali dobiveni rezultati, konstruirani su grafikon koji mnogo detaljnije prikazuju situaciju iz šeme 3. Isto se može učiniti i sa situacijama iz drugih šema. Debelo izvučene krive linije na grafikonima 1, 2 i 3 predstavljaju geometrijsko mjesto tačaka, gdje su intenziteti zračenja jednaki, a sami intenziteti zračenja su predstavljani također faktorom oslabljenja u odnosu na kontaminiranu zonu. Tačke A i B predstavljaju ona mjesta na grafikonu za koja je u prijašnjim razmatranjima izvršen proračun (vidi tablicu 3).

Zamišljena kontaminirana okrugla površina predstavljena je šrafi-ranom linijom. U stvari, prikazana je samo jedna polovica, a njena je veličina predstavljena polumjerom r . Prostorno bi se to moglo predstaviti kao jedna okrugla vodoravna površina koja je centralno smještena u elipsoide raznih oblika. Sve tačke na površinama elipsoida bi predstavljale mjesta gdje su jednaki intenziteti zračenja.

U dosadanjim razmatranjima računat je intenzitet zračenja koji daje svaka zamišljena kontaminirana površina za sebe — jšno, izvan kontaminirane zone. Da bi se vidjelo u kojoj mjeri nagomišovanje kontaminiranog materijala izvan kontaminirane zone djeluje na povećanje intenziteta zračenja u odnosu na svaki materijal za sebe, izvršen je proračun sa istim zamišljenim površinama koje su se nalazile na udaljenostima jedna od druge 2,5 i 20 metara.

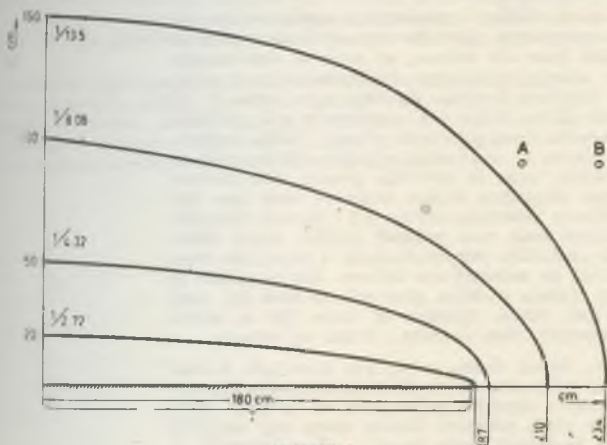


GRAFIKON 2

Prostorna situacija prikazana je na šemi 6. Šrafirane kružnice predstavljaju zamišljene kontaminirane površine (uzete su sve tri dimenzije), tačka P₁ čovjeka koji bi bio među tim površinama, tačka P₂ koji bi bio nešto izvan, a d je odstojanje među površinama, odnosno materijalima. Rezultati su prikazani u tablici 7.

Rezultati koji su dobiveni ovim proračunima govore vrlo jasno da kontaminirani materijali, koji su izvučeni iz kontaminirane zone, predstavljaju u većini slučajeva vrlo malu opasnost. Ako se intenzitet zračenja na kontaminiranoj zoni, kako je već rečeno, uzme da je 200 r/čas, onda, prema iznijetim proračunima, taj intenzitet pada u ekstremnim slučajevima od 200 na 74, odnosno 2,7 r/čas. Ovdje treba uzeti u obzir i to ni u jednoj od zamišljenih situacija nije uzeta u obzir apsorpcija, koja bi u nekim slučajevima mogla biti i dosta velika i koja bi bezuvjetno dovela do daljeg smanjenja intenziteta. Dalje, vrlo je vjerojatno da materijali zbog svojih oblika ne bi bili kontaminirani kao samo zemljište, što bi opet dovelo do smanjenja intenziteta. I, konačno, u svim

ovim proračunima, što je sasvim razumljivo, nije uzet u obzir vrlo važan faktor — vrijeme. Vrlo je dobro poznato da intenzitet zračenja fisionih produkata opada za faktor 10 kod povećanja vremena za fak-



GRAFIKON 3

tor 7. Na osnovu svega što je iznijeto, uzevši u obzir dopustivi rizik za ljudstvo, kao i eventualne greške u ovim proračunima (za jednu detaljniju studiju potrebni bi bili i detaljniji proračuni), može se već grubo ocijeniti mogućnost i svrsishodnost radiološke dekontaminacije u pojedinim situacijama.

Ako se uzme da je za izvlačenje i dekontaminaciju materijalnih sredstava potrebno 7 časova (računajući 1 čas nakon eksplozije), onda je prilično jasno da od sve tri situacije dekontaminacija materijala, čija kontaminirana površina ne prelazi 5 m^2 , ne bi, vjerovatno, bila svrsishodna, jer bi maksimalni intenzitet zračenja na čovjeka bio negdje oko 1—2 r/čas, uzevši u obzir i apsorpciju, kao i to da je vrlo mala vjerojatnost da prosječna udaljenost čovjeka ne bi bila veća od 20 cm. A i taj se intenzitet dobiva samo u najlošijoj situaciji, kakva praktički ne bi mogla postojati (tablice i šeme 2 i 4). To, drugim riječima, znači da bi ono ljudstvo koje bi bilo u blizini navedenih materijala na nekontaminiranoj zoni i bez dekontaminacije primalo maksimalno 1—2 r/čas osam časova nakon eksplozije, s tim što bi intenzitet zračenja vrlo brzo opadao.

Prigovor ovome može biti pitanje da li upotrebljavati materijale ako još nije prošlo 8 časova od eksplozije, jer bi intenzitet zračenja u odnosu na kraće vrijeme iza eksplozije bio veći. Takav decidan odgovor se na ovom mjestu ne može dati; odgovor bi se mogao dati samo poznavajući konkretnu situaciju, kao i faktore koji na to mogu

utjecati. Teoretski se može predvidjeti da bi i dekontaminacija kod intenziteta zračenja od $1 \text{ r}/\text{čas}$ (misli se na materijale) bila svrsishodna, ali isto tako i nesvrsishodna i kod $100 \text{ r}/\text{čas}$.

Sasvim je jasno da na odluku o sprovođenju odnosno nesprovođenju radiološke dekontaminacije ne može utjecati samo intenzitet zračenja nego tu postoji čitav niz faktora, od kojih su neki ukratko spomenuti. U svakom slučaju, radiološka dekontaminacija po svaku cijenu može u većini slučajeva donijeti više štete nego koristi. A baš ta korist treba da bude glavni faktor pri razmatranju svih problema radiološke zaštite, a naročito tamo gdje treba ulagati i velika sredstva. Ako detaljne analize pokažu da će u većini situacija biti korisnije ne sprovesti dekontaminaciju, onda se postavlja pitanje zašto forsirati rješavanje tog problema ulaganjem velikih sredstava samo zbog toga što je to jedan od problema radiološke zaštite. Ali i obratno. Studijsko prilaženje ovom problemu može nam pokazati prilično realno kakva sredstva bi zahtijevala radiološka dekontaminacija u pojedinim situacijama, ali tako izvedena da zadovolji sve faktore. Ako se pokaže da trka s vremenom, plus uložena sredstva, plus rizik za ljude itd., bude kod dekontaminacije ipak manje isplativa od rizika ako se koriste nedekontaminirani materijali, onda se treba i držati tog principa.

Izvedeni proračuni, barem ovako grubo, i za materijale do 5 m^2 pokazuju da bi bilo vrlo teško zamisliti da bi dekontaminacija bila svrsishodna. Ne raspoložemo s dovoljno parametara da se nešto slično zaključi i za materijale većih površina. Glavni faktor koji nedostaje je brzina kojom se ti materijali mogu izvući i dekontaminirati, tj. vrijeme.

Da ova razmatranja ne bi na prvi pogled izgledala suviše jednostrana, treba ponovo spomenuti rezultate proračuna iz tablice 7, koji nedvojbeno govore o tome da radiološka dekontaminacija u opisanim uslovima predstavlja vrlo mali rizik za ljudstvo. Da li je to realna slika, odnosno realan proračun s obzirom na veličine površina i raspored materijala — ne može se ovdje dati odgovor, ali proračun je lako izvesti za bilo koju situaciju. Sasvim je sigurno da bi dekontaminacija priručnim sredstvima predstavljala daleko veći rizik, sa kojim bi ozbiljno trebalo računati.

Još jedan problem kojim bi se trebalo pozabaviti je pitanje fizičnih produkata beta-emitera, koji predstavljaju, doduše, opasnost samo u direktnom kontaktu, ali nikako zanemarljivu opasnost.

IV

Jasno je da se jednim ovakom uskim proračunom ne mogu dobiti odgovori na sva pitanja, no ovaj članak nije ni imao pretenzija da dađe precizan odgovor, odnosno preciznu ocjenu o mogućnosti i svrsishodnosti radiološke dekontaminacije. Svrha je bila da se ukaže na to da se ovaj problem ne može rješavati samo metodskim putem, bilo pronalazanjem vlastitih metoda, bilo primjenom pronađenih.

Neke procjene ukupnih doza ozračavanja za različite relacije čovjek - kontaminirana površina

P. Bojović, M. Ninković

1. Uvod

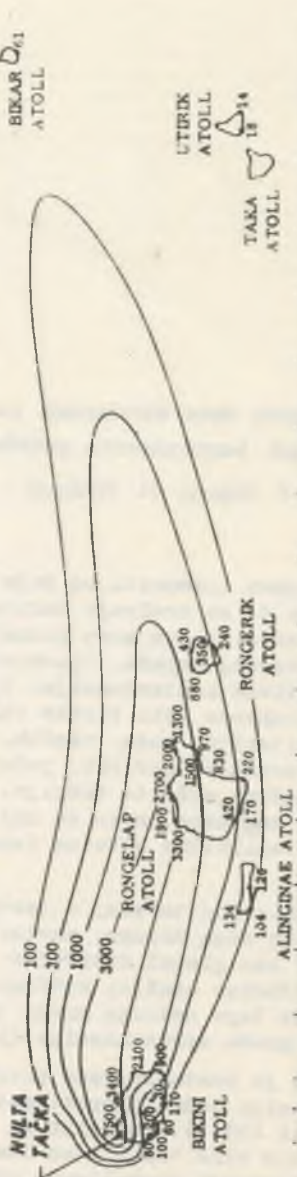
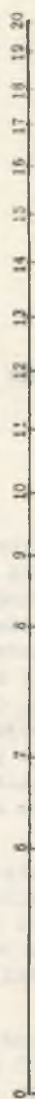
U analizama i procjenama opasnosti od dejstva nuklearnih oružja postoji mišljenje da se zračenje radioaktivnih padavina nastalih nuklearnom eksplozijom mora posmatrati kao jedan od glavnih efekata nuklearnog napada. Opasnost se potencira činjenicom što radioaktivna kontaminacija, tj. zagađenje radlo aktivnom prašinom, obuhvata vrlo široke oblasti i na njima kontaminira tlo, vegetaciju, vodu, vazduh, hranu, objekte, komunikacije, mnoge uređaje, čovjeka, jednom riječju sve do čega radioaktivna prašina može da dospije. Ovakve procjene, a one su sve međusobno saglasne, mogu se naći u velikom broju publikacija koje na različitim nivoima izlažu ovu materiju (1-5).

Obim i oblik kontaminiranog terena, a takođe i distribucija nivoa kontaminacije na ovom terenu, zavise od velikog broja faktora, od kojih se kao glavni citiraju: vrsta i visina nuklearne eksplozije, odnosno oružja, konfiguracija terena i meteorološki uslovi. Iz toga razloga mnogi teorijski proračuni na ovu temu samo su grube aproksimacije (1).

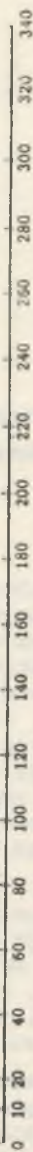
Na slici 1 prikazana je kontaminirana površina nastala poslije površinske eksplozije jedne eksperimentalne 15 MT termonuklearne bombe (Bikini 1954.). Iz slike se vidi da je nivo kontaminacije terena bio vrlo visok i na 180 km od nulte tačke a da je na ovoj udaljenosti akumulirana doza za 96 časova iznosila oko 3.000 rentgena. Na ovo rastojanje radioaktivna prašina počela je da pristiže 7 časova poslije eksplozije (1).

Slika 1.

EFETIVNO VREME NAILASKA PADAVINA (ČASOVI)



RASTOJANJE OD NULTE TAČE (MILJE)



Radiološka opasnost (6) na ovom kontaminiranom terenu mijenja se vrlo brzo tokom vremena. Na slici 2 prikazana je principijelna, ali vrlo gruba procjena opasnosti u funkciji vremena koje se mjeri od trenutka eksplozije i koje je podjeljeno u četiri faze slijedećih karakteristika:

Nulta faza obuhvata vrijeme od eksplozije do pojave padavina na određenom mjestu. To je faza neposredne opasnosti, čije trajanje zavisi uglavnom od rastojanja između nulte tačke i posmatranog mjesta. U toku ove faze mogu se učiniti važne pripreme potrebne za odbranu u slijedećoj fazi.

Prva faza obuhvata vrijeme padanja glavne količine radioaktivne prašine. U toku ove faze nivo radiološke opasnosti dostiže svoj maksimum. Osnovne zaštite u ovoj fazi su skloništa. Krajnje su opasne i rizične sve intervencije na terenu bez zaštitnih ekrana ili drugih zaštitnih sredstava, što zavisi od dužine intervencije.

Druga faza obuhvata vrijeme poslije taloženja glavne količine prašine. U ovoj fazi radijaciona opasnost uglavnom opada brzinom raspada fisionih produkata. U početnom periodu ove faze - moguće su kratkotrajne operacije na terenu bez zaštitnih sredstava, odnosno ekrana. U kasnijim periodima ove faze vrijeme-rasnih intervencija može se znatno produžavati.

Treća faza počinje sa vremenom kada jačine doza od kontaminacije terena padnu na nivoe koji se smatraju dozvoljenim za duž i boravak na kontaminiranom terenu. U ovoj fazi moguće su sve operacije koje su potrebne za normalizovanje situacije na terenu zahvaćenom radioaktivnim padavinama.

2. Procjena uticaja kontaminiranih površina na jačine doza u unutrašnjosti nekih objekata

Na temu ovoga problema u stručnoj literaturi postoji znatan broj procjena i eksperimentalnih rezultata, koji se uglavnom - odnose na uticaj kontaminiranih krovova, spoljnih zidova, ili drugih dijelova zgrada i skloništa na jačine doza gama-zračenja, u njihovoj unutrašnjosti.

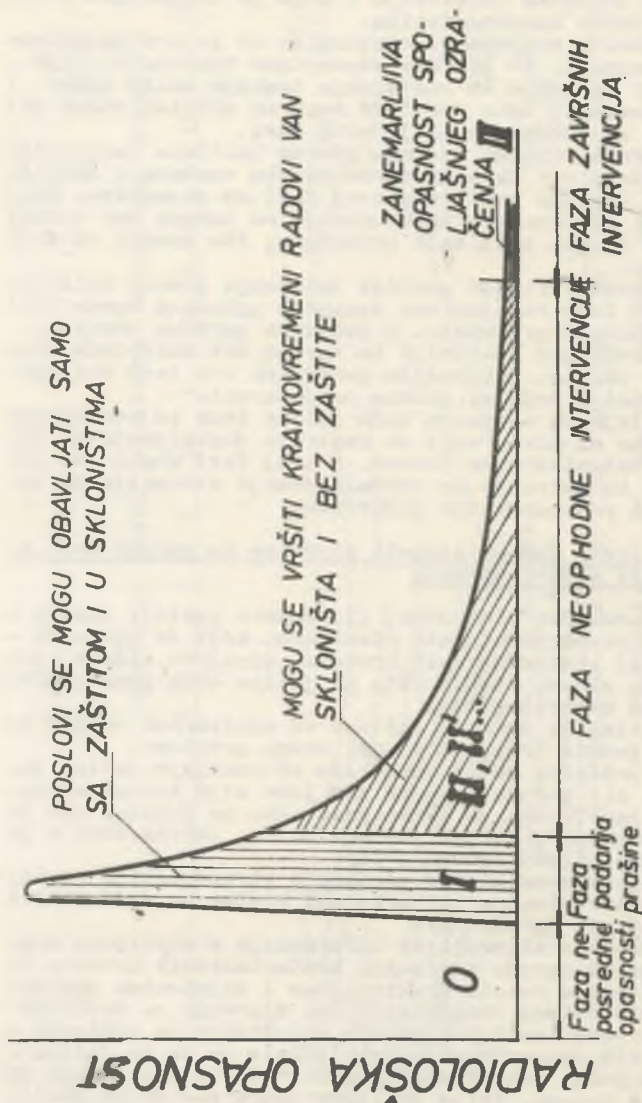
U poznatim djelima iz oblasti zaštite od nuklearnih oružja mogu se naći slijedeće procjene u vezi ovoga problema:

a/ Jedna jama prečnika 90 i dubine 120 cm smanjuje jačinu doze oko 40 puta, ali pod uslovom da zid jame nije kontaminiran - već samo površina terena do ivice jame. Ako se prostor oko jame očisti od prašine u širini jednoga metra, jačina doze u jami može se smanjiti oko 100 puta /1/.

b/ Za uklanjanje kontaminacije sa zgrada strategijskog značaja preporučuju se instalacije ili uređaji kojima se može rukovati iz unutrašnjosti zgrade /2/.

U cilju prikupljanja sigurnijih informacija o zaštitnim mogućnostima stambenih zgrada i uticaja kontaminiranih krovova na ukupnu jačinu doze u raznim prostorijama i dijelovima zgrada - izvršena su vrlo obimna eksperimentalna mjerenja na modelima - prilikom eksperimentalnih nuklearnih eksplozija na poligonu - u Nevadi. Iz ovih eksperimenata rezultiralo je da su jačine doza u unutrašnjosti manjih zgrada oko 10 do 40 puta manje nego na otvorenom terenu. Istom prilikom izmjereno je da poslije uklanjanja kontaminacije sa krovova jačina doze opadne za - 25% /7,8,9,10,11/.

S obzirom na ove rezultate smatrali smo da je korisno procijeniti jačine doza od kontaminacije nekog vozila, na primjer -



kamiona, jer je opravdano pretpostaviti da će ovo vozilo biti često korišćeno i u zonama vrlo visokih doza zračenja. Proračuni za kamion pokazali su da jačina doze od kontaminiranih površina nije zanemarljiva. Na slici 3 prikazan je model kamiona koji je služio kao geometrijska osnova proračuna. Formulu za proračun jačine doza:

$$D_k = 4K_{\gamma} A_s \sum p_i F\left(\frac{L_i}{L_i}, \frac{H_i}{L_i}\right) \quad (1)$$

/1/

izveli smo na osnovu poznatih relacija za izračunavanje doza sa pravougaonih kontaminiranih površina /16, 18/. U ovoj formuli oznake imaju slijedeće značenje:

- K_{γ} - dozna ili jonizaciona konstanta gama zračenja;
- L_i i H_i - dimenzija pravougaonih površina modela,
- L_i - rastojanja između kontaminiranih površina i mjesta u kome je računata jačina doze,
- p_i - procenat zadržavanja prašine na raznim površinama;
- D_k - jačina doze.

Sa D_k obilježili smo jačinu doze kojoj je izložena unutrašnjost kamiona zbog dejstva zračenja sa kontaminiranog terena. Za račun smo uzeli da je ova jačina doze za 20 do 50% manja od jačine doze D_R koja postoji van kamiona, tj. na otvorenom prostora.

Doprinos jačine doze D_k ukupnoj jačini doze $D_k + D_R$ izrazili smo procentom i on iznosi:

$$\frac{D_k}{D_R + D_k} \cdot 100 \approx 30\%$$

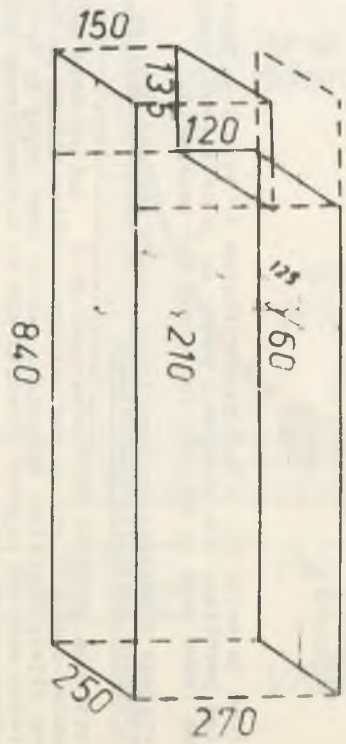
/2/

pri čemu je uzeto $p_i = 0,5$ za vertikalne i $p_i = 1$ za horizontalne površine. Ova procjena, makar da je vrlo gruba, ukazuje na iznos koji se ne može tretirati kao zanemarljiv.

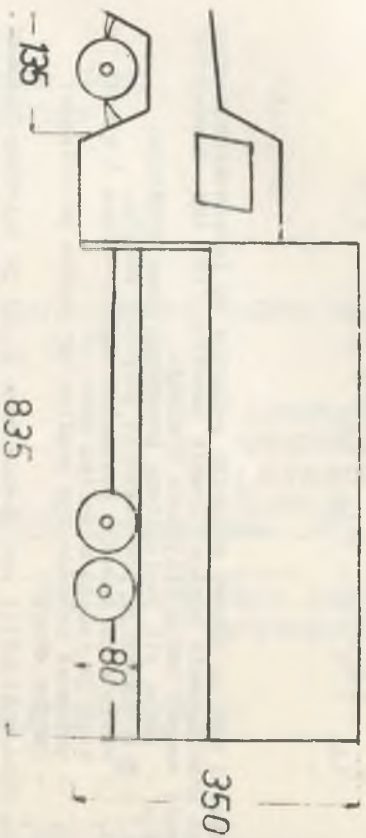
3. Procjena doprinosa kontaminirane odjeće ukupnoj dozi na otvorenom kontaminiranom terenu

Na otvorenom prostoru kontaminiranom do R jačina doze može se znatno smanjiti ako se radioaktivna prašina ukloni sa izvjesnog dijela površine. Međutim, jačina doze kojoj je čovjek izložen može se osjetno povećati ako se radioaktivnom prašinom kontaminira odjeća.

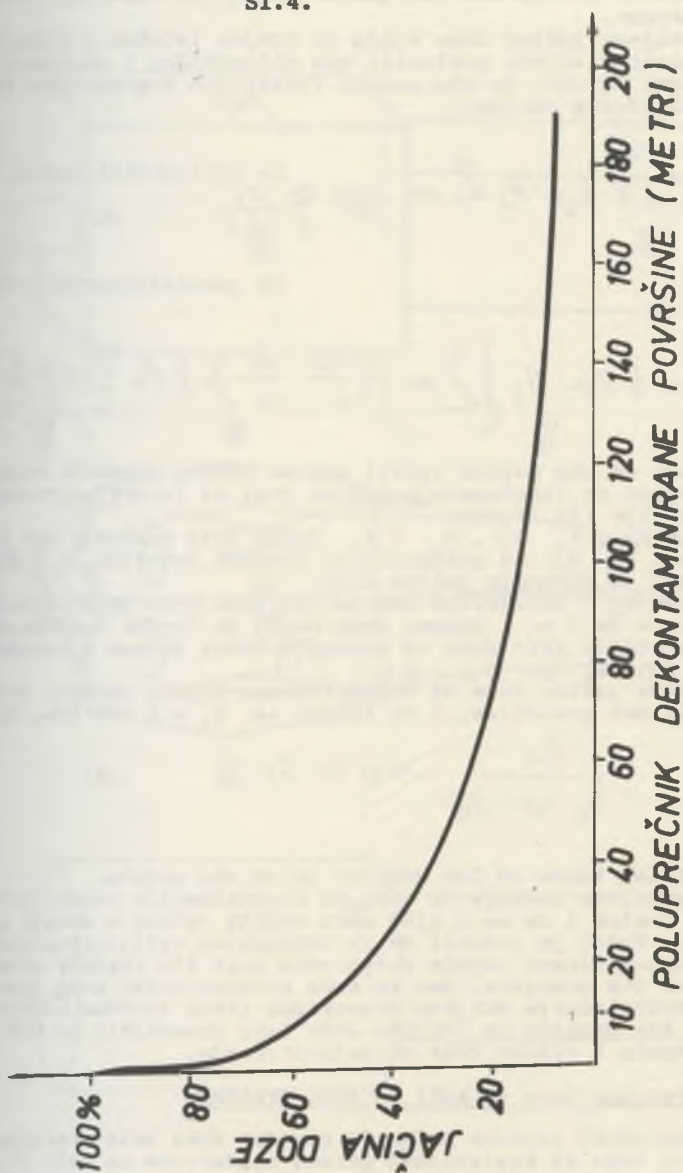
Smanjenje jačine doze povećavanjem poluprečnika očišćene površine prikazano je na slici 4 / u dijagramu/. Podaci za konstrukciju ove krive uzeti su iz različitih izvora i pokazuju međusobnu saglasnost /1,17/. Ova kriva pokazuje da će u centru očišćenog kruga sa $R = 50$ metara doza iznositi svega 25%



Slika 3.



Sl.4.



a za $R=100$ metara oko 15% jačine doze koja vlada na neočišćenom terenu.

Za procjenu jačine doze kojoj je čovjek izložen u slučaju kontaminacije odjeće postavili smo cilindrični i paralelopipedni model /sl.5/. Za oba modela izveli smo odgovarajuće formule slijedećeg oblika:

$$D_K = 2\pi \cdot K_g \cdot A_s \sum p_i \arctg \frac{H_i}{R_i} \quad \text{Za cilindrični model:} \quad /3/$$

Za paralelopipedni model:

$$D_K = 4 K_g A_s \left\{ \sum p_i F\left(\frac{L_i}{L_i}, \frac{H_i}{L_i}\right) + \frac{1}{2} \ln \frac{L_i^2 + (d + \frac{R}{2})^2}{(d + \frac{R}{2})^2} \right\}$$

Formule za oba modela izveli smo na osnovu poznatih relacija po kojima se izračunavaju jačine doza za izvore odgovarajuće geometrije /16,17,18/.

Oznake K_g , A_s , p_i , H_i i L_i imaju isto značenje kao i u formuli 1, R_i su poluprečnici kružnih površina, a G tačka za koju je računata jačina doze.

Oznakom D_R obilježili smo jačinu doze koju daje teren kontaminiran do R . Ukupna doza kojoj je čovjek izložen na ovom terenu je zbir doze od kontaminiranog terena i kontaminirane odjeće, tj. $D_K + D_R$.

Doprinos jačine doze od kontaminirane odjeće ukupnoj dozi izrazili smo procentom, i on iznosi za $p_i = 1$ oko 50%, tj.:

$$\frac{D_K}{D_R + D_K} \cdot 100 \approx 50\% \quad /5/$$

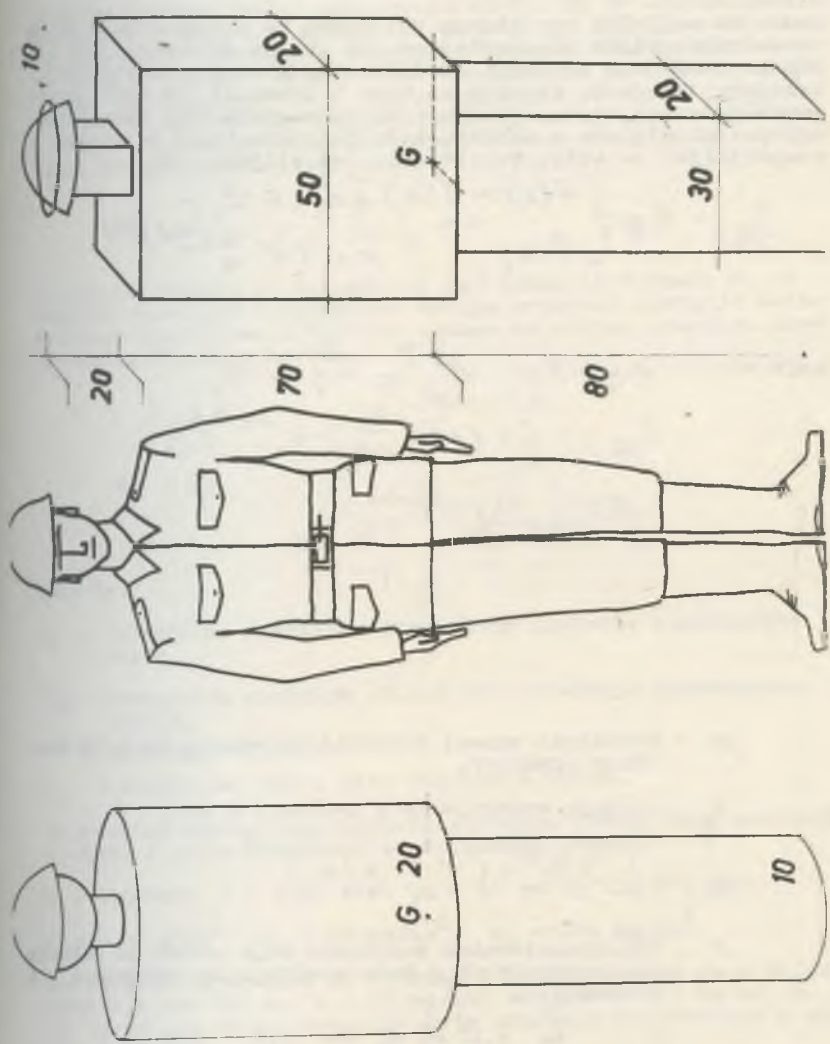
Približan iznos od 50% dobijen je za oba modela.

Ova procjena ukazuje da doza od kontaminacije odjeće može da bude znatna i da se o njoj mora voditi računa u mnogim situacijama. Važno je podvući da je integralna radijaciona opasnost od kontaminirane odjeće mnogo veća nego što izgleda sudeći na osnovu ove procjene. Ovo se može pretpostaviti zbog toga što je kontaminacija odijela neposredan izvor interne kontaminacije i što prašina sa odijela može lako prodrijeti do kože, gdje su moguće i visoke doze od beta-zračenja.

4. Procjena doza na koži od beta zračenja

U literaturi postoje podaci o nivoima doza beta zračenja za slučaj kada se kontaminant nalazi neposredno na koži /12/, ali nema podataka, koliko smo mi mogli saznati, o dozama od kontaminacije

Sl. 5.



minanta koji se nalazi na odjeći. Pretpostavljajući da će ov biti čest slučaj u ratnim uslovima, pokušali smo da procijen mo raspodjelu energije, odnosno doze beta zračenja u odjeći tkivu.

Jedan od najčešće korišćenih postupaka za procjenu doza od b ta emitera potiče od Loevingera. On je dao poluempirijski iz raz za dozu beta zračenja od tačkastog izvora u beskonačnoj homogenoj sredini. Kasnije su Hine i Brownall, na bazi Loevi gerovog izraza, izveli formulu za raspodjelu faze beta zrače nja po dubini kože u slučaju kada je kontaminant uniformno raspodjeljen po koži. Ova formula ima slijedeći oblik:

$$D_{\beta x} = K_{\beta} \begin{cases} F(x) + \rho(x) & za x \leq \frac{c}{u} \\ \rho(x), & za x > \frac{c}{u} \end{cases} \left[\frac{rad}{cm^2} \right] / 61$$

gdje su:

$$K_{\beta} = 80 \cdot 10^{-9} \mu \bar{E}_{\beta} L A_{\beta}$$

$$F(x) = C \left(1 + \mu \frac{c}{u x} \right) - e^{1 - \frac{u x}{c}}$$

$$\rho(x) = e^{1 - \mu x}$$

μ - efektivni maseni koeficijent apsorpcije beta zračenja /cm²/gr/,

E - srednja energija beta zračenja u MeV,

$$L = \left[3c^2 - (c^2 - 1)e \right]^{-1}$$

c - bezdimenzionalna konstanta koja zavisi od maksimalne energije E_0 beta zračenja ima slijedeće vrijednosti:

$c = 2$	za	$0,17 \leq E_0 \leq 0,5$	MeV
$c = 1,5$	za	$0,5 \leq E_0 \leq 1,5$	MeV
$c = 1$	za	$1 \leq E_0 \leq 3$	MeV,

A_s - specifična površinska kontaminacija /dez/cm²/,

x - dubina na kojoj se računa doza.

U našem slučaju, pošto smo pretpostavili da se kontaminant ne nalazi direktno na koži, već na odjeći, bilo je potrebno da procijenimo raspodjelu energije, odnosno doze beta-zračenja između odjeće i tkiva kože. Kao baza za proračun poslužila nam je formula 6, koju smo integrirali po dubini odjeće, odnosno tkiva. Na ovaj način dobija se izraz 7, pomoću kojega se može izračunati integralno apsorbovana energija beta-zračenja do određene dubine odjeće ili tkiva.

$$D = \int_0^{R_0} D_{\beta}(x) dx \quad 17/$$

Koristeći formulu 7, definisali smo odnos iz formule 8, iz kojega se relativno jednostavno dobija procenat energije beta-zračenja apsorbovan u tkivu u odnosu na ukupnu energiju apsorbovanu u odjeći i tkivu.

$$\frac{D_t}{D_{od} + D_t} = \frac{\int_B^{R_0} D_{\beta}(x) dx}{\int_0^b D_{\beta}(x) dx + \int_B^{R_0} D_{\beta}(x) dx} \quad 18/$$

gdje je:

D_t - integralna energija /doza/ beta zračenja apsorbovana u tkivu,

D_{od} - integralna energija /doza/ beta zračenja apsorbovana u odjeći,

b - debljina odjeće,

R_0 - maksimalni domet beta čestica u tkivu.

Za proračun odnosa apsorbovanih energija /doza/ beta zračenja u odjeći i tkivu korišćeni su slijedeći podaci:

$E_0 = 1,4$ MeV: $E = 0,53$ MeV: $\mu = 12$ cm²/g : $c = 1,5$:

$R_0 = 0,69$ g/cm²: $b_1 = 55$ mg/cm²: $b_2 = 220$ mg/cm²:

Kao rezultat proračuna po formuli 8 dobili smo da se u tkivu apsorbuje oko 40% za $b = 55$ mg/cm² odijela i oko 4% za $B = 220$ mg/cm² od ukupne energije beta zračenja apsorbovane u odjeći i tkivu.

Zaključak

1. Zračenje sa kontaminiranih objekata i odjeće predstavlja -

značajan procenat doze kojoj je čovjek izložen na kontaminiranom terenu.

2. Za procjenu jačine doze koju daje zračenje sa kontaminiranih površina vozila i odjeće postavljeni su modeli i izvedene odgovarajuće formule potrebne za proračune.

3. Gama zračenje sa kontaminirane odjeće daje približno iste doze kao i zračenje sa kontaminiranog terena ako su u oba slučaja nivoi kontaminacije bliski.

4. Postavljeni modeli i formule zahtijevaju eksperimentalnu - provjeru zbog toga što izvedene procjene, mada vrlo aproksimativne, ukazuju na značajne iznose doza koje daje zračenje sa kontaminiranih vozila i odjeće. Eksperimentalna procjera je - potrebna i zbog drugih sličnih proračuna.

Evaluation of Total Dose Exposure for Various Distances between Man and the Contaminated Area

Summary

The paper evaluates the total dose of a man exposed to radiation both of the uniform contaminated area and the contaminated objects or clothes. In order to achieve this, the models have been set up and the corresponding equations derived. The evaluation based on the models and equations mentioned shows that the radiation of the contaminated motor vehicles or clothes represents 30%, i.e., 50% of the total dose exposure.

Literatura:

1. Samuel Glasstone, Editor, The Effects of Nuclear Weapons, USAEC, 1964, Washington:
2. Hiršfelder, Atomska bomba i lična zaštita, /prevod sa engleskog/, "Vojno delo", Beograd, 1954:
3. Ivan Franko, Radiološka kontaminacija pri nuklearnim vazdušnim eksplozijama male snage, "Vojno delo", 4, br.35, - 1964:
4. P. Ivanov, Zaštita trupa od radioaktivnog dejstva, "Vojna misao", No. 8/61:
5. Clayton S. White, i ostali, Comparative Nuclear Effects - of Biomedical Interest, USAEC Report CEX -58,8, Jan.12,- 1961:
6. W.E. Strobe, Evaluation of Countermeasured System Components and Operational Procedures, WT-1464, Sept. 1959:
7. William Lee and Henry Borella, Methods and Techniques of fall-out Studies Using a Particulate Simulant, ZSAEC, CEX 59, 7C:
8. A.I. Breslin, P. Loysen i ostali, Protection Against fall out Radiation in a Simple Structure, USAEC, WT-1462:
9. Carl F. Miller, The Radiological Assessment, and Recovery of Contaminated Areas, USAEC, CEX-57,1:
10. Z.G. Burson, Experimental Evaluation of the fall-out Radiation Protection Provided by Selected Structures in the - Los Angeles Area, USAEC Report, CEX-61.4, 1963:
11. Z.G. Burson, Comparison of Measurement in Above-ground and Below-ground Structures from Simulated and Actual fall - out Radiation, USAEC, CEX-59.7B, Feb. 1963:
12. G.R. Newbery, Measurement and Assessment of Skin Doses from Skin Contamination, AHSB/RP/ R39, 1963:
13. Loewinger R., The Dosimetry of beta radiations, Radiology, 62, 74, 1954:
14. R. Loewinger, The Dosimetry of beta Sources in Tissue. - The Point Source Function, Radiology 66, 55, 1956:
15. C.I. Hine, Brownell /Ed./, Radiation Dosimetry, Academic-Press Inc., New York, 1956:
16. V.I. Ivanov, Dozimetrija ionizirujućih izlučenij, Atomizdat, Moskva, 1964:
17. O.I. Lejpunskij, B.V. Novožilov, V.N. Saharov, Rasprostranjenje gamma-kvantov v veščestve, Gosudarstvenoe izdat. fiz mat. literaturi, Moskva, 1960:
19. N.G. Gusev, E.E. K valej, D.P. Osanov, V.I. Popov, Zaščita ot izlučenija protjažnenih istočnikov, Gosatomizdat, - Moskva, 1961.

Instrumentacija za kontrolu i mjerenje radioaktivne kontaminacije

S. Muždeka

Sve veće korišćenje nuklearne energije, prirodnih i vještačkih radioaktivnih elemenata dovelo je do razvoja metoda i aparatura koje omogućavaju detekciju i mjerenje raznih vrsta zračenja.

Kontrole koje se koriste u radiološkoj zaštiti odnose se na slijedeće grupe:

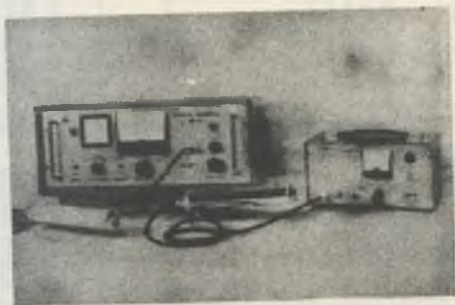
- a/ kontrola i mjerenje radijacionih polja,
- b/ kontrola i mjerenje kontaminacije lica, odjeće i mjesta,
- c/ kontrola i mjerenje kontaminacije atmosfere i voda,
- d/ kontrola interne kontaminacije.

U tabeli 1. dat je pregled instrumentacije domaće i strane proizvodnje koja se koristi u našoj zemlji. Prema izvedbi instrumenti su podijeljeni na tri grupe:

- a/ sa elektronskim cijevima /osnovni dio bez napajanja/,
 - b/ sa elektronskim cijevima,
 - c/ sa tranzistorima i ostalim poluprovodničkim elementima.
- Iz tabele se vidi da veći dio instrumentacije koja se sada koristi sadrži konstrukcije sa elektronskim cijevima. Razvoj ove instrumentacije vršen je prije 5 do 8 godina.

Brz razvoj elektronike posljednjih godina omogućio je korišćenje elemenata koji imaju veliku prednost nad klasičnijim rješenjima.

Mogu se navesti neke od važnijih osobina savremenih poluprovodničkih elemenata kao:



Sl. 1

- dug život: dok se život elektronskih cijevi kretao od 1.000 časova kod normalnih do 20.000 časova kod specijalnih kod dobrih tranzistora računa se sa životom od preko 100.000 časova do više desetina miliona časova kod integrisanih kola i mikrolozičnih elemenata;
- male dimenzije: na slici 1 dat je izgled monitora zračenja u cijevnoj izvedbi /MZ-1/ i sličnog u tranzistorskoj izvedbi /KOMO-T/;
- mala potrošnja: dok u gornjem primjeru monitor zračenja u

Tabela 1.

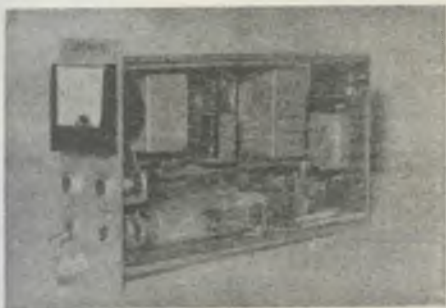
PREGLED INSTRUMENTACIJE ZA POTREBE RADIOLOŠKE ZAŠTITE						
MERNI JEDINICE	KONTROLA RADIACIONIH POLJA		KONTROLA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE		MERNI JEDINICE	MERNI JEDINICE
	IONIZ. DOZ. KOMORE	IMPL. DETEKTORI	POVRŠINA	ATMOSFERE (AEROSOLI)		
L L K T D S X Y	PIŠTOLJ-DOZIMETAR PD-5 2, "Pionir" ECCO (Engl.)	PRENOSNI MONITOR - PM-46 "Pionir"	MONITOR ZRAČENJA - MZ-1 (E.U. NIB) - IPAB (Franc.) - Aimos (Engl.) - ECCO (Engl.) 1 drugi	APARATURA ZA KONTROLU NIZALNU KONTROLU AEROSOLA - "Frisco" Hoepfer (Zap. Nem.) - BADAIR EAR 630 (Franc.) 1 drugi	MERNI NISKI BETA-AKTIVNOSTI - "Philips" (Hol.) URFD) ZA MERNIJE UZORAKA - "Frisco" Hoepfer (Zap. Nem.) - "Nuclear Chicago" (Am.) - "Taccidol" (Am.) 1 drugi	MERNI JEDINICE KONTAMINACIJE
C F V E	RADIOLOŠKI DETEKTOR - URD-30 "E. Čajavec"					
EL. ČIPI I TRAVNIK	PIŠTOLJ-DOZIMETAR - "Nuclear Chicago" (Am.) - "Aimos BAREP" (Am.)					UREĐAJ ZA MERNIJE AKTIVNOSTI CELOG TELA (IBK)
Y K A S Z I S T D E F	LOVAC ZRAČENJA - PLZ-56 (IBK) ALARMNI URFD)JI - LOGAL-10 (IBK) - LOGAL-20 (IBK) PRENOSNI RADIOLOŠKI DETEKTOR - RD-60/a "Čajavec"		MONITOR ZRAČENJA - EOMB-T (IBK) - DSH (Franc.)	APARATURA ZA KONTROLU NIZALNU KONTROLU AEROSOLA - ACA-2 (IBK)	MERNI NISKI BETA-AKTIVNOSTI - LOLA-1 (IBK) MODULARNA NUKLEARNA ELEKTRONIKA Poljskoveč Diferencijalni analizator Švedski Tajveni Vremenska baza Merni brojni brojilica Visoki napetost	MERNI JEDINICE CELOG TELA (IBK)

MZ-1 ima potrošnju oko 100 W, tranzistorska verzija ima potrošnju do 1W, tako da može da se koristi i kao prenosni instrument;

- neosjetljivost na potrese: dok su se klasični elementi ispitivali da izdrže ubrzanja od nekoliko desetina g, savremena integrisana kola ispituju se na ubrzanje do 40.000 g.,

- temperaturni opseg: savremeni silicijumski poluprovodnički elementi rade u opsezima od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$.

U Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" razvijen je u toku posljednje 2 do 3 godine izvjestan broj instrumenata u tranzistorskoj tehnici, a u toku je rad na razvoju instrumenata sa integrisanim kolima. U daljem izlaganju daćemo kratak pregled i glavne osobine razvijenih instrumenata.



Sl. 2

Za kontrolu radijacionih polja podesan je alarmni uredjaj LO GAL-lo /Sl.2/. Sistem njegove konstrukcije omogućava daljinsku kontrolu sa postavljanjem sonde do 200 metara. Instrument se koristi za kontrolu većih zgrada, objekata ili laboratorija sa centralnog mjesta i omogućava brzu indikaciju porasta intenziteta zračenja. Pored alarma, koji djeluje u slučaju prekoračenja odredjenog nivoa zračenja, može se izvršiti i očitavanje nivoa na mjernom instrumentu sa logaritamskom skalom /0,1-1-10 mr/čas/.

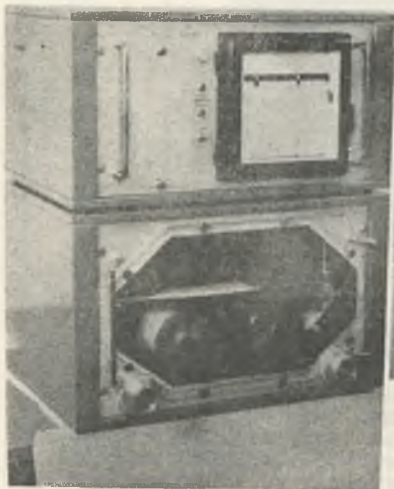
Za kontrolu i mjerenje spoljne kontaminacije lica, odjeće, obuće i pojedinih mjesta može se koristiti monitor zračenja KO MO-T /Sl.1/. Sonde za mjerenje alfa ili beta-gama-zračenja odvojene su kablom od instrumenta, koji ima četiri linearna opseg. Pored ovog, postoji i akustička kontrola broja impulsa. Napajanje se vrši sopstvenim akumulatorom, a predviđen je i priključak na mrežu.

Tehnike za mjerenje kontaminacije vazduha su u opštem slučaju veoma delikatne, jer su u većini slučajeva maksimalno dozvoljeni nivoi veoma niski. Kontaminacija vazduha sadrži prirodnu radioaktivnost kojoj treba dodati vještačku radioaktivnost koja potiče od nuklearnih eksplozija i trenutno je veoma niska. Aparatura za kontinuelnu kontrolu vazduha ACA-2 /Sl.3/ omogućuje mjerenje koncentracije prirodnih i vještačkih aerosola u vazduhu. Upotrebom novog antikoincidentnog kola sa ha

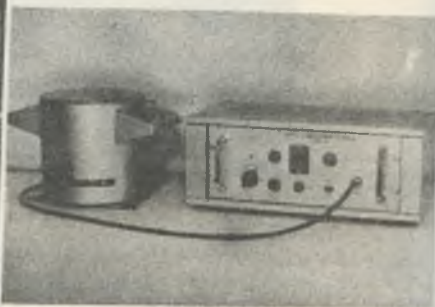
logenim GM brojačima i primjenom isključivo tranzistorskih kola ova aparatura dobija osobine koje se stavljaju u red najosjetljivijih uređaja ove vrste u svijetu.

Za mjerenje uzoraka niskog aktiviteta za potrebe radiološke - medicinske, civilne zaštite i drugih napravljen je uređaj LO-LA-3 (Sl.4). Uređaj je zasnovan na primjeni antikoincidentnog kola sa halogenim GM brojačima, čime se postiže znatno sniženje spoljašnjeg fona i omogućava mjerenje uzoraka veoma niskog aktiviteta. Broj upotrebljenih elektronskih komponenti sveden je na minimum, čime je obezbjeđena velika pouzdanost uređaja i mala potrošnja energije. Omogućeno je i napajanje iz akumulatora od 12 V, tako da se aparatura može koristiti i u pokretnim laboratorijama.

Slika 3.



Slika 4.



Na slici 5 prikazan je Gajgerov brojač za očiglednu nastavu, namijenjen za obuku kadrova u školama i na kursevima. Prosteje konstrukcije, a omogućava detekciju alfa i gama zračenja. U toku je razvoj mogula tranzistorske nuklearne elektronike - sa svim potrebnim analognim i digitalnim funkcijama potrebnim za rad u osnovnim istraživanjima, radiološkoj zaštiti, energiji i primjeni izotopa.

Iz oblasti korišćenja minijaturnih poluprovodničkih savremenih elemenata dovršava se razvoj prototipne pokretne radiološke stanice za terenske uslove.

Cio rad kod nas u oblasti instrumentacije za radiološku zaštitu može se prikazati u tri etape.

ii SPOLJNA DEKONTAMINACIJA ČOVEKA

O pitanjima radiološke kontaminacije i mogućnostima dekontaminacije ljudske kože

B. Pendić

Brzi razvoj nuklearne energije za posljednjih 20 godina i - sve šira primjena radioaktivnih supstancija u istraživanjima, medicini i tehnicima stalno proširuje krug ljudi koji dolaze u dodir sa izvorima jonizujućih zračenja. Slučajnost po vrede osoblja koje radi sa radioaktivnim izvorima /ozračivanje ili radioaktivna kontaminacija/ uvijek postoji i može - da varira od blage bolesti do najteže nesposobnosti i mogućnosti smrti. Razumije se da samim tim i problemi radiološke zaštite postaju sve kompleksniji, kao i mjere za njeno praktično sprovođenje. Pogotovo ovi problemi izbijaju u svoj oštrini u izvanrednim uslovima atomskog rata.

Potencijalna mogućnost radioaktivnog zagadjenja postavila - je u prvi plan pitanje radiološke kontaminacije zaposlenog osoblja, jer i pored svih zaštitnih i kontrolnih mjera ne mogu da se izbjegnju manji ili veći akcidenti radiološke kontaminacije ljudi, i gotovo svakodnevno, na mjestima gdje se radi sa radioaktivnim supstancijama, susrećemo se sa ovom vrstom radiološkog akcidenta. Medjutim, dok se ova vrsta akcidenta u mirnodopskim uslovima javlja u najvećem broju slučajeva pojedinačno, u izvanrednim uslovima dolazi do masovne kontaminacije civilnog stanovništva i borbenih jedinica. Iz praktičnih razloga kontaminaciju ljudi dijelimo na spoljnu i unutrašnju.

Pod spoljnom kontaminacijom čovjeka podrazumjeva se neželjeno prisustvo radioaktivnih supstancija na koži i vidljivim sluzokožama. Spoljna kontaminacija je najčešći radiološki akcident sa kojim se susreće u praksi. Nekoliko je osnovnih razloga koji nalažu brzu intervenciju u slučaju kontaminacije kože:

- sprečavanje transkutane unutrašnje kontaminacije,
- sprečavanje unutrašnje kontaminacije ingestijom i inhalacijom,
- sprečavanje direktnog ozračivanja bazalnog sloja epidermisa, kože i potkožnog tkiva /specijalno od nataložene beta emitera/,
- sprečavanje naknadnog djelimičnog ili opšteg ozračivanja tijela kod intenzivnih kontaminacija kože gama emitera.

Nazori o koži kao zaštitnom omotaču i barijeri koja sprečava prodiranje toksičnih supstancija u organizam u znatnoj mjeri su izmjenjeni /1,2,3/. Normalna, intaktna koža relativno je nepropustljiva za većinu supstancija, no ipak transkutani put prodiranja različitih toksičnih spojeva nije bez značaja i može da dovede čak i do fatalnih intoksikacija /4,5/. Sposobnost izvjesnih supstancija da lokalno prodru u dublje slojeve kože odavno se koristi u terapeutske svrhe u dermatološkoj praksi. Ne ulazeći u objašnjavanje mehanizma transkutane absorpcije, što prelazi okvire ovog kratkog pregleda, navodimo da se prema podacima iz literature /2,6,7/ i radova obavljenih u našoj laboratoriji vidi da radioaktivni izotopi dosta brzo prodiru kroz intaktnu kožu i da se najveća količina kontaminanta absorbuje u prvim satima poslije kontakta sa kožom. Količina prodrle aktivnosti u zavisnosti je -

od veličine kontaminirane površine kože, specifične aktivnosti sa kožom /7,8/. Razumije se da količina prodrle aktivnosti u mnogome zavisi od stanja kože, jer kod povećane hidratacije stratum corneum /vlažna, znojna koža/ koja je ne samo znatno propustljivija, već se povećava i brzina prolaza za sve supstancije /3,8/. Kod oštećenja, otvorenih rana i opekotina, količina prodrle aktivnosti može da iznosi i 50% pri sutnog radioizotopa /9/. Ispitujući brzinu prodiranja Sr 90, Cs 137, I 131 Milivojević i Stojanović ukazuju da se ovi izotopi detektuju u krvi već nekoliko minuta poslije nanošenja na kožu /7/.

Današnje mogućnosti unutrašnje dekontaminacije vrlo su ograničene i zbog toga spoljna dekontaminacija spada, po našem mišljenju u hitne medicinske zahvate, jer smanjuje, ili potpuno sprečava transkutanu internu kontaminaciju, ako je blagovremeno preduzeta.

Nema kvantitativnih podataka koji bi ukazivali na odnos površine kontaminirane kože i ingestije kontaminanta. Somasundaran /10/ razmatrajući problem kontaminacije kože kod radnika u Indiji, ingestiju smatra za najvažniji faktor interne kontaminacije, obzirom na običaj da se hrana uzima rukama i to toliko više što hrana u ovom slučaju ima izvjesna svojstva dekontaminacije. Bailey i Rohr /11/ na osnovu svojih ispitivanja zaključuju da 0.1% aktiviteta kontaminiranih ruku dospjeva u organizam putem inhalacije - preko pušenja cigareta. U razmatranju opasnosti spoljne kontaminacije ne smiju se zaboraviti i ovi parametri.

Prilikom termonuklearne eksplozije na Bikiniju 1954. godine došlo je uslijed rasprostiranja radioaktivnih padavina, do accidentalne kontaminacije stanovnika Maršalskih ostrva i posade jednog japanskog ribarskog broda. Tom prilikom je zapaženo da je kod velikog broja osoba, čiji su otkriveni dijelovi i tijela bili zagadjeni radioaktivnom prašinom, došlo do teških oštećenja kože, tzv. beta opekotina različitog stepena - koje su bile u direktnoj zavisnosti od intenziteta radioaktivne prašine i kože. Koža pokrivena odjećom ili nije pokazivala nikakve promjene ili su promjene bile mnogo blažeg karaktera, a u osoba koje su se neposredno poslije kontaminacije obale ili oprale zagadjene dijelove kože, kožne promjene nisu zapažene /13/. Jedan jednostavan postupak spriječio je teške posljedice.

Kontaminanti koji mogu da dovedu do oštećenja kože su alfa i beta emiteri. Orožali sloj epidermisa je često dovoljan da zaustavi alfa zračenje i da posluži kao zaštitni ekran za dublje slojeve epidermisa. No, pošto prilikom svake kontaminacije dolazi i do djelimičnog prodiranja aktiviteta u kožu /epidermis/ ne može da se izbjegne ozračivanje bazalnog sloja epidermisa. Prema Dunster /11/ u prosjeku doza za alfa emitere iznosi 100 rem/h za kontaminaciju od $1 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$. Opasnost od adherentnih beta emitera zavisi u prvom redu od osobina izotopa, njegovog vremena poluraspada i energije zračenja. Tako je dejstvo ^3H i ^{14}C , koji emituju beta zračenje male energije, ograničeno uglavnom na orožali sloj epidermisa i prouzrokuje neznatna oštećenja. Zračenja veće energije

^{35}S i ^{45}Ca na primjer, dovode do nekrotičnih pojava u epidermisu, a zračenja koja dublje prodiru u kožu - ^{32}P i ^{90}Y izazivaju teške ulcerativne lezije. Na slijedećem grafikonu prema Conardu /13/ prikazana je topografska raspodjela gubitka energije za pojedine izotope koji su nam istovremeno označuju i mjesto očekivanih lezija. Koliko su doze beta zračenja raznih emitera, koje su potrebne za izazivanje istih lezija kože, zavisne od energije zračenja pokazuje tabela br.1 /14/.

Površinska doza koja izaziva epidermalna oštećenja u svimje

Prema Formann

Isotop	Srednja energija (MeV)	Površinska doza (Rep)
^{35}S	0.05	20 000-30 000
^{45}Ca	0.1	4 000- 5 000
^{137}Cs	0.2	2.000- 3 000
^{90}Sr	0.3	1 500- 2 000
^{91}Y	0.5	1 500- 2 000
^{90}Y	0.7	1 500- 2 000

Tabela 1.

Za određivanje doze od beta zračenja preporučeni su različiti načini izračunavanja od strane pojedinih autora /15/. Na tabeli br. 2 date su doze za beta i gama emitere za bazalni sloj epidermisa kod kontaminacije $1 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ prema modifikovanoj formuli Casantija i Brenera /16/.

Maksimalno dozvoljeni nivoi kontaminacije kože

Pošto se prilikom kontaminacije jedna određena količina kontaminanta dosta brzo fiksira za kožu i koju je nemoguće, bez obzira na upotrebljena sredstva i metode, u potpunosti ukloniti sa kože bilo je neophodno da se odrede maksimalno dozvoljeni nivoi za kontaminaciju kože. Ovi nivoi su računati u funkciji primljene doze bilo od germinalnih ćelija kože bilo - od cijelog organizma uslijed ingestije, inhalacije i transkutanе resorpcije. Barnes i Dunster /11, 17/ su izračunali maksimalno dozvoljene nivoe u odnosu na dozu primljenu od kože i ove vrijednosti date su u tabeli br.3.

Warnja: Iako postoje danas na tržištu mnogobrojni aparati za mjerenje nivoa kontaminacija beta i alfa emitera jednakih ili nižih od maksimalno dozvoljenih nivoa, mora da se konstatuje da u zemlji ne raspolažemo standardnom opremom u te svr

he. Čak ni u nuklearnim institutima ne raspolažemo odgovarajućim instrumentima za detekciju mekih beta emitera kao ^{14}C i ^{35}S , a da ne govorimo o ^3H za čije mjerenje je neophodna posebna tehnika. Takođe je veoma malo učinjeno na razvoju-mikrosondi za detekciju alfa i beta kontaminacije rana. Planje detekcije i izrade standardnih i pouzdanih aparata je po našem mišljenju problem kome nije poklonjena odgovarajuća pažnja i čijem rješavanju treba planski pristupiti.

Prevenција kontaminacije

U radu sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja od kontaminacije možemo da se zaštitimo nošenjem odgovarajuće zaštite odjeće. Pošto su ruke najugroženije, a rad sa rukavicama ponekad otežava posao, vršena su ispitivanja zaštitnih kremova u prevenciji kontaminacije. Mišljenje o ulozi zaštitnih kremova u prevenciji kontaminacije nisu jedinstvena. Neki autoriti preporučuju njihovu upotrebu kao korisnu /18, 19, 20, 21/, dok drugi nisu zapazili neki izrazitiji efekat ovih kremova /22, 23, 24/. Prema našim ispitivanjima zaštitni kremovi imaju izraziti efekat na sprečavanje transkutane resorpcije /25/ s jedne strane i s druge znatno utiču na povećanje faktora dekontaminacije, pa i na krajnji efekat dekontaminacionog postupka, a nanijeti dovoljno u debelom sloju mogu da predstavljaju zaštitu od alfa i mekih beta zračenja. Naše je mišljenje da zaštitni kremovi mogu da se preporučuju kao preventivno sredstvo u radu sa radioaktivnim materijalima.

Odiijela. U izvanrednim uslovima značajnu zaštitu od kontaminacije tijela radioaktivnom prašinom može da pruži prikladno odijelo, koje sem što sprečava neposredni kontakt radioaktivnih padavina sa kožom, služi i kao značajan zaštitni ekran za beta zračenja. Pogodnija su odijela od fino tkanih tkanina-gabarden, pamučne tkanine, od grubo tkanih kao tvid i sl. jer se sa ovih drugih radioaktivna prašina mnogo teže uklanja. Najpogodniji tip odijela za kretanje i rad u kontaminiranoj zoni je zatvoreni radnički kombinezon.

Dekontaminacioni postupak i sredstva

U principu potrebno je pri dekontaminaciji kože ukloniti kontaminant u potpunosti, što je praktično neizvodljivo jer u procesu kontaminacije dolazi do fiksiranja kontaminanta za kožu u većoj ili manjoj mjeri. Ne ulazeći u mehanizam fiksiranja kontaminanta za kožu može da se kaže da se prilikom kontaminacije kože formiraju tri sloja:

- prvi, čini nataloženi kontaminant koji nije vezan za kožu - pa se lako uklanja,
- drugi, vezan za kožu /bilo da je u pitanju fizička bilo hemijska adhezija/, može da se ukloni relativno jednostavnim postupcima,
- treći, čini čvrsto vezani materijal za površinu, ili onaj koji je već prodro u kožu, pa se stoga veoma teško uklanja - i zahtijeva dugotrajne, često veoma komplikovane i agresivne metode uključujući i hiruršku intervenciju.

Najveći dio kontaminanta nalazi se u prva dva sloja i rutinska dekontaminacija, koja može da se izvodi u manjim dekontam

inacionim punktovima, ili na licu mjesta, pa čak i na otvorenom prostoru, svodi se na uklanjanje prva dva sloja sa kože.

Vršena su i sve intenzivnije se vrše ispitivanja u pronalaze nju pogodnih dekontaminacionih sredstava i odgovarajućih metoda njihove primjene u slučajevima radiološke kontaminacije. I pored toga što su se neki autori trudili da što više preciziraju upotrebljeni postupak u odnosu na vrijeme trajanja, jačinu pritiska pri čišćenju, površinu pranja, količinu sredstava za čišćenje itd /6/, nemoguće je izvršiti međusobno upoređivanje dobijenih rezultata, obzirom na mnogobrojne faktore koji na njih utiču: tehnika mjerenja, način dekontaminacije, hemijski oblik i količina upotrebljenog kontaminanta, hemijski oblik dekontaminacionog sredstva /specijalno za komercijalizovane produkte/ itd. I samo na osnovu arbitrarnog prosudjivanja, a na osnovu rezultata više autora, može da se procijeni da bi izvjesna dekontaminaciona sredstva bila efikasna i pod drugim uslovima.

Dok u mirnodopskim uslovima rada, u većim dekontaminacionim centrima gdje se dekontaminacija izvodi u prisustvu obučenog osoblja, mogu da se upotrebljavaju komplikovane metode i specijalno pripremljena skupocjena sredstva i aparati, dotle u rutinskim dekontaminacionim punktovima, a pogotovo u izvanrednim uslovima treba voditi računa da se zadovolje nekoliko jednostavnih, ali važnih zahtjeva pri izboru sredstava i postupaka:

- da mogu da budu upotrebljena na licu mjesta, direktno od kontaminirane osobe i da mogu da se upotrijebe u masovnom postupku /tj. da su postupci i sredstva prilagodjeni mogućnostima samodekontaminacije u manjem dekontaminacionom punktu ili u improvizovanim uslovima za vanredne prilike/,
- da su dekontaminaciona sredstva ekonomična, efikasna, da se lako nabavljaju preko domaće trgovačke mreže, da su praktična za upotrebu i transport, za stokiranje i da su postojana,
- da njihova upotreba ne dovodi do oštećenja kože i time olakšava i ubrza nastajanje unutrašnje kontaminacije, što bi dovelo do veće opasnosti nego što je realna opasnost spoljne kontaminacije,
- da primjena dekontaminacionih sredstava ne zahtijeva upotrebu specijalnih i dugotrajnih postupaka i specijalnih aparata,
- da se dekontaminacionim postupkom ne zagade čisti dijelovi kože i kontaminacija proširi na susjedne dijelove tijela.

Nemoguće je odrediti jedno univerzalno sredstvo i univerzalnu metodu u dekontaminacionom postupku kod ljudi s obzirom na stanje i individualne razlike kože kod ljudi, na raznovrsnost kontaminirajućih materijala i njihovih fizičko-hemijskih svojstava i zato prema obliku u kome se kontaminacija javlja lokalizovana ili difuzna, prema vrsti i obliku kontaminanta, treba odabrati sredstva i metodu za dekontaminaciju.

Dekontaminaciona sredstva, prema svom načinu djelovanja mogu da se svrstaju na:

- sredstva sa mehaničkim djelovanjem koje se sastoji u jednoj stavnoj akciji spiranja, gdje se pranjem, trljanjem i četkanjem radioaktivna supstanca uklanja zajedno sa sredstvom za -

dekontaminaciju / voda, razni vodeni rastvori i neka bezvodna dekontaminaciona sredstva/,

- sredstva sa fizičkim načinom djelovanja djeluju snižavanje površinskog napona, promjenom električnog naboja, mijenjanjem svojstava površnih koloida kože, sopstvenim koloidnim svojstvima, emulgiranjem itd. /sapun i deterdženti/,

- sredstva sa hemijskim dejstvom stvaraju sa kontaminantom - jedinjenja rastvorljiva u vodi, djeluju putem izotopske dilucije, kao jonski izmjenjivači, djeluju kao helati, itd.

Najčešće je mehanizam akcije dekontaminacionih sredstava kompleksan i uključuje različite vidove mehaničkog, fizičkog i hemijskog načina djelovanja.

Dok je s jedne strane poželjno da se sa površine kože što - pre ukloni što veća količina kontaminanta, s druge strane po nekad je potrebno odustati od dekontaminacije jako adherentnih materija da se dekontaminacionim postupkom ne bi izazvala znatnija oštećenja kože i time otvorio put unutrašnjoj kontaminaciji. Toulet /11/ u ovakvim slučajevima, bez obzira što je nivo kontaminacije kože iznad dozvoljenog, preporučuje da se dekontaminacioni postupak obustavi i obnovi narednih dana u zavisnosti od stanja kože.

Primjena vrućih dekontaminacionih rastvora u načelu se odbacuje i pored veće efikasnosti, jer ona sem termičkog nadražaja kože olakšavaju transkutanu resorpciju otvaranjem kožnih - pora.

Prema ispitivanjima japanskih autora Wadachi i sarad. /26, - 27/ obavljenih na koži svinja i kunića, adsorpcija radioaktiviteta za kožu naglo raste u prvih pola časa poslije kontaminacije, a kasnije je uglavnom proporcionalna vremenu kontakta a kontaminanta sa kožom. Nosek i Shmelor /28/ su utvrdili za visnost dekontaminacionog indeksa od vremena početka dekontaminacije, koji opada ukoliko se dekontaminacija kasnije izvođi. Iz već spomenutih podataka o brznoj transkutanog resorpciji može da se preporuči kao optimalno vrijeme za dekontaminaciju prvih pola časa poslije kontaminacije, što ni u kom slučaju ne znači da dekontaminacija ne može i kasnije da se sprovede. Nikada nije kasno obaviti dekontaminaciju kože.

U procjeni pogodnosti nekog dekontaminacionog sredstva valja dobro procijeniti sve njegove pozitivne i negativne osobine, prije no što se preporuči za humanu upotrebu.

Neki materijal može da se lakše ukloni prevodjenjem u rastvorljivu formu, ali ovo može da rezultira povećanom adsorpcijom kroz kožu. Na primjer radijum i stroncijum u formi nerastvorljivih sulfata teško se apsorbuju. Oni mogu da se napravetopivim i uklone sa razblaženom hlorovodoničnom kiselinom, - ali se time i adsorpcija povećava.

Vlažne supstance olakšavaju transfolikularnu adsorpciju. Površinski aktivne supstance, specijalno neki sintetski deterdženti prema Harroldu /29/ dovode do denaturacije epidermalnog keratina i narušavaju integritet stratum corneum, a Blank /30/ je utvrdio da Na laurat i Dodecyl sulfat prodiru u kožu i da to prodiranje raste sa alkalnošću rastvora. Prema Moskalevu /31/ EDTA povećava adsorpciju rijetkih zemalja i stroncijuma za faktor 2, što u svojim radovima potvrđuje i Mal

kison /3/ i Norwood iz tog razloga odbija primjenu EDTA za dekontaminaciju kože. Foreman /31/ pak nije zapazio ovaj negativni efekat EDTA.

I tako jedna "uspješna" dekontaminacija, gdje je nevedeći račun o negativnim efektima sredstava i metoda, dekontaminant uklonjen u potpunosti, može da ima mnogo teže posljedice nego da dekontaminacija nije ni obavljena.

Lista dekontaminacionih sredstava iz dana u dan se povećava, takodje postoji i veliki broj postupaka koji se upotrebljavaju u dekontaminaciji i kritički prilazeći podacima iz literature i našim sopstvenim iskustvima možemo da kažemo da je za rutinsku dekontaminaciju najpogodniji klasični postupak /prihvaćen od većine nuklearnih centara/ pranja kože dekontaminacionim sredstvom i naizmjeničnog ispiranja vodom.

Pri izboru sredstava u ovom postupku opšte pravilo koje treba poštovati jeste primarna upotreba blagih sredstava, pa tek kada se sa njima ne postigne željeni efekat treba upotrijebiti diferentnija sredstva, što znači da u svim slučajevima dekontaminacije treba prvo primijeniti sredstva sa fizičkim načinom akcija, pa tek onda upotrijebiti hemijska sredstva.

Najprije u dekontaminaciji kože treba upotrijebiti neutralne /ili blago alkalne/ sapune i vodu, zatim 2-5% rastvora sintetičkih deterdženata, pa tek pošto je glavna količina radioaktivnog materijala uklonjena vodom i ovim sredstvima primjenjuje se 1-više procentni rastvori kompleksirajućih sredstava - /EDTA, DTPA, soli limunske kiseline itd/. U postupku dekontaminacije preporučuje se upotreba meke četke, radi ubrzavanja mehaničke akcije spiranja. Pri upotrebi četke treba voditi računa da se grubim četkanjem ne ošteti površinski sloj epidermisa.

Čim koža u procesu dekontaminacije pokaže simptome iritacije ili oštećenja /crvenilo, ogrebotine/ postupak dekontaminacije treba obustaviti.

Prvom operacijom čišćenja uklanja se najveći dio aktiviteta, a u narednim operacijama FD opada i kada se približi 1, dekontaminacioni efekat upotrebljenog sredstva prestaje i treba promijeniti dekontaminaciono sredstvo.

Kod većih rezidualnih aktivnosti preporučuje se upotreba zasićenog rastvora $KMnO_4$ za dekontaminaciju. Po našem mišljenju - ovo sredstvo treba upotrijebiti veoma oprezno i pod nadzorom obučenog osoblja, jer izaziva znatno oštećenje kože.

U nedostatku obične vode, prema iskustvima Stajića i saradnika /32/ uspješno može da se upotrijebi i morska voda i rastvor i deterdženata u morskoj vodi.

Takozvana bezvodna dekontaminaciona sredstva ne zaostaju u svojoj efikasnosti za gore navedenim i mogu, osobito u izvanrednim prilikama, uspješno da se upotrijebe /33, 34/. Radi se uglavnom o pastama napravljenim mješavinom deterdženata, kukuružnog brašna, mekinja, kompleksirajućih agenasa i vode u različitim razmjerama, i medju ove spada i mnogo preporučivana pasta TiO_2 o čijoj efikasnosti postoje kontraverzni podaci /35, - 36/. U nuždi za dekontaminaciju mogu da se upotrijebe vlažno-kukuruzno brašno, vlažne mekinje, pa čak i vlažna strugotina. Nanijeta pasta na kontaminiranu površinu poslije blagog trljanja

nja se uklanja tupferom ili mekanom tkaninom. Prednost bezvodnih sredstava je u tome što postoji manja mogućnost zagađivanja susjednih čistih površina.

Dekontaminacija sluzokoža predstavlja poseban problem i najpogodniji način je ispiranje kontaminirane površine u mlazu - tekuće vode. Po našem mišljenju treba izbjegavati upotrebu - hemijskih sredstava.

Princip koji je zaveden u našem Institutu, a koji bi trebalo generalno prihvatiti, je da se kod svake prijavljene spoljne kontaminacije izvrši radiotoksikološka kontrola radi utvrđivanja eventualne unutrašnje kontaminacije.

Prilikom razmatranja postupaka za dekontaminaciju spomenutim i neke koji se suštinski razlikuju od klasičnog postupka, a u izvjesnim slučajevima mogu da budu od koristi.

Takozvana adhezivna dekontaminacija se sastoji u odstranjivanju ljepljivim trakama nataloženog kontaminanta. Istovremeno dolazi i do uklanjanja površnih slojeva orožalog dijela epidermisa i poslije nekolicu postupaka može da dodje i do ozbiljnih oštećenja površine kože. Ovaj postupak može da se primjeni samo na ograničene površine / pretežno na mjestima sujače razvijenim stratum corneumom/. Nedostatak je još što ne može da se upotrijebi za dekontaminaciju jako dlakavih površina.

Michon /37/ primjenjujući metodu jonoforeze za uklanjanje rezidualne aktivnosti postigao je značajne rezultate. Međutim zbog mogućnosti primjene samo na ograničenoj površini, metod a nije prešla okvire laboratorijskih eksperimenata.

Upotreba ultrazvuka u dekontaminaciji kože, postupak koji su u našoj zemlji uveli i na njemu najviše radili, Gligorijević i sarad. /37/, takodje pokazuje u laboratorijskim ogledima - ohrabrujuće rezultate. Po našem mišljenju ovaj postupak u hUMANOJ praksi može da se primjeni u dekontaminaciji ograničenih površina, a osobito u uklanjanju rezidualne aktivnosti nakon već provedenog klasičnog postupka dekontaminacije.

Problem dekontaminacije oštećene kože /rana, opekotina i sl./ izlazi iz okvira ovog referata, međutim ovaj problem zaslužuje posebnu pažnju i o njemu treba raspravljati na ovom skupinu.

Zaključak

Rezimirajući možemo da kažemo da u humanoj dekontaminaciji - treba uvijek imati na umu korist i štetu koji upotrebljeni postupak i sredstvo nosi sa sobom.

Treba najprije upotrijebiti blaga sredstva za dekontaminaciju, pa tek onda preći na diferentnija sredstva.

Voditi računa da se postupkom dekontaminacije ne naruši integritet kože /ne upotrebljavati abrazivna sredstva, organske rastvarače, tvrde četke, ne trljati jako, itd/ i obustaviti postupak dekontaminacije čim se primjete znaci iritacije kože.

Dekontaminaciju treba sprovesti što hitnije, ne samo što se postiže bolji efekat u dekontaminaciji, već i zbog sprečavanja transkutane interne kontaminacije.

Jedno dekontaminaciono sredstvo treba upotrijehiti najviše u dvije do tri operacije čišćenja, pa ako efekat izostane pot-

ebno je promijeniti dekontaminaciono sredstvo.
Zaštitni kremovi mogu da se preporuče kao preventivno sredst
vo za zaštitu kože u radu sa radioaktivnim materijalom.

THE PROBLEM OF RADIOLOGICAL CONTAMINATION AND POSSIBLE DECO NTAMINATION OF HUMAN SKIN

The work is a general review on the achievements in the fie
ld of external radiological decontamination of man made so
far in our country and abroad.

Hazards induced by external contamination of skin such as -
internal contamination caused especially by transcutaneous-
resorption of radionuclides and local action of the contami
nation on the skin have been investigated. The problem of -
permissible levels of skin contamination has also been inve
stigated.

A survey is given of the procedures and means of decontamin
ation, their advantages and disadvantages, as well as the pr
oblems encountered in the selection of the procedures and -
agents, so the most suitable sequence of operations in the
process of decontamination is presented. The role of protec
tive creams in the process has also been considered.

Dekontaminacija ljudske kože eksperimentalno zagađene radioaktivnim izotopima

G. Žarković

U upotrebi otvorenih izvora zračenja može doći do kontaminacije kože na rukama i drugim dijelovima tijela. Brza i efikasna dekontaminacija u takvim slučajevima ima velik preventivni značaj. Ona treba da spriječi unošenje radioaktivnih materijala u organizam, kao i njegovo raznošenje na okolne predmete i druge ljude. U katastrofalnim uslovima, a naročito u nuklearnom ratu, dekontaminacija kože i odjeće bi imala sličnu, ako ne i veću ulogu.

Iskustva o efikasnosti različitih sredstava i postupaka se stižu svakodnevnom praksom u mnogobrojnim laboratorijama koje se koriste otvorenim izvorima zračenja. Najvažnija iskustva u dekontaminaciji kože su prikazana u odgovarajućim udžbenicima i priručnicima (2,3,4,7,8,9,10, 12,13). Nažalost - nema sredstava niti metode čišćenja koja bi bila univerzalna za sve radioizotope kojima koža može biti kontaminirana, te radi toga i postoji potreba za daljnjim istraživanjem i proširivanjem iskustava u dekontaminaciji.

Ekperimentalni radovi na proučavanju efikasnosti različitih sredstava i postupaka za dekontaminaciju nisu naročito brojni i uglavnom su novijeg datuma.

Zbog opasnosti koja prati kontaminaciju kože čovjeka radioizotopima, u eksperimentalnim radovima se većinom koriste različite laboratorijske životinje. U malobrojnim eksperimentima nad dobrovoljcima, (1,5,6) korišteni su radioizotopi - niske ili srednje toksičnosti, kao La-114 ili La-140 i P-32. Da bismo mogli raditi na dekontaminaciji radioizotopa visoke i srednje toksičnosti na ljudskoj koži, a da pri tom izbjegnemo opasnosti koje ovakvi eksperimenti predstavljaju za zdravlje pokusnih osoba, mi smo odlučili da radimo na ljudskim lješevima.

Metode rada

Za kontaminaciju ljudske kože upotrebljavali smo slijedeće radioizotope: Sr⁹⁰ (kao SrNO₃), Ru¹⁰⁶ (kao RuCl₃), I¹³¹ (kao NaI) i Cs¹³⁷ (kao CsNO₃).

Radioizotopi su aplicirani na kožu (rame i bedro) ljudskih lješeva po slijedećem postupku: priredi se inicijalna otopina radioizotopa sa aktivnošću dovoljnom za eksperimentiranje (da se poslije aplikacije cca 0,2 ml dobije na koži 400-700 otkucaja u minuti); 0,2 ml ove solucije se pipetom stavi na kožu površine oko 1 cm² i osuši toplim vazduhom. Nakon toga se odredi inicijalna aktivnost, a potom primjeni -

sredstvo za dekontaminaciju. Poslije 3 minute dekontaminant se skida tamponom vate, mjesto se ispere vodom i suši, a nakon toga se mjeri preostala aktivnost. Cio postupak čišćenja se na isti način ponavlja još dva puta. Kontaminant se stavlja na gornju vanjsku trećinu bedra na kojoj ima malo dlaka. Za dekontaminaciju se upotrebljena slijedeća sredstva: 1. voda iz česme; 2. destilovana voda; 3. mineralna voda iz banje Ilidže (prirodna, termalna, natrijumhidrokarbonatna, kalcijumfosfatna, kisela i sumporasta voda, pH - kod 20° C = 6,75); 4. 5%-tna vodena otopina limunske kiseline; 5. zasićena vodena otopina $KMnO_4$; 6. 10%-tna otopina stabilnog natrijevog jodida; 7. sapun "Zlatorog", 1%-tna otopina; 8. 1%-tna otopina "Oskara", "Perila", "Biljane", "Tajma" i "Albusa"; 9. 40%-tni natrijev laurilsulfat, uz dodatak natrijevog sulfata; 10. 15%-tni trietanolaminlaurilsulfat; 11. 20%-tni natrijev oleat; 12. sapun sa cca 71% masnih kiselina; 13. kukuruzna pasta (50% kukuruzno brašno i 50% deterdžent i voda); 14. kaolinska pasta (64% kaolin, 15% domaćeg sapuna, 3% kalcinirane sode i 18% vode). Kukuruzna i kaolinska pasta su aplicirane u tankom sloju tako da je pasta prelazila rubove kontaminiranog mjesta.

Svaki postupak za dekontaminaciju je isproban po pravilu - četiri puta sa po tri operacije čišćenja za svaki postupak. Razlika u aktivnosti kontaminirane kože prije i poslije svake pojedinačne operacije čišćenja je izražena u procentima. Za četiri ponovljene operacije čišćenja jednim istim dekontaminantom izračunate su srednje vrijednosti procenta smanjenja aktivnosti poslije svakog postupka čišćenja i iskazane su u priloženim tabelama kao efikasnost dekontaminacije za pojedina sredstva i postupke.

Rezultati i diskusija

Na tabeli su prikazane srednje vrijednosti postotaka uklanjanja radioaktivnosti sa kože kontaminirane sa četiri različita radioizotopa upotrebom vode iz česme, destilovane vode, mineralne vode iz banje Ilidže, te vodenih otopina, limunske kiseline i $KMnO_4$.

Voda iz česme i destilovana voda imaju približno podjednaku dekontaminacionu sposobnost, i kao što se iz tabele vidi, uklanjaju bez ikakvih dodataka kod svih upotrebljenih radioizotopa preko 4/5 kontaminanta. Ovo je vrlo važna konstatacija koja pokazuje da je voda najvažnije sredstvo za dekontaminaciju, a sve ostale kemikalije su samo dodatci koji povišavaju dekontaminacionu efikasnost vode. Sr^{90} i I^{131} su se relativno lakše uklanjali nego druga dva radioi

Uklanjanje radioaktivnih materijala sa ljudske koža ekstrakti. Daljno smanjenje radioaktivnosti na pomoću vode i raznih solucija

Tabela 1.

Sredstvo za dekontaminaciju	Sr-89			Ru-106			I-131			Cs-137		
	čišćenje			čišćenje			čišćenje			čišćenje		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Voda iz česme	71,7	81,2	91,0	68,0	74,2	82,8	83,3	92,3	93,6	74,3	83,6	85,7
Destilovana voda	74,6	83,6	89,4	66,4	75,0	83,6	83,1	91,6	94,1	70,5	82,1	84,7
Mineralna voda-Ilidža	44,9	63,8	80,8	50,2	70,7	80,1	93,4	95,6	97,1	58,5	76,8	82,3
5%-tna limunska kiselina	75,7	87,3	90,7	49,3	62,8	73,6	66,1	83,5	84,9	68,0	78,3	80,3
Zasićena otopina $KMnO_4$	43,3	60,5	70,4	46,2	56,3	64,4	62,6	70,7	79,4	71,3	85,1	90,8

zotopa.

Mineralna voda iz banje Iliđe se pokazala manje efikasnom nego obična voda, izuzev prema I^{131} koga je uklanjala sa vrlo velikom efikasnošću. Mi smo podvrgli mineralnu vodu iz banje Iliđe ispitivanju radi toga što je Toulet (11) saopštio da je svojim losionom M.O. 385 postigao odlične rezultate u dekontaminaciji kože in vivo, a skoro 93% njegovog losiona predstavlja prirodna natrijeva, monosulfatna voda sličnog sastava kao voda iz banje Iliđe (iz izvora na desnoj obali rijeke Željeznice, pored puta Iliđa-Hrasnica).

Limunska kiselina i njezina natrijeva so se primjenjuju u praksi dekontaminacije tek pošto su iscrpljene mogućnosti dekontaminacije pomoću vode i sapuna. Limunska kiselina bi trebalo da obrazuje sa kontaminantom komplekse koji se lakše ispiraju. Mi smo, međutim, u našem eksperimentu primijenili 5%-tnu otopinu limunske kiseline primarno u cilju upoređenja njene efikasnosti sa pranjem običnom vodom. Kao što se vidi iz tabele 1, primarno primjenjena limunska kiselina ne pokazuje prednosti nad običnom vodom. Što je rečeno za limunsku kiselinu važi i za zasićenu otopinu $KMnO_4$ - prema publikovanoj literaturi (2) djeluje kao jaki oksidant i treba je koristiti samo kao ultimum refugijum. Primjenjena primarno na kontaminirano područje, zasićena otopina $KMnO_4$ se u našim eksperimentima nije pokazala efikasnijom od obične vode.

Metod izotopske dilucije kao postupak za dekontaminaciju kože isprobali smo prilikom solucije stabilnog natrijevog jodida prema NaI^{131} kao kontaminantu. Poslije treće uzastopne aplikacije solucije NaI^{131} na kontaminiranom mjestu je preostalo 14,6% inicijalne aktivnosti (u našem slučaju to nije uspjeh, jer je poslije trećeg pranja vodom ostajalo oko 6% inicijalne aktivnosti). U svakom slučaju poslije pranja kože u izotopskoj soluciji treba da slijedi operacija pranja kontaminiranog mjesta vodom i sapunom.

Na tabeli 2 su prikazani rezultati koje smo postigli na uklanjanju radioaktivnih materijala sa kože pomoću pranja sapunom i domaćim deterdžentima.

U poređenju sa pranjem običnom vodom, rezultati izneseni na tabeli 2 pokazuju da sapun povećava efikasnost dekontaminacije svih upotrebljenih radioizotopa. Svi upotrebljeni deterdženti su također povišavali efikasnost dekontaminacije vodom, ali su prema pojedinim radioizotopima varirali, samo ne u tolikoj mjeri da bi to dozvoljavalo da se zaključi o eventualnoj specifičnosti pojedinih deterdženata prema upotrebljenim radioizotopima.

Uklanjanje radioaktivnih materijala sa ljudske kože eksperimentalno zarađene radioaktivnošću na uzorak odjevnog materijala i detekcija iz ironske mreže

Tabela 2.

Sredstvo za dekontaminaciju	Sr-89			Ru-106			I-131			Cs-137		
	čišćenje			čišćenje			čišćenje			čišćenje		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Sapun "Glatorog"	78,4	91,8	95,8	64,1	73,1	78,2	82,2	88,8	92,2	74,6	82,7	87,4
Deterdžent "Oskar"	86,3	91,0	95,1	70,2	82,5	91,2	80,9	86,0	89,2	84,8	88,1	91,7
Deterdžent "Perilo"	73,0	84,7	91,8	66,0	78,0	83,6	77,4	86,3	90,6	66,4	82,0	88,6
Deterdžent "Biljana"	78,9	90,1	95,2	61,5	76,5	81,5	83,3	91,3	93,8	71,4	83,6	86,7
Deterdžent "Tajm"	84,2	89,8	91,4	64,0	77,2	83,3	73,0	84,3	92,7	69,1	87,3	91,8
Deterdžent "Albus"	85,2	84,2	87,3	71,1	83,2	86,1	72,7	90,1	91,9	69,6	89,1	91,1

Na tabeli 3 su prikazani rezultati naših eksperimenata sa preparatima koje je za nas u pokusne svrhe pripremila laboratorija jedne velike domaće tvornice sapuna. Iz tabele se vidi da smo najbolje rezultate postigli primjenom preparata koji je sadržavao 40% natrijevog laurilsulfata uz dodatak natrijevog sulfata.

Sredstva za čišćenje se ponekad primjenjuju na kontaminiranu kožu u obliku pasta. Najčešće se primjenjuju kukuruzna i kaolinska pasta, koje su navodno efikasne u uklanjanju soli radijuma i urana. Kukuruzna pasta je u našim pokusima bila efikasnija nego kaolinska kod svih radioizotopa, osim kod Cs^{137} (tabela 4).

- Legenda:
- 1) 40% natrijev laurilsulfat, uz dodatak natrijevog sulfata pH 1% otopine = 8,0
 - 2) 15% trietanolaminlaurilsulfat pH 1% otopine = 7,1
 - 3) 20% natrijev oleat. Alkalitet kao slobodni NaOH = 0,05%
 - 4) Sapun sa cca 71% masnih kiselina. Alkalitet kao slobodni NaOH = 0,1% maks.

Zaključak

Rezultati naših ispitivanja pokazuju da voda iz česme i destilovana voda uklanjaju 83-91% apliciranog radioizotopa. Mineralna voda sa vrela Ilidže je manje efikasna, izuzev prema I^{131} , gdje je uklanjala oko 97% aktivnosti. Limunska kiselina i zasićena otopina $KMnO_4$ primijenjene primarno nisu bile efikasnije od vode. Princip izotopske dilucije, primijenjen sa solucijom stabilnog NaI protiv radioaktivnog jodasa za sebe nije se pokazao dovoljno efikasnim, te je poslije te operacije očigledno potrebno nastaviti operaciju običnog pranja. Sapun i svi domaći deterdženti, uz izvjesne varijacije, povišavaju dekontaminacionu efikasnost vode. Od četiri eksperimentalna, nekomercijalna preparata najbolji u dekontaminacionu efikasnost je pokazao natrijev laurilsulfat. Kukuruzna i kaolinska pasta neposredno primijenjene na kontaminirana mjesta su također dale zadovoljavajuće rezultate s tim što je kaolinska pasta bila superiornija u uklanjanju Cs^{137} , a kukuruzna pasta prema ostalim upotrebljenim radioizotopima.

Dekontaminacija ljudske kože eksperimentalno uzrokovane radioaktivnosti, na primjeru kokcijnih derivata. Efikasnost izraženih u postotcima smanjenja početne aktivnosti kontaminacije

Tabela 3.

Sredstvo za dekontaminaciju	Sr-89			Ru-106			I-131			Cs-137		
	čišćenje			čišćenje			čišćenje			čišćenje		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	73,0	90,5	94,5	81,2	92,7	96,0	96,4	97,2	98,5	77,5	88,9	90,9
2	54,3	74,3	84,4	62,0	82,9	86,6	80,1	81,5	94,1	55,5	72,2	82,6
3	57,9	75,2	85,0	55,4	70,0	77,5	72,4	88,5	91,4	50,6	63,4	69,2
3	57,8	75,1	81,4	76,4	80,7	88,1	70,1	82,2	86,7	66,6	73,4	83,6

Dekontaminacija ljudske kože eksperimentalno zagađene radioizotopima uz primjenu kukuruzne i kaolinske paste. Efikasnost izražena u postocima smanjenja početne aktivnosti kontaminanta

Tabela 4.

Sredstvo za dekontaminaciju	Sr-89		Ru-106		I-131		Cs-137					
	I	II	I	II	I	II	III					
	čišćenje		čišćenje		čišćenje		čišćenje					
Kukuruzna pasta	71,2	86,3	92,3	69,5	84,1	89,0	71,4	84,8	93,4	57,6	75,8	83,1
Kaolinska pasta	55,1	61,2	70,4	68,0	81,1	84,6	61,6	89,7	91,2	61,3	87,9	90,6

Dekontaminacija kože kontaminirane nekim radioaktivnim izotopima

B. Pendić, K. Pendić, K. Milivojević, D. Stojanović

Uvođenjem zaštitnih i kontrolnih mjera na mjestima gdje se radi sa radioaktivnim supstancijama, ne mogu uvijek da se i zbjegniju manji ili veći akcidenti kontaminacije otkrivenih - dijelova tijela. Oni se događaju gotovo svakodnevno. Jedan od najčešćih radioloških akcidenata je kontaminacija ruku.

Transkutanom prodiranju različitih supstancija često nije prklonjena dovoljna pažnja. Iz literature /1,2,3,4/ i radova obavijenih u našoj literaturi /5/ može da se sagleda da ovaj put prodiranja različitih toksičnih materija nije beznačajan i potrebno mu je pokloniti odgovarajuću pažnju. Kako su današnje mogućnosti medicinske intervencije u slučaju interne kontaminacije radioaktivnim materijama još uvijek ograničene, svaki slučaj kontaminacije kože ovim supstancijama treba shvatiti kao urgentan medicinski problem.

U procesu kontaminacije kože dolazi do fiksiranja kontaminanta za kožu u većoj ili manjoj mjeri, te je praktično teško izvodljivo da se pri dekontaminaciji ukloni kontaminant u potpunosti. U drugom, mehanizam kontaminacije je slijedeći: - fizičko-mehanički; fizička adsorpcija, taloženje nastvorenih čestica na površini i prodiranje u pore kože i duž dlaka u dlačine folikule,

- hemijski: stupanje kontaminanta u hemijske reakcije sa konstituentima kože /nekim azotnim u vodi rastvorljivim jedinjenjima, masnim kiselinama itd/.

Ova dva načina najčešće su udružena.

Na kontaminabilnost /sposobnost neke površine da veže radioaktivni materijal sa kojim je došla u dodir/ kože utiču mnogobrojni faktori kao što su: fizičke i hemijske osobine kontaminanta, specifična radioaktivnost, vrijeme kontakta sa kožom, pH kože, integritet i fiziološko stanje kože i tip kontaminacije. Pri izboru sredstava i postupaka za dekontaminaciju potrebno je voditi računa o svim ovim parametrima.

Naša istraživanja bila su usmjerena u pravcu odabiranja sredstava i metoda za što efikasnije, ekonomičnije i jednostavnije uklanjanje radioaktiviteta sa kože.

Tehnika rada

Kao eksperimentalne životinje služili su bijeli pacovi, starosti oko 4 mjeseca, tjelesne težine od 150-200 gr. Za narkozu je upotrebljavan etiluretan. Životinji je šišanjem uklonjena dlaka na trbuhu na površini od oko 3 cm².

Na nativnu, prethodno ne tretiranu kožu, nanošen je kontaminant. Kontaminanti /³²P, ³⁵S, ⁵⁹Cr, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ¹³⁷J, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁴Ce, ¹⁹⁸Au/ su bili u vodenom rastvoru čiji se pH - kretao od 5,5-6. Nanijeta aktivnost iznosila je oko 1 μCi/cm

Sušenje kapi se odbijalo na sobnoj temperaturi.

Za detekciju upotrebljena je GM brojačka cijev TGC-2-Tracerlab, a brojački uređaj činili su skaler i stabilizator visokog napona domaće konstrukcije.

Dekontaminacija je vršena 2h poslije kontaminacije. Dekontaminacioni postupak je jednostavno ponavljanje kratkotrajnih /oko 1 min/ operacija čišćenja tupferom natopljenim dekontaminacionim sredstvom sa naizmjeničnim čišćenjem tupferom na topljenim česmenom vodom. Upotrebljena dekontaminaciona sredstva /navedena u priloženim dijagramima/ imala su pH od 2-11.

Rezultati dekontaminacije izraženi su na uobičajeni način - kao:

a/ Procenat uklonjenog aktiviteta

$$\% = \frac{I_a - F_a}{I_a} \times 100 \quad \text{gdje je}$$

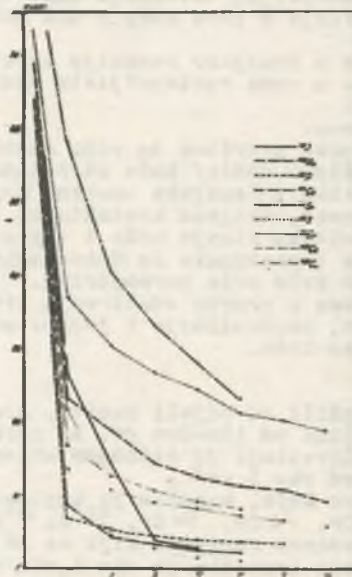
I_a = inicijalni aktivitet

F_a = finalni aktivitet

b/ Faktor dekontaminacije

$$F_a = \frac{I_a}{F_a}$$

Tehnika rada detaljnije je opisana u našim ranijim radovima. /6,7,8,9,10/.



Dijagram 1.

Rezultati i diskusija

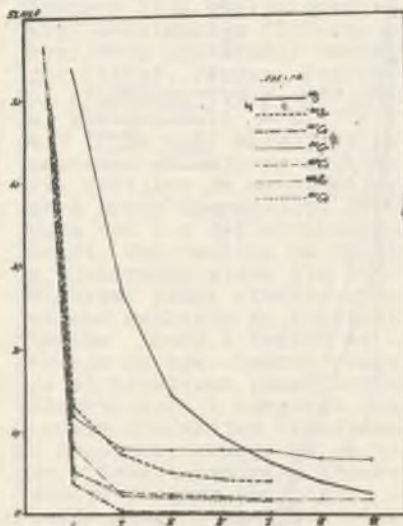
Pri odabiranju dekontaminacionog postupka odlučili smo se za klasični postupak prihvaćen od većine laboratorija i autora, postupak pranja kontaminirane površine kože dekontaminacionim sredstvom sa naizmjeničnim pranjem vodom, pošto je taj postupak najprikladniji za rutinsku humanu primjenu. Za dekontaminaciju koristili smo raznovrsna dekontaminaciona sredstva. Prema načinu djelovanja mogu da se svrstaju na slijedeći način:

1. Sredstva sa pretežno fizičko-mehaničkim načinom djelovanja.

Ova grupa obuhvata vodu, sapune, deterdžente. Djelovanje vode je pretežno jednostavno mehanička akcija spiranja, gdje se pranjem i trljanjem



Dijagram 2.



Dijagram 3.

em uklanja radioaktivna supstancija zajedno sa sredstvom za dekontaminaciju. Iz dijagrama 1. vidi se da voda pruža zado voljavajuću efikasnost uopšte, mada je dekontaminacioni efekat nešto slabiji u slučaju ^{90}Sr , ^{35}S , ^{198}Au i ^{134}Ce . Krajnji efekat ne zaostaje mnogo iza drugih dekontaminacionih sredstava.

Rastvaranjem u vodi površinski aktivnih materija povećava se njena moć natapanja i emulgiranja, a samim tim i dekontaminaciona moć. Istovremeno ove materije djeluju na smanjenje površinske napetosti prisutnih slobodnih masnih kiselina, smanjenje izoelektrične tačke površinskih koloida kože. Sve to omogućava bržu adsorpciju kontaminanta i efikasnije njegovo djelovanje zajedno sa sredstvom za dekontaminaciju. Na ovaj način uglavnom djeluju sapuni i deterdženti. Diagram 2 i 3. pokazuju jasno da ova sredstva imaju veliku dekontaminacionu moć, koja donekle zaostaje samo u slučaju kontaminacije ^{35}S .

2. Sredstva sa pretežno hemijskim načinom dejstva - dekontaminirajuće supstancije stvaraju sa radioaktivnim elementima jedinjenja rastvorljiva u vodi ili djeluju kao hemijski nosači, jonski izmjenjivači, ili pak stvaraju komplekse sa kontaminantom i djeluju kao helati. Na dijagramu 4. kod kontaminacije jodom, prikazana je efikasnost sredstava NaJ , KJ , -jodna kiselina/ koja pored mehaničke akcije spiranja kao vo

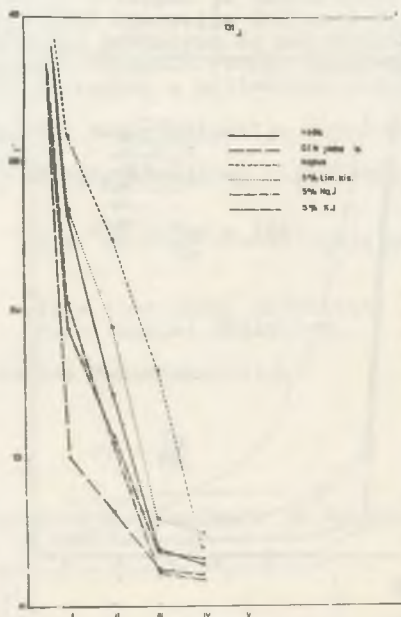


Diagram 4.

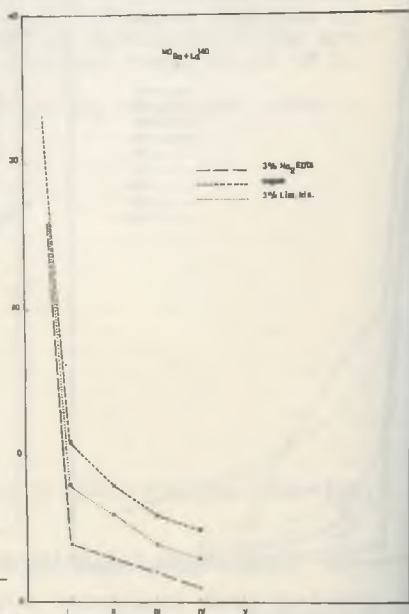


Diagram 5.

deni rastvori djeluju i putem izotopske dilucije. U prvim operacijama čišćenja Fd je znatno veći u odnosu na ostala sredstva, a i krajnji efekat je povoljniji.

Kod nekih fisionih produkata / ^{140}Ba , ^{144}Ce / 2% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ EDTA - specijalno se pokazala efikasnom u prvim operacijama čišćenja, mada se krajnji efekat ne razlikuje znatno od onoga kod sapuna i deterdženata /diagram 5./.

Najčešće je mehanizam akcije dekontaminacionih sredstava kompleksni uključuje različite vidove fizičkog i hemijskog načina dejstva.

Da bi se postigla što efikasnija dekontaminacija spravljaju se različite mješavine. Takva specijalna mješavina kompletna, EDTA, nekih eteričnih ulja i mineralnih soli. Ono ima kompleksnu akciju u procesu dekontaminacije i uključuje različite vidove fizičkog i hemijskog djelovanja. Iako se pokazalo efikasnijim kod dekontaminacije većine ispitivanih izotopa /diagram 6/ visoka cijena ovog sredstva ne opravdava njegovu širu rutinsku primjenu.

Izučavani kontaminanti / ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{144}Ce , ^{198}Au , ^{54}Cr , ^{140}Ba i ^{32}P / veoma se efikasno uklanjaju i u procentu -

uklonjenog aktiviteta ne po kazuju značajne razlike pri upotrebi sredstava sa fizičkim načinom djelovanja/voda sapun, deterdženti/, ili sredstava čija akcija predstavlja kombinaciju fizičkog i hemijskog djelovanja /natrijev citrat, versen, fosforna kiselina, itd./. Medjutim, kontaminanti ^{35}S , ^{131}I i ^{51}Cr se teže uklanjaju, a procenat uklonjenog aktiviteta uočljivo je manji nego u prvim operacijama čišćenja već i u definitivnoj operaciji. Ova razlika se javlja vjerovatno otuda što ovi elementi lakše stupaju u hemijske reakcije sa kontinuitetima kože i čvršće se vezuju na nju. Sumpor reaguje sa keratinom površinskih slojeva kože i njegovim raspadnim produktima tirozinom i leucinom, vezuje se za kožu i lakše prodire u njenedublje slojeve. Jod, pak, lakše stupa u hemijske reakcije sa nezasićenim masnim kiselinama, kojih uvijek ima na kožnoj površini, a to-

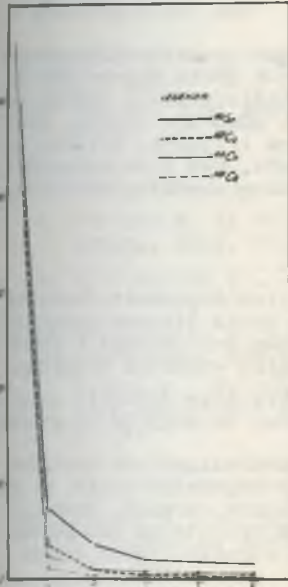


Diagram 6.

omogućava lakše prodiranje u dublje slojeve kože. Hrom se vezuje za proteine kože, prodire u nju i zaustavlja se u sloju živih ćelija epidermisa.

Posebno treba pomenuti efikasnost dekontaminacije koloidnog zlata, koja je znatna, bez obzira na upotrebljeno sredstvo/osim vode/. Zlato se u velikom procentu uklanja već prilikom prvih operacija čišćenja. Ono je hemijski inertno, a zato u koloidnom stanju i zato se lako uklanja i jednostavnim sredstvima.

Uočljivo je da se prvom obradom kontaminirane kožne površine uklanja najveći dio radioaktivne supstance, bez obzira na upotrebljena sredstva. Efikasnost dekontaminacije opada u narednim obradama, tako da se već poslije treće operacije čišćenja faktor dekontaminacije približava jedinici, što znači da upotrebljeno sredstvo nema više dekontaminacionog efekta. Upoređujući faktore dekontaminacije, koji jasno odražavaju dekontaminaciona svojstva upotrebljenih sredstava, vidimo da su u prve dvije operacije oni najveći za MO 8.385, 5% Nilu i Na_2EDTA što ukazuje da se ovim sredstvima ili njihovom kombinacijom dekontaminacija brže sprovodi.

Upotrebljena sredstva za dekontaminaciju nisu izazivala promjene na koži u smislu makroskopskih oštećenja, alergijskih

reakcija, iritacije kože, itd, sem Na₂ EDTA kod koje se u posljednje dvije operacije čišćenja kod nekih životinja - javio prolazni eritem.

Varijacije, koje se ogledaju u rasponu procenta uklonjenog-radioaktiviteta, a osobito se ističu u prvim operacijama čišćenja, rezultat su s jedne strane individualnih osobina same kože, a s druge greške koje unosi odabrana tehnika dekontaminacije: pritisak na kožu prilikom trljanja, količina upotrebljenog dekontaminacionog sredstva, kao i male razlike u vremenskom kontaktu dekontaminacionog sredstva sa kontaminiranom kožom i sl.

Zaključak

Dosadašnji radovi pokazuju da je većina ispitanih sredstava /uključujući čak i vodu/ efikasna u dosta širokom opsegu, ali u izvjesnim slučajevima, kada se zna kontaminant i njegova svojstva, treba primjeniti specijalno odabrana sredstva.

Upotrebljena dekontaminaciona sredstva nisu dovela do iritacije i makroskopskih oštećenja kože, te mogu da se preporuče u humanoj praksi.

Sapun i deterdženti, jednostavna dekontaminaciona sredstva koja se lako nabavljaju preko domaće trgovačke mreže, ne zaostaju u svojoj efikasnosti za ispitanim stranim, specijalno dekontaminaciji kože namijenjenim sredstvima kao MO 8385 te nema opravdanja za širu primjenu stranih, veoma skupih proizvoda.

Dekontaminaciji treba pristupiti što prije i isto dekontaminaciono sredstvo treba upotrijebiti najviše u tri operacije čišćenja, jer u narednim operacijama Fd naglo opada, te je potrebno primjeniti dekontaminaciono sredstvo da bi se ponovo postigao dekontaminacioni efekat.

DECONTAMINATION OF SKIN CONTAMINATED BY SOME RADIOACTIVE ISOTOPES

Radiological decontamination is listed among urgent medical interventions since radioactive material relatively quickly penetrates into even intact skin.

The present work considers the mechanism of skin contamination and the parameters influencing the contaminability of the skin. Results of investigating the efficiency of various decontamination agents are presented and discussed. A comparison is made of simple and economic agents easily available in our country and the specially prepared expensive ones available abroad.

The work checks the efficiency of the agents with physical and chemical action on the decontamination of the skin contaminated by the following radioactive isotopes: ⁶⁰P, ³²S, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ce, and ¹⁹⁸Au.

Literatura:

1. Derbes V.J., Dent J.H., Forest W.W. and Johnson M.F. JAMA, 158, 1367 /1955/
2. Loeffler K.R. and Thomas V.A., USAEC report AD 225 B - /1950/
3. Van Dila A.M., Richmond R.C. and Furchner E.J., LAMS - 2562 /1961/ p. 164
4. Foreman H. in Diagnosis and treatment of Radioactive poisoning, IAEA, Vienna 1963, p. 387
5. Milivojević K., I. Jug. simpozijum o radiološkoj zaštiti Portorož 1963
6. Milivojević K. i Stojanović D., V kongres za radiologiju i nuklearnu medicinu SFRJ, Beograd 1964
7. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D. i Bilić M.: Zbornik materijala VII Jug. konferencije ETAN, Beograd 1963 p. 743
8. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D., I. Jug. simpozijum o radiološkoj zaštiti, Portorož, 1963.
9. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D. i Sapundžić R.: V Kongres za radiologiju i nuklearnu medicinu SFRJ, Beograd 1964
10. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D.: II Međuinstitutski sastanak službi zaštite od jonizujućih zračenja - Rovinj 1964.

Dekontaminacija kože oglednih životinja kontaminirane sintetičkom radioaktivnom prašinom

J. Stajčić, D. Stojanović, A. Milovanović

Danas se smatra da će kontaminacija radioaktivnom prašinom - biti vrlo česta u nuklearnom ratu. Pa ipak, u raspoloživoj - literaturi ima malo informacija o načinu i efikasnosti dekontaminacije ljudske i životinjske kože kontaminirane tom vrstom kontaminanta. U skoro svim objavljenim eksperimentalnim radovima kontaminanti su u tečnom obliku. Najiscrpniji i sistematiski prikaz eksperimentalnog izučavanja dekontaminacije praškastog kontaminanta nalazi se u radovima američkih autora Friedman-a (1) i Black-a (2), koji su opisali oglede dekontaminacije ljudske kože kontaminirane sintetičkom radioaktivnom prašinom. Oglede na ljudima-dobrovoljcima organizovala je, 1956. godine, Američka mornarička laboratorija za radiološku zaštitu (USNRDL), najprije u laboratorijskim, a zatim i u poljskim uslovima. Radioaktivna prašina je pripremljena na poseban način, od zemlje sa poligona na kome su oglede izvedeni i od radioaktivnog lantana-140. Dekontaminanti su bili: čista voda, sapun za ruke, komercijalni deterdžent, komplekson i materije za dekontaminaciju bez upotrebe vode. Sa tri uzastopne obrade kože tim materijama, dobijeni su veoma visoki dekontaminacioni efekti. Procent uklonjene aktivnosti poslije treće obrade kretao se od 94% za čistu vodu, do 100% za komercijalni deterdžent i neke materije za dekontaminaciju bez upotrebe vode. Osim toga, u oglelima je ispitivan i uticaj nekih zaštitnih kremova na efikasnost i brzinu dekontaminacije kože. Nije primjećeno da oni poboljšavaju efekat dekontaminacije sintetičke radioaktivne prašine. Pošto u našoj zemlji do sada nije eksperimentalno izučavan problem dekontaminacije kože kontaminirane sintetičkom radioaktivnom prašinom, započeli smo njegovo ispitivanje u autohtnim uslovima. Pri tom smo koristili pomenute podatke, kao i iskustva koja smo stekli pri dekontaminaciji kože oglednih životinja kontaminirane rastvorima smješe fisicionih produkata (3,4).

Eksperimentalni rad

Oglede su izvedeni na 97 albino pacova oba pola, starosti do 5 mjeseci, težine oko 200 g. Ispitivana je efikasnost dekontaminacije očišćane kože kontaminirane sintetičkom radioaktivnom prašinom, u zavisnosti od: vrste materija za dekontaminaciju, preventivne aplikacije na kožu zaštitnog krema, broja obrada kože.

Prašina je bila otvoreno-mrke boje, dijаметar čestica 65-150- μ , specifična aktivnost u trenutku isporuke - 0,17 mC/g. Sin teza je izvedena tako da se radioaktivni ¹⁴¹CeCl nije mogao - odvojiti od čestica nosača nijednim uobičajenim dekontaminaci onim postupkom. Stoga se dekontaminacija u stvari sastojala u uklanjanju prašine sa kože. a sa prašinom je bio odstranjen i radioizotop.

Od materija za dekontaminaciju ispitane su:

čista voda,

sapun za ruke i voda,

tečni sapun i voda,

rastvor deterdženta i voda (1% "Radion extra"),

rastvor deterdženta i kompleksona u vodi (3% Nila + 2% NaEDTA) morska voda,

3% "Radion extra" u morskoj vodi.

Od materija za dekontaminaciju bez upotrebe vode korišćene su one koje su u ranijim našim ogledima (4) pokazale najbolje o- sobine:

tečni sapun (bez vode) i

kaolinska pasta

Zaštitni krem je bio "Octa" (Neva-Zagreb), koji se u ranijim- ogledima pokazao najkvalitetniji.

Dekontaminacioni postupak se sastojao od 4 obrade. Prva obra- da je bila započeta lo min. poslije kontaminacije.

Tehnika rada: priprema životinja za ogled, mjerenje aktivnos- ti i obrada izmjerenih vrijednosti bili su kao u našim pretho dnm radovima. Kontaminant je nanošen na obilježenu kontamina cionu površinu zaprašivanjem iz bakelitne kutije sa perforira nim poklopcem. Rastojanje između kutije i kože - 5 cm. Nanese na je količina od oko 1,5 mg/cm². Obrada kože tečnim dekonta minantima i preventivna aplikacija zaštitnog krema bili su - kao u prethodnim ogledima. Obrada materijama za dekontaminaci ju bez upotrebe vode vršena je tako što je tečni sapun (kaoli nska pasta) staklenom špatulom utrljan na kontaminiranu površ inu kože (oko 1 g na 7 cm² kože), a nakon 30-40 sek. uklonjen sa nje brisanjem pomoću 3 tupfera vate.

Rezultati i diskusija

Na tabeli 1 prikazani su rezultati dekontaminacije čistom vo- dom i materijama koje se u njoj rastvaraju, na tabeli 2 - re- zultati dekontaminacije morskom vodom i deterdžentom "Radion- extra" koji se u njoj rastvara, na tabeli 3 - dekontaminacija materijama koje se koriste bez upotrebe vode i na tabeli 4 - rezultati dekontaminacije sapunom za ruke i rastvorom deterdž enta uz prethodno premazivanje kože zaštitnim kremom.

Kao što se vidi, sve dekontaminacione materije dale su nakon-

TABELA 1

Kontaminant: SINTETIČKA PRAŠINA RAD. OŠIŠANA KOŽA

DEKONTAMINANT	Vreme posle konta- mina- cije	Broj živo- bijsa	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA I FAKTORI DEKONTAMINACIJE			
			I	II	III	IV
ČISTA VODA pH = 6.5	10 min.	10	96.7	98.2	98.4	98.8
			48.7	1.6	1.2	1.1
SAPUN ZA RUKE I VODA pH=8.0	"	9	98.1	98.3	98.6	98.7
			70.0	3.0	1.6	1.5
TEČNI SAPUN I VODA pH=7.0	"	9	98.4	98.7	98.8	98.8
			283.6	1.7	1.7	1.7
7% RADION EXTRA I VODA pH = 6.5	"	10	99.3	99.7	99.8	99.9
			255.0	2.8	1.5	1.3
3% NILA + 2% NaEDTA I VODA pH = 8.0	"	10	99.3	99.7	99.8	99.8
			144.1	2.5	1.4	1.2

TABELA 2

Kontaminant: SINTETIČKA RAD. PRAŠINA OŠIŠANA KOŽA

DEKONTAMINANT	Vreme posle konta- mina- cije	Broj živo- bijsa	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POJEDINIH OBRADA I FAKTORI DEKONTAMINACIJE			
			I	II	III	IV
KONTROLA 1% RADION EXTRA VODA pH=6.5	10 min.	10	98.3	99.7	98.8	98.8
			255.0	2.8	1.5	1.3
ČISTA MORSKA VODA pH=6.0	"	9	94.0	96.9	97.4	98.0
			18.1	1.8	1.3	1.1
3% RADION EXTRA U MORSKOJ VOĐI pH=6.5	"	10	98.3	99.2	99.7	98.8
			64.9	2.2	2.2	1.6

TABELA 3.

Kontaminant: SINTETIČKA RAD PRAŠINA			OŠIŠANA KOŽA			
DEKONTAMINANT	Vreme posle kanta- mina- cije	Broj živo- hinja	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA I FAKTORI DEKONTAMINACIJE			
			I	II	III	IV
KONTROLA: TEČNI SAPUN I VODA pH=7,0	10min	9	99.4	99.7	99.8	99.8
			283.6	1.7	1.7	1.7
TEČNI SAPUN BEZ VODE pH=8,5	10	10	98.5	99.3	99.6	99.6
			69.0	2.2	1.4	1.2
KAOJINSKA PASTA BEZ UPOTREBE VODE pH=12.5	10	10	95.6	97.7	98.5	98.9
			24.5	2.3	1.4	1.3

TABELA 4.

Kontaminant: SINTETIČKA RAD PRAŠINA			OŠIŠANA KOŽA				
DEKONTAMINANT	Vreme posle kanta- mina- cije	Zašti- tni krem	Broj živo- hinja	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA I FAKTORI DEKONTAMINACIJE			
				I	II	III	IV
KONTROLA: SAPUN ZA RUKU I VODA pH=8.0	10min	-	9	98.1	99.3	99.6	99.7
				70.0	3.0	1.6	1.5
SAPUN ZA RUKU I VODA	-	DCTA*	10	98.7	99.3	99.5	99.7
				76.7	2.0	1.5	1.5
KONTROLA: 1% RADION EXTRA* I VODA pH=8.5	-	-	10	99.3	99.7	99.8	99.9
				255.0	2.8	1.5	1.3
1% RADION EXTRA* I VODA	-	DCTA*	10	99.3	99.6	99.8	99.8
				138.0	2.0	1.8	1.4

TABELA 5.

UPORENJE EFIKASNOSTI DEKONTAMINACIJE TEČNIH I PRAŠINASTO KONTAMINATA

Na površini 30' (tečni) i 10' (prašinski)

Izotopi Ce-137

KONTAMINANT	DEKONTAMINACIJA								
	S TEČNIM IZOTOPOM POŠLE IV. OBRABE KOLA								
	ČISTA VODA	TEČNI RASTVOR I VODA	RASTV. DEKON- TAMINACIJE I VODA	KONAČNA VODA	RASTV. DEKON- TAMINACIJE I VODA	"OCTA" + SAF. I VODA	"OCTA" + SAF. I VODA	TEČNI RASTVOR DEKON- TAMINACIJE I VODA	KO- N- ČNA VODA
^{137}Ce + ^{137}Cs + ^{140}Cs (RASTVOR BIKARBATA)	88,4	98,4	98,1	86,1	98,7	99,7	99,8	98,8	98,4
^{137}Ce + ^{140}Cs (RASTVOR KLOBIDRA)	96,7	99,5	99,5	95,0	99,8	99,8	99,9	-	-
SINTETIČKA RADIOAK- TIVNA PRAŠINA (^{147}Ce)	98,8	99,8	99,8	98,0	99,8	99,7	99,8	98,8	98,8

četvrte obrade vrlo visok efekat dekontaminacije, viši nego - pri dekontaminaciji tečnih kontaminanata - rastvora fisionih produkata (grafikon 1). Izuzetak je jedino kombinacija dekontaminanta i zaštitnog krema. Pri kontaminaciji sintetičkom radioaktivnom prašinom, zaštitni krem nije povećao (niti smanjio) efekat dekontaminacije.

U svim ogledima je nakon prve obrade bio uklonjen najveći procenat kontaminanta.

Zaključak

U našim uslovima rada potvrđeni su podaci o dekontaminaciji - sintetičke radioaktivne prašine, koje su iznjeli Friedman i Black. Sve ispitivane materije za dekontaminaciju, uključujući čistu vodu, morsku vodu i materije za dekontaminaciju bez upotrebe vode, pokazale su vrlo visoku efikasnost (98% do 100% uklonjene aktivnosti poslije četvrte obrade).

Preventivna aplikacija zaštitnog krema "Octa" koji je u ogledu ima sa tečnim kontaminantima dao vrlo dobre rezultate, u ovom slučaju nije uticala (ni pozitivno ni negativno) na konačni ishod dekontaminacije.

DECONTAMINATION OF EXPERIMENTAL ANIMAL SKIN CONTAMINATED WITH RADIOACTIVE FALL-OUT

The efficiency of decontamination of animal skin contaminated with synthetic radioactive fall-out (radioactive component - Ce) was investigated. Decontamination substances soluble in ordinary and sea water, and without water were tested. The effect of preventive application of protective hand-cream was also tested for the rapidity and efficiency of decontamination.

Literatura

1. Friedman W.J., Am. Ind. Hyg. Jr., 19:15, 1958, p.15,
2. Black R.H., Am. Ind. Hyg. Jr., 21:162, 1960,
3. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D., Vojno-san. pregl. 22:7-8, 1965, p. 446,
4. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D., Vojno-san. pregl. 22:-, 1965, p.541.

DECONTAMINATION OF EXPERIMENTAL ANIMAL SKIN CONTAMINATED -
WITH RADIOACTIVE FALL-OUT

The efficiency of decontamination of animal skin contaminated with synthetic radioactive fall-out (radioactive component - ^{141}Ce) was investigated. Decontamination substances soluble in ordinary and sea water, and without water were tested. The effect of preventive application of protective hand-cream was also tested for the rapidity and efficiency of decontamination.

Literatura:

1. Friedman W.J., Am. Ind. Hyg. Jr., 19:15, 1958, p.15;
2. Black R.H., Am. Ind. Hyg. Jr., 21:162, 1960;
3. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D., Vojnosan.preg led 22:7-8, 1965, p.446;
4. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D., Vojnosan.preg led. 22:9, 1965, p. 541.

Mogućnosti upotrebe morske vode za R-dekontaminaciju kože

J. Stajić, A. Milovanović, D. Stojanović

Priikom nuklearnih akcidenata u primorskim krajevima, na otocima ili na pomorskim brodovima sa nuklearnim pogonom, dekontaminacija velikog broja radioaktivno kontaminiranih osoba predstavlja težak problem. Razlog tome je što se veći na danas poznatih metoda radiološke dekontaminacije kože za sniva na upotrebi velike količine slatke vode koje na moru, najčešće nema ili je nema dovoljno. Zato se opravdano postavlja pitanje mogućnosti da se umjesto slatke vode upotrijebi morska voda. Ta mogućnost nije do sada, koliko nam je poznato iz raspoložive literature, sistematski proučavana ni u inostranstvu ni kod nas.

Izvršene, istina indirektno, indikacije u tom smislu nalaze se u radovima Conard-a /1/ i Cronkite-a i saradnika /2/, koji opisuju posljedice akcidentalne kontaminacije stanovnika Maršalskih ostrva nakon termonuklearne eksplozije na otoku-Bikiniju 1. marta 1954. godine. Autori su primjetili da kod osoba koje su se poslije kontaminacije /i ne znajući da su kontaminirane/ kupale i plivale u moru, najčešće nije bilo vidljivih lezija kože izazvanih zračenjem kontaminanta. Kod ostalih kontaminiranih koji se nisu kupali, bili su jasno izraženi simptomi beta opekotina na otkrivenim dijelovima tijela: na glavi, rukama i nogama. No autori iz te činjenice ne izvode nikakve zaključke o dekontaminacionoj vrijednosti morske vode.

Nešto podrobniji podaci nalaze se u literaturi o mogućnosti upotrebe izotoničnog slanog rastvora /0,9% NaCl/ pri dekontaminaciji radioaktivno kontaminirane kože. Pošto je i morska voda svojevrsni slani rastvor, ti se podaci mogu orijentaciono koristiti pri razmatranju njenih dekontaminacionih kvaliteta. Black /3/ i Tyrel i sar. /4/ veoma povoljno ocjenjuju dekontaminacionu efikasnost izotoničnog slanog rastvora. Mi smo također provjeravali dekontaminacionu vrijednost tog rastvora na koži ogleđnih životinja kontaminiranoj rastvorom smjese fisionih produkata u obliku hlorida /5/. Našli smo da je on efikasniji od čiste vode.

Pomenuti navodi Conard-a i Cronkite-a, kao i iskustva steče na sa izotoničnim slanim rastvorom potkrepljuju pretpostavku da se morska voda može uspješno koristiti umjesto slatke vode pri dekontaminaciji radioaktivno kontaminirane kože u izvanrednim situacijama. Da bismo tu pretpostavku eksperimentalno provjerili, započeli smo ispitivanje efikasnosti dekontaminacije kože ogleđnih životinja morskom vodom i materijama za dekontaminaciju koje se u njoj rastvaraju.

Eksperimentalni rad

Ogledi su izvedeni na 212 albino pacova oba pola, starosti 4-5 mjeseci, težine oko 200 g. Dekontaminacioni kvaliteti morske vode ispitivani su u zavisnosti od:

vrste i hemijskog oblika kontaminanta,
vrste materije za dekontaminaciju,
pokrivenosti kože dlakom,

vremena koje protekne između kontaminacije i početka dekontaminacije, broja obrada kontaminirane kože.

Ogledne životinje su podijeljene u dvije grupe. Za prvu grupu kontaminant je bio rastvor smješe ^{89}Sr + ^{144}Ce u obliku hlorida, a za drugu - rastvor smješe ^{90}Sr + ^{137}Cs + ^{144}Ce u obliku nitrata. Specifična aktivnost prve smješe bila je - oko 60 $\mu\text{C}/\text{ml}$, a druge - oko 45 $\mu\text{C}/\text{ml}$.

Obe smješe su imale $\text{pH} = 4,0$ do $4,0$, što odgovara reakciji-normalne kože pacova. Sve komponente upotrebljenih smješa - su redovni sastojci fisionih produkata nakon nuklearnih eksplozija. Prema Kuzinu /6/, njihove osnovne karakteristike - su:

Radionuklid	Prinos u f.p.	t/2	Emiter	Energija		Kritično organ
				beta	gamma	
Stroncijum-89	4,6%	54 s	beta	1,46	-	kosti
Stroncijum-90	5,0%	28 g	beta	0,61	-	kosti
Cezijum-137	6,0%	33 g	beta-gama	0,52	0,66	mišić
Cezijum-141	6,0%	33 d	beta-gama	0,55	0,21	jetra
Cezijum-144	5,3%	282 d	beta-gama	0,38	0,13	jetra

Sem čiste morske vode, za dekontaminaciju su upotrebljeni i 3% rastvori komercijalnih deterdženata "Radion extra"/Saponija -Osjek/ i "Albus special" /Albus-Noví Sad/. Oni su izabrani zato što su prethodna ispitivanja in vitro pokazala da se od svih domaćih komercijalnih sredstava za pranje upravo oni najbolje rastvaraju u morskoj vodi i sa njom daju obilniju pjenu.

Morska voda je poticala iz priobalnog pojasa sjevernog Jadrana /Crikvenica, Pula/. Prema Njegovanu /7/, ona sadrži: - 2,9% NaCl, 0,5% MgCl₂, 0,13% CaSO₄ i oko 0,2% ostalih soli.

Vrijeme početka dekontaminacije bilo je dvojako: 30' i 3 čposlije kontaminacije. Svaka dekontaminacija se sastojala od 4 obrade kože.

Tehnika rada: Životinje su prije oglada narkotisane s.c. in jekcijom 25%-tnog rastvora uretana /0,7 ml/100 g tel.težine. Zatim su fiksirane na specijalnim radnim pločama i mašinoma za šišanje im je uklonjena dlaka sa kože abdominalne regije /u eksperimentima na neočišćanoj koži dlaka nije bila uklonjena/. U centar obilježene dekontaminacione površine prečnika 3 cm, pipetom je nanosena kap rastvora kontaminanta i staklenim štapićem ravnomjerno raspoređena po cijeloj površini. Aktivnost kapi bila je oko 1,5 do 2,0 μC . Prije početka dekontaminacije izmjerena je inicijalna aktivnost kože - A₁. Zatim je izvršena dekontaminacija koja se sastojala od 4 obrade. U toku svake obrade, kontaminirana površina kože je tretirana sa tupferom vate natopljenim u rastvoru dekontaminacione

KONTAMINANT	Vreme obrade	Pril. deterdžent	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POSEBNIH OBRADA			
			I	II	III	IV
OŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA pH=8.0	10min	10	80.4	82.3	83.9	86.0
	3h	9	82.0	84.3	85.1	86.7
"ALBUS SPECIAL" U MORSKOJ VODI pH=8.0	10min	10	88.1	89.5	89.6	89.7
	3h	10	88.7	88.4	89.4	89.6
"ALBUS EXTRA" U MORSKOJ VODI pH=8.1	10min	10	88.8	89.5	89.7	89.8
	3h	10	88.3	88.4	89.5	89.6
NEOŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA pH=8.8	10min	9	70.8	77.8	79.2	82.1
	3h	9	73.3	78.2	80.6	82.8
"ALBUS SPECIAL" U MORSKOJ VODI pH=8.0	10min	10	84.7	87.6	88.3	88.7
	3h	10	81.6	86.8	88.0	88.3

Tabela 1.

E_d i F_d , nije izračunavana efikasnost GM-brojača za primjenu kontaminante.

Rezultati i diskusija

Rezultati prve grupe ogleđa su prikazani na tabelama 1 i 2. Kao što se vidi, kad je kontaminant u obliku hlorida, već i čista morska voda /bez dodatka deterdženta/, pokazuje relativno visoku dekontaminacionu sposobnost, ali samo na ošišanoj koži. Rezultati dobijeni na neošišanoj koži su slabiji, iako u granicama zadovoljavajućeg. Međutim kad je morska voda upotrebljena u kombinaciji sa izabranim deterdžentima, dekontaminaciona sposobnost joj je izrazito povećana. Tada je poslije četvrte obrade - uklonjeno sa ošišane kože praktično 100% nanesenog kontaminanta, dok je na neošišanoj koži efekat bio neznatno slabiji.

Rezultati druge grupe ogleđa prikazani su na tabelama 3 i 4. Očigledno je da pri dekontaminaciji fisionih produkata u obliku nitrata, morska voda, bilo da se prijaženi sama ili u kombinaciji sa deterdžentima, pokazuje slabiju efikasnost nego pri dekontaminaciji hlorida.

x Kontaminaciju i dekontaminaciju oglednih životinja je - uvijek izvodile isto lice.

aminanta. Za to su upotrebljena po 3 tupfera i sa svakim je koža tretirana oko 15 sek. Zatim je posušena suva - tupferom. Poslije svake obrade je izmjenjena preostala /finalna/ aktivnost - A_f . Zatim su izračunati: efikasnost dekontaminacije E_d , - tj. procent uklonjene aktivnosti - i faktor dekontaminacije F_d , - za svaku obradu prema formulama:

$$E_d = \frac{A_i - A_f}{A_i} \times 100 \quad 1$$

$$F_d = \frac{A_i}{A_f}$$

Pošto su rezultati njezrenja prikazivani relativnim pokazateljima - /srednje vrijednosti -

Kontaminant. Rastvor smeše ⁸⁹Sr + ¹⁴⁴Ce u obliku hlorida

DEKONTAMINANT	Vrem. posle kontaminacije	Braj. živ. kope	FAKTORI DEKONTAMINACIJE POSLE POJEDINIH OBRADA			
			I	II	III	IV
OŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA	30min	10	11.7	1.2	1.3	1.7
	3h	9	13.0	1.3	1.7	1.0
3% „ALBUS SPECIAL“ U MORSKOJ VODI	30min	10	109.1	2.0	1.2	2
	3h	10	85.9	2.0	1.2	0
3% „RADION EXTRA“ U MORSKOJ VODI	30min	10	76.6	2.9	1.8	2
	3h	10	66.6	2.5	1.4	1
NEOŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA	30min	9	3.4	2.3	1.1	1
	3h	9	3.8	1.1	1.0	0
3% „ALBUS SPECIAL“ U MORSKOJ VODI	30min	10	91	2.1	1.4	2
	3h	9	1.4	2.6	2.0	2

Kontaminant. Rastvor smeše ⁹⁰Sr + ¹³⁷Cs + ¹⁴⁴Ce u obliku nitrata

DEKONTAMINANT	Vrem. posle kontaminacije	Braj. živ. kope	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA			
			I	II	III	IV
OŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA pH = 6.0	30min	10	77.7	82.7	85.7	86.1
	3h	9	55.7	65.9	66.4	71.2
3% „ALBUS SPECIAL“ U MORSKOJ VODI pH = 6.0	30min	10	96.0	97.9	98.3	98.6
	3h	10	94.1	96.2	97.2	97.7
3% „RADION EXTRA“ U MORSKOJ VODI pH = 6.5	30min	10	92.6	96.8	98.1	98.7
	3h	10	90.5	96.2	97.5	98.1
NEOŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA	30min	10	64.7	70.0	73.3	75.0
	3h	10	53.9	59.9	62.5	68.2
3% „ALBUS SPECIAL“ U MORSKOJ VODI	30min	10	81.4	90.5	93.8	94.6
	3h	9	85.0	86.1	90.6	92.3
3% „RADION EXTRA“ U MORSKOJ VODI	30min	9	84.8	92.2	95.1	96.0
	3h	10	72.4	86.2	89.8	91.5

Tabela 2.

Tabela 3.

Na ta efikasnost je i u ovom slučaju više nego dobra jer sa čistom morskom vodom na ošišanoj koži dostiže 86,1%, a na - neošišanoj - do 96,0% /poslije četvrte obrade/. S obzirom na to da su u obje grupe ogleda kationske komponente bile hemijski iste /Sr, Ce i Cs/, različni efekti morske vode i materija za dekontaminaciju koje se u njoj rastvaraju izgleda da su uslovljeni anionskim komponentama kontaminanta /Cl⁻ i NO₃⁻/. I neki naši raniji ogledi dekontaminacije kože pomoću slatke vode i materija koje se u njoj rastvaraju pokazali su da su nitrati - pri jednakim ostalim uslovima - manje dekontaminabilni od hlorida /8/. U ovom slučaju - se veći efekat dekontaminacije kontaminanta u obliku hlorida može, možda, objasniti i fenomenom izotopske - diferencijacije, jer morska voda sadrži visok procenat rastvorenih stabilnih hlorida.

Uporedjenje dekontaminacione efikasnosti morske vode /na osnovu rezultata ove serije ogleda/ i dekontaminacione efikasnosti slatke vode /na osnovu rezultata naprijed pomenutih - naših ranijih radova/ prikazano je na tabeli 5. Zanimljivo je da je kombinacija morske vode i deterdženata efikasnija - od kombinacije slatke vode i deterdženata bez obzira na hemijski oblik kontaminanta i na pokrivenost kože dlakom. Po dekontaminacionoj vrijednosti ona se, prema našim rezultatima, može uporedjivati sa najefikasnijim i najskupljim dekontaminacionim sredstvom.

Kontaminanti: Rasvor smjesa ^{137}Cs i ^{134}Cs u obliku nitrata

DEKONTAMINANT	Vreme posle konta- mina- cije	Broj piva- nja	FAKTORI DEKONTAMINACIJE POSLE POJEDINIH OBRADA			
			I	II	III	IV
OŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA	30min	10	4.4	1.2	1.1	1.0
	3h	9	2.2	1.1	1.0	1.0
1% ALBUS SPECIJAL U MORSKOJ VODI	30min	10	26.2	1.8	1.2	1.2
	3h	10	17.4	1.5	1.4	1.1
1% RADION EXTRA ¹ U MORSKOJ VODI	30min	9	15.7	2.2	1.8	1.3
	3h	9	11.9	2.4	1.4	1.2
NEOŠIŠANA KOŽA						
MORSKA VODA	30min	10	2.8	1.1	1.0	1.0
	3h	10	2.3	1.2	1.1	1.0
1% ALBUS SPECIJAL U MORSKOJ VODI	30min	10	5.6	1.9	1.4	1.1
	3h	9	4.1	1.7	1.4	1.1
1% RADION EXTRA ¹ U MORSKOJ VODI	30min	9	8.8	1.8	1.8	1.2
	3h	10	3.8	2.0	1.3	1.2

Tabela 4.

eksperimentalna potvrda pretpostavke da morska voda može uspešno zamijeniti slatku vodu pri dekontaminaciji kože /bez -

aminacionim sistemima - /npr. sa kombinacijom kompleksona i deterdženta/

Analiza efikasnosti dekontaminacije u funkciji vremena njenog izvođenja pokazuje da nema bitnije razlike između efekta dekontaminacije započete 3o i 3 č poslije kontaminacije. Izuzetak je jedino dekontaminacija nitrata čistom morskom vodom na ošišanoj koži i neošišanoj koži /tabela 3/ - kada je efekat znatno slabiji pri dekontaminaciji i nakon 3 č.

Efikasnost dekontaminacije u funkciji broja obrada kože prikazana je na tabelama 2 i 4. Kao što se vidi, faktori dekontaminacije su upadljivo najviši poslije prve obrade, dok se nakon treće i četvrte obrade približuju jedinici.

Zaključak

Dobijeni rezultati su ek-

UPOREDBENE DEKONTAMINACIONE VEŠNOSTI RASVORA DETERDŽENTA U SLATKOJ I MORSKOJ VODI

2h + 30' posle kontaminacije

DEKONTAMINANT	U OBLASTI VEŠNOSTI POSLE IV. OBRADU KOŽE			
	^{137}Cs - ^{134}Cs (hlorski)		^{90}Sr - ^{137}Cs - ^{134}Cs (adurati)	
	kože bez dijam.	obrasla dijam.	kože bez dijam.	obrasla dijam.
RASTVOR DETERDŽENTA U SLATKOJ VODI	99.3	98.7	98.3	98.0
RASTVOR DETERDŽENTA U MORSKOJ VODI	99.3	98.7	98.7	98.0

Tabela 5.

dlake i obrasie dlakom/, kontaminirane rastvorom smješe fis ionih produkata u obliku hlorida i nitrata. Šta više, pokaz alo se da - u datim eksperimentalnim uslovima - dekontamina ciona efikasnost rastvora deterdženta u morskoj vodi ne zao staje za efikasnošću najboljih dekontaminacionih sistema u slatkoj vodi.

Ovo su preliminarni ogledi čiji se rezultati još ne mogu uo pštavati niti ekstrapolirati na čovjeka. Ali oni su veoma - ohrabrujući i zato dalje sistematsko izučavanje ovog proble ma zaslužuje punu pažnju.

POSSIBLE USE OF SEA WATER FOR R- DEKONTAMINATION OF SKIN

The possibility of using sea water for the decontamination- of radioactive-contaminated skin of Wistar rats was investi gated. The rats were contaminated with the following liquid contaminants: Sr + Ce in the chloride form and was carr ied out with pure sea water and with solutions of some dete rgents in sea water. The results have shown that sea water, pure and mixed with detergents, successfully decontaminates the animal skin under given experimental conditions.

Literatura:

1. Conard R.A.: The Effect of Fallout Radiation on the Skin Symp. on the Shorter-term Biolog. Hazards of a Fallout - Field, Washington, AEC, 1956., p. 135.
2. Cronkite P.E., Conard R.A. and Bond V.P., Fallout Radia- tion: Effects on the Skin; Atomic Medicine, Baltimore, - 1959, p. 259.
3. Black R.H.: Am. Ind. Hyg. Jr., Vol. 21, 1960, p. 62.;
4. Tyrel W., Dynel G. and Rodger W.: Notes on Decontaminati on of Surfaces and Ekipment; Argon Nat. Lab., April, - 1961.
5. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D.: Dekontaminacij a kože kontaminirane smješom radionuklida Sr + Cs- ref. na II međuinst. sastanku službi zaštite od zračenja SKNE, Rovinj, oktobar, 1964.
6. Kuzin A.M.: Čem ugrožajut čelovječestvu jadernije vzrivi Izd. Ak. nauk. SSSR, Moskva, 1959.
7. Njegovan V.N.: Osnovi kemije, Zagreb, 1947.
8. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D.: Vojnosanit. pr egl., Vol. 22, 1965. s.446.

Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože

J. Gligorijević, J. Begović, B. Draganović, A. Janković-Zagorčić

Medju nastojanjima da se pitanje dekontaminacije površina po voljno riješi, u najnovijoj literaturi ima podataka i o primjeni ultra zvuka niskih frekvencija /20-40 Kc/. Dekontaminacioni efekat ultrazvučne energije objšnjava se pojavom mehaničkih pulzacija, kavitacije i reflektacije na graničnim slojevima. Medjutim, pri ovim ultrazvučnim kvalitetima nastaje mentalna dezintegracija organskih materija. Iz tih razloga - vršen je niz sistematskih ispitivanja dekontaminacionog faktora frekvencija i intenziteta ultrazvuka, koji se primjenjuje u terapiji /od 800 do 3.000 Kc i 0,5 do 3 W/cm²/. Rezultati ovih ispitivanja su djelimično objavljeni, a ovom prilikom - biće proanalizirani sa aspekta efikasnosti ultrazvučne dekontaminacije kože.

Ispitivani materijal i tehnika rada

Ekperimenti su vršeni na bijelim pacovima /Ratus ratus var-alba/ čija je starost bila oko 6 mjeseci, a težina oko 150 - gr. Kao kontaminant poslužili su rastvori radioaktivnih izotopa Sr-90, J-131, Cs-137 i Ce-144 malih aktiviteta. Kontaminant je nanošen na dorzalnu površinu šape i predio mesogastrijuma sa dlačnim pokrovom, odn. sa prethodno izvršenom depilacijom. Neposredna kontaminacija kože vršena je na nezračenim eksperimentalnim životinjama kao i na ozračenim sa 200, - 400 i 600 r. Kontaminabilnost kože je određivana radiometrički i autohistoradiografski. Dekontaminacija je vršena ultrazvučnim generatorom /sa virkonijum-titanskim pretvaračem/ frekvencije 800 do 3000 Kc, intenziteta do 0,5 do 3 W/cm² u različitim sredinama /destilovana voda, 5% rastvor nosača izotopa, 1% rastvor jonoizmjenjivača, 0,25% rastvor "Petil²a/-. Efekat ultrazvučne dekontaminacije kontrolisan je radiometričkim mjerenjima preostalog kontaminanta. Prodiranje izotopa u pojedine slojeve kože i obim transkutanne resorpcije ispitivan je radiometrijski i autohistoradiografski.

Dekontaminabilnost kože u našim eksperimentalnim uslovima određivali smo faktorom dekontaminabilnosti X₁. Efekat ultrazvučne dekontaminacije izražavan je kao procenat skinute aktivnosti. Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije obračunavana je kao odnos procenta dekontaminacije ostvarene ultrazvukom i procenta dekontaminacije spiranjem odgovarajućim rastvorom X₂.

$$X_1 \quad FD = \frac{A_p}{A_k}$$

$$X_2 \quad E_{uzd} = \frac{\% SA_{uz}}{\% SA_{sp}}$$

medij	metoda	obim dezi-	FD	FD uz FD uz	% SA	% SA uz % SA uz
H ₂ O	kontrola	uz	25	11	62,7	1,1
		k	23		56,6	
	sudeenje uporav	uz	28	11	61,1	1,1
		k	25		56,8	
CaCl ₂	kontrola	uz	41	10	78,0	1,2
		k	41		66,2	
	sudeenje uporav	uz	27	10	68,4	1,2
		k	28		54,3	
H ₂ SO ₄	kontrola	uz	28	10	62,5	1,1
		k	28		63,9	
	sudeenje uporav	uz	29	1,2	66,6	1,1
		k	25		59,6	
NaHCO ₃	kontrola	uz	27	15	64,0	1,4
		k	18		45,8	
	sudeenje uporav	uz	30	1,7	63,9	1,1
		k	27		54,9	

Tabela br.1 - Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože eksperimentalnih životinja kontaminirane sa Sr - 90.

Sredina	Mehan. det.	FD	FD _{uz}	% SA	% SA _k
			FD _k		% SA _k
H ₂ O	uz	18,1	1,8	92,7	1,3
	k	9,7		89,7	
cetonian	uz	20,7	6,6	93,5	1,4
	k	3,1		68,3	
NaCl	uz	20,1	2,1	93,6	1,0
	k	9,4		89,7	
NH ₄ CO ₃	uz	30,7	2,3	95,4	1,0
	k	13,2		92,7	
Mo ₂ S ₃	uz	13,6	2,2	91,3	1,1
	k	6,1		81,9	
H ₃ BO ₃	uz	28,7	2,9	93,8	1,1
	k	9,9		87,5	

Tabela br.2 - Rezultati ultrazvučne dekontaminacije kože eksperimentalnih životinja kontaminirane sa J-131

Sredstvo	Vremena izloženosti	Vremena izloženosti	FD	FD _{uz} FD _k	%SA	%SA _{uz} %SA _k	
							uz	k
H ₂ O	30 min	uz	14,3	8,4	89,0	2,2	
		k	1,7		41,7		
	60 min	uz	9,8	5,8	89,5	2,2	
		k	1,7		41,0		
	nepripremljen detergent	30 min	uz	6,5	1,4	98,3	1,1
			k	4,8		86,0	
60 min		uz	3,2	1,3	93,0	1,6	
		k	2,4		58,0		
pripremljen detergent		30 min	uz	∞		100,0	1,1
			k	11,3		91,2	
	60 min	uz	10,4	1,6	89,2	1,2	
		k	6,4		74,6		
	H ₂ O ₂	30 min	uz	4,5	3,2	73,8	2,4
			k	1,4		29,8	
60 min		uz	6,5	2,4	79,3	1,3	
		k	2,7		62,8		
AC ₃		30 min	uz	2,8	2,0	99,9	2,1
			k	1,4		27,6	
	60 min	uz	8,9	6,4	86,0	3,0	
		k	1,4		28,8		

Tabela br.3. - Efekat ultrazvučne dekontaminacije kože kontaminirane sa Ce-144.

Postignuti rezultati:

A. Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože nezračenih životinja

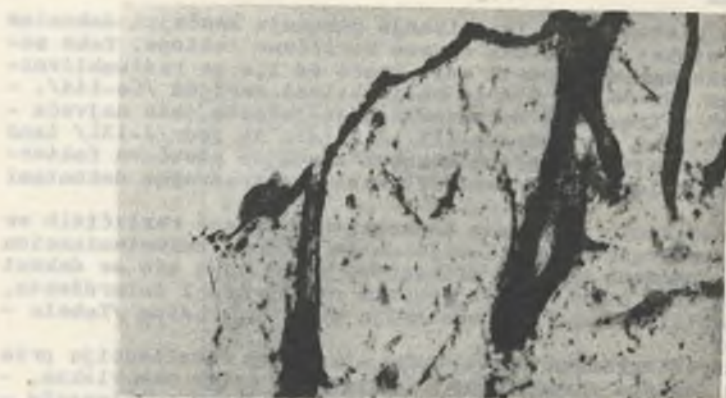
Rezultati sistematskih ispitivanja pokazuju značajan dekontaminacioni efekat ultrazvuka za sve korišćene izotope. Tako se faktor dekontaminabilnosti kože kreće od 1,0 za radioaktivni stroncijum /Sr-90/ do 8,4 za radioaktivni cerijum /Ce-144/. - Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije je isto tako najveća - za radioaktivni cerijum /Ce-144/ 3,6, dok za jod /J-131/ iznosi 1,0. Prisustvo vlažnog pokriva značajno povećava faktor dekontaminabilnosti, odnosno efikasnost ultrazvučne dekontaminacije.

Analiza dobivenih rezultata sa aspekta primjene različitih sredina za prozvučavanje pokazuje da je najveći dekontaminacioni efekat, odnosno najveća efikasnost ultrazvuka ako se dekontaminacija vrši u jonizmjenjivačkim rastvorima i deterdžentu, a da i destilovana voda predstavlja pogodnu sredinu /Tabela br.1,2,3/.

Autohistoradiografska ispitivanja otkrivaju lokalizaciju primjenjenih izotopa prvenstveno na epidermu, zatim oko vlakna, - bulbosa i papile dlake. Dublji slojevi epiderma sa očuvanim str. disjunctum potpuno su slobodni od kontaminanta, dok na mjestima gdje ga nema nalazimo manji broj čestica naročito ako se radi o radioaktivnom jodu, stroncijumu i cezijumu. U korijumu se zapažaju ekstinkcije oko bulbosa dlake, u znojnim žlijezdama i krvnim sudovima, a njen intenzitet zavisi od uslova eksperimenata i vrste izotopa. U ovim slojevima više izotopa se nalazi kod životinja sa skinutim vlažnim pokrivačem. Radioaktivni izotopi Sr-90, J-131 i Ce-144 mogu se otkriti u korijumu u svim slučajevima ako se dekontaminacija vrši u časa poslije kontaminacije.



Fotomikrogram br.1 - Autohistoradiogram kože kontaminirane - sa Ce-144 poslije ultrazvučne dekontaminacije sa prozvučenim deterdžentom.



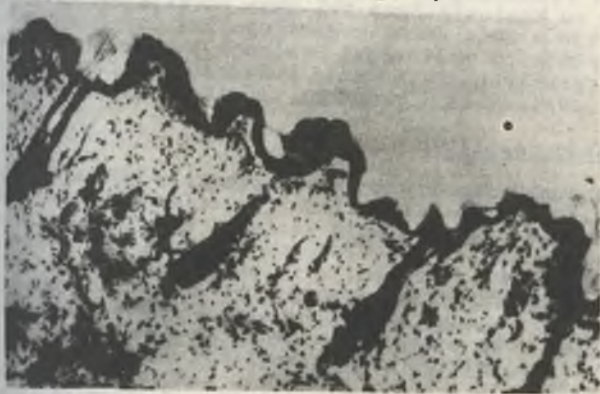
Fotomikrogram br.2 - Autohistoradiogram kože kontaminirane sa Ce-144 poslije ultrazvučne dekontaminacije sa neprozvučnim deterdžentom.

Medjutim, ultrazvučna dekontaminacija izvršena odmah poslije fiksacije kontaminanta sprječava prodiranje radioaktivnog Cs-137 i Ce-144 /mikrofotografije 1,2/. Ispitivanjem aktiviteta u krvi kontaminiranih životinja ustanovljeno je da već 30 minuta poslije kontaminacije radioizotopima Sr-90, I-131 i Cs-137 mogu se radiometrijski registrovati bez obzira na izvršenu dekontaminaciju za razliku od Ce-144, koji se prozvučavanjem u jonoizmjenjivačkom rastvoru i deterdžentu 100% dekontaminira.

B. Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože ozračenih životinja

Pošto istovremeno ili prethodno ozračivanje ima određeni teorijski i praktični značaj za ispitivanja kontaminabilnosti i dekontaminabilnosti kože, kao i efikasnosti dekontaminacionog sredstva, to su izvršena posebna sistematska ispitivanja na grupama životinja ozračenih sa dozama od 200, 400 i 600 r. Životinje su kontaminirane, odnosno dekontaminirane 1,3,6,10,14 i 16 dana poslije ozračivanja. Rezultati ovih ispitivanja pokazuju da je faktor dekontaminabilnosti najveći kod životinja tretiranih sa 200 r, a prozvučavanih 15 dana poslije ozračivanja. Dekontaminabilnost kod doze od 400 r prva tri dana opada a zatim se od 6 dana povećava, ali nikada ne dostiže nivo ostvaren kod životinja ozračenih sa 200 r. Faktor dekontaminabilnosti kod životinja ozračenih sa 600 r u početku je visok, za tim do 6 dana opada, a poslije toga se znatno povećava. Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kod ozračenih životinja kr

tte se od 1,0-2,6. Najveća efikasnost postiže se primjenom jo
 nizajzenjivačkog rastvora i deterdženta kod životinja ozračen
 ih sa 200 i 400 r, a kontaminiranih i prozvučenih 10 dana, od
 nosno 16 dana poslije ozračivanja /Tabela br.4/.
 Autohistoradiografska ispitivanja isječaka kože ozračenih eks
 perimentalnih životinja pokazuju da prisustvo izotopa direkt
 no zavisi od momenta kontaminacije poslije ozračivanja, odnos
 no stepena reakcije tkiva. Tako je najveća ekstinkcija aktivi
 teta na epidermu i oko bulbosa kod životinja kontaminiranih -
 odmah poslije ozračivanja. Povećanjem vremenskog intervala iz
 medju ozračivanja i kontaminacije dolazi do većih histoloških
 promjena, kako u epidermu tako i u korijumu i subkutisu. Na e
 pidermu se javljaju znaci deskvamacije, koja kod životinja -
 ozračenih sa 600 r može da zahvati sve slojeve epiderma. Isto
 vreme u subkutisu se javlja nespecifična čelijska infiltrac
 ija, uslijed čega on gubi karakter rastresitog tkiva. Isto ta
 ko, čelijska infiltracija se zapaža oko bulbosa dlake, znojnih
 i lojnih žlijezda. Dilatacija krvnih sudova i aktivna hiperem
 ija odražava se sve do 10 dana poslije ozračivanja. Kod ovih
 životinja na kontaminiranoj površini nalaze se vrlo male koli
 čine izotopa i to pretežno u deskvimiranim dijelovima epider
 ma. Vrlo rijetko se mogu naći čestice izotopa oko dlaka. Prod
 rle količine izotopa lokalizovane su u lumenu znojnih žlijez
 da i perivaskularno. Stepem ekstinkcije ovako lokalizovanog
 izotopa direktno zavisi od visine doze ozračivanja, odnosno -
 oštećenja epidermisa /mikrofotografije 3,4/.



Fotomikrogram br. 3 . Autohistoradiogram kontaminirane kože-
 sa Ce-144 ozračenih eksperimentalnih -
 životinja sa 400 r dekontaminiranih sa
 ultrazvukom 6 dana poslije ozračivanja.

Povećanjem aktiviteta u krvi ozračenih životinja, koje su kon
 taminirane odmah poslije zračenja ustanovljeno je da već 30-
 minuta poslije kontaminacije prisustvo radioaktivnog stronci
 juma, joda, cezijuma i cerijuma može da se radiometrijski re



Fotomikrogram br. 4 - Autohistoradiogram kože kontaminirane sa Ce-144, dekontaminirane sa ultra-zvukom 10 dana poslije ozračivanja sa 600 r.

gistruje. Prodiranje radioizotopa u krv kod ozračenih životinja koje su kontaminirane tri dana poslije ozračivanja je znatno sporije i može da se registruje 1-3 časa poslije kontaminacije. Primjenom većih doza zračenja i povećanjem intervala između ozračivanja i momenta kontaminacije, odnosno dekontaminacije povećava se i procenat prodiranja izotopa u krvotok.

Kazmatranje rezultata

Problemi kontaminacije i dekontaminacije kože u direktnoj su zavisnosti od njenih funkcionalno-morfoloških svojstava i vrste i fizikohemijskog stanja izotopa. Epidermis sa svojim površnim i funkcionalno najvažnijim slojem, str. corneum predstavlja granicu i vezu organizma i spoljašnje sredine. Medjutim, str. lucidum je barijerna zona i pored ostalog ima značajnu ulogu u regulisanju tečnosti u čitavoj koži. Vezivanje vode za površinu kože omogućuju hidrofилne masti, koje su vodom permeabilne u finu emulziju i čine zaštitni sloj.

Prema Katzberg-u postoje tri vrste stresova kojima je koža izložena: fizički, hemijski i biološki. U uslovima savremene strojarstva proizvodnje koža domaćih životinja izložena je tzv. kontinuiranom stresu na koji se epiderm akomodira u ubrzanom ritmu i smanjenjem životnog opsega epidermalnih ćelija. U vezi s tim str. lucidum se smatra slojem sa najintenzivnijom reakcijom.

Iz ovih aspekata kontaminacija radioaktivnim izotopima predstavlja specifičan stres za epidermis, pri čemu kontaminabilnost direktno zavisi od fizikohemijskog stanja izotopa. Radi toga je u našim eksperimentalnim uslovima najveća kontaminabilnost

Doza	broj	način dejk	FD	$\frac{FD_{uz}}{FD_k}$	% SA	$\frac{\% SA_{uz}}{\% SA_k}$
200	1	uz	26,2	9,9	53,3	1,4
		k	2,6		65,2	
	3	uz	6,0	2,4	80,1	1,3
		k	2,6		62,1	
	6	uz	35,6	13,7	97,2	1,6
		k	2,6		62,1	
	10	uz	30,3	16,0	93,9	1,9
		k	1,9		48,6	
15	uz	75,9	19,4	38,1	1,3	
	k	3,9		7,2		
16	uz	10,4	1,9	96,8	1,2	
	k	5,5		81,5		
400	1	uz	51,9	2,9	97,9	1,0
		k	17,5		94,3	
	3	uz	15,0	0,7	95,1	1,0
		k	20,0		95,1	
	6	uz	24,1	12,9	97,0	2,6
		k	1,9		6,4	
	10	uz	31,9	5,7	96,6	1,2
		k	5,6		82,2	
14	uz	25,1	12,5	95,8	1,9	
	k	2,0		50,2		
600	1	uz	76,1	9,3	97,0	1,1
		k	8,2		87,8	
	3	uz	11,6	3,1	73,4	1,0
		k	3,7		73,4	
	6	uz	18,1	9,4	58,1	1,1
		k	1,9		52,6	
	10	uz	∞	∞	100,0	1,6
		k	2,9		64,3	

Tabela br.4 - Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije kože ozračene račenih eksperimentalnih životinja kontaminiranih $Ce-144$.

st nastala sa radioaktivnim jodom, a najslabija sa radioaktivnim cerijumom.

Efikasnost ultrazvučne dekontaminacije bazirana je na specifičnim svojstvima ultrazvučnog polja. Terapijski kvaliteti ultrazvuka na cjelishodan način mijenjaju energetske odnose sredine i kontaminirane površine kože. Pošto se na površini intakte kože održava slabo kisela reakcija /pH 5-6,5/ to za dekontaminaciju je od velikog značaja fizikohemijsko stanje kontaminanta i svojstva rastvora u kome se vrši prozvučavanje. Prodiranje radioaktivnih izotopa u dublje slojeve epiderma mo

guće je samo oštećenjem njegove funkcije, odnosno strukture. Analizom autohistoradiograma ustanovljeno je prisustvo izotopa u dlačnim papilama, bulbusima, znojnim žlijezdama i krvnim sudovima, što pokazuje da se transkutana resorpcija vrši i sključivo preko prirodnih otvora na koži.

Ozračivanje životinja dozama od 200, 400 i 600 r prouzrokovao je radijacioni sindrom, koji je promijenio kontaminabilnost i mogućnost dekontaminacije kože. Obzirom da se u toku 24 časa 5,29% bazalnih ćelija nalazi u diobi, odnosno da za oko 15 dana ćelije germinativnog sloja mogu da substituišu oštećeni str. corneum, to je povećanjem vremenskog intervala između ozračivanja i kontaminacije omogućilo i veću efikasnost dekontaminacije.

Zaključak

Rezultati izvršenih ispitivanja pokazuju da ultrazvuk ima značajan dekontaminacioni efekat na kožu eksperimentalnih životinja kontaminiranu sa Sr-90, J-131, Cs-137 i Ce-144, a njegova efikasnost zavisi od vrste i fizikohemijskog stanja izotopa, kvaliteta ultrazvučnog polja i funkcionalno-morfološkog stanja epiderma.

THE EFFECT OF ULTRASOUND DECONTAMINATION OF SKIN

Summary

We have investigated the effect of ultrasound decontamination of skin of experimental animals after the outward radiocontamination Sr-90, I-131, Cs-137 and Ce-144. Contaminability of skin /with hair cover and without it/ of healthy and irradiated /with 200, 400 and 600 r/ experimental animals was determined radiometrically and autohistoradiographically. Decontamination was carried out by ultrasound generator /with cerium titanate changer/ frequency 800-3000 Kc having intensity from 0,5-3 W/cm² in different media /distilled water, 5% solution of isotope carrier, 1% solution of ionochanger, detergent/. The effect of ultrasound decontamination was controlled by radiometric measurement of the left over activity. The penetration of isotopes in some layers of skin and transcutaneous resorption were investigated radiometrically and autohistoradiographically.

The obtained results show that ultrasound energy has an important decontamination effect that depends on the kind and physicochemical state of isotope, the quality of ultrasound field and the degree of skin damage of the investigated animals.

Literatura:

1. Corlet F., Kolg J.W.: Interim Report HW-34811, 1-12, 1955.
2. Rod R.L.: Nucleonics 16, 104-5, 1958.
3. Henry G.E.: AECU-3590, 1-30, 1957.
4. Gligorijević J., Djurdjević Dj., Novčić D. Rusov C.: Vet.-glasnik 12, 977, 1961.
5. Gligorijević J., Draganovic B., Rusov Č., Novčić D.: Zbornik materijala VI Konferencije za ETAN, 1961.
6. Gligorijević J., Pavlović B., Novčić D.: Bulletin of the - chemical society, vol. 27, No. 2-3, 1963.
7. Gligorijević J., Petrović B., Draganović B. Rusov Č., Zago rčić-Janković A.: Vet. glasnik 12/12/, 1027-30, 1963.

Transkutana kontaminacija eksperimentalnih životinja

B. Draganović, J. Begović, Z. Milošević, S. Franković

Stalnu opasnost pri korišćenju nuklearne energije predstavljaju ne samo spoljne radijacije radioaktivnih izotopa, već u istoj mjeri zračenje ćelija i tkiva od strane prodrlih radio elemenata. U proučavanju problema interne kontaminacije posebno značajno mjesto zauzimaju fisioni produkti, koji su po radiotoksičnosti svrstani u najopasnije radioelemente. Radio toksičnost je vezana za količinu oslobodjene energije na nivou ćelija, a zavisi od fizičkih osobina radioelemenata, vremena zadržavanja u pojedinim tkivima i radiosenzibilnosti ćelija. Radi toga su kao najopasniji od fisionih produkata smatrani oni, koji se kao fiziološki aktivni uključuju u normalni metabolički ciklus odgovarajućih stabilnih elemenata u organizmu. Toj grupi pripadaju Ce-144, Cs-137 i Sr-90. Iz podataka u literaturi poznat je metabolizam intravaskularno unijetih ovih radioizotopa /Ce-144, Cs-137 i Sr-90/, u organizmu eksperimentalnih životinja /miša, kunića/ i nekih domaćih životinja /pas/. Medjutim, nedostaju ili su veoma oskudni podaci o transkutanoj resorpciji ovih radioelemenata. Obzirom da je najvjerovatnija mogućnost kontaminacije u prirodnim uslovima baš transkutanom resorpcijom mi smo se opredjelili za izučavanje načina transkutane resorpcije Ce-144, Cs-137 i Sr-90.

Materijal i metod rada

Eksperimentalna ispitivanja izvršena su na bijelim pacovima /Ratus ratus var. alba/ oba pola, starosti 6 mjeseci i težine 150-200 grama. Životinje su narkotizirane 25% rastvorom uretana intraperitonealno, a fiksirane su u ledjnom položaju tako da dorzalna površina desnog zadnjeg ekstremiteta bude slobodna i horizontalno postavljena. Za panošenje kontaminanta koža na dorzumu šape je pripremljena mehaničkim čišćenjem i eterom. Kontaminacija radioaktivnim izotopima /Ce-144, Cs-137 i Sr-90/ vršena je nakapavanjem 0,02 ml rastvora sa različitim koncentracijama i to 1,5, 0,75 i 0,375 $\mu\text{Ci/ml}$ /1/. Fiksiranje kontaminanta na koži šape životinja vršeno je na tri načina: a/ sušenjem pod normalnim uslovima /sobna temperatura i vlažnost/, b/ uparavanjem infracrvenom lampom i c/ ponovnim nakapavanjem 0,02 ml destilovane vode na upareno kontaminirano mjesto i naknadnim uparavanjem. Transkutana resorpcija radioizotopa praćena je radiometrijskim mjerenjima kože i krvi. Uzorci su uzimani i mjereni u vremenskim intervalima od 15, 30, 90, 120, 240 i 360 minuta. Radiometrijska mjerenja izvršena su brojačem tipa "Philips", a obračunavana imp/min.gr i u $\mu\text{Ci/gr}$. Pored radiometrijskih mjerenja transkutana resorpcija je praćena i autohistoradiografski. Uzorci kože obrađivani su za autohistoradiografiju uobičajenom tehnikom. Korišćena je fotonuklearna emulzija "Ilford G-5", a vrijeme ekspozicije je iznosilo 2 dana. Preparati su bojeni hematoksilin-eozin metodom.

Postignuti rezultati

Postignuti rezultati sistematskih ispitivanja prikazani su grafički, a njihovi uzajamni odnosi razmatrani u funkciji koncentracije kontaminanta i načina njegove fiksacije. Kod Cs-137 i Sr-90 su zapaženi slični rezultati transkutane resorpcije, vremena pojavljivanja u cirkulaciji i početka odavanja aktiviteta u krvi. Radi toga smo na grafikonu br.1 prikazali srednje vrijednosti za ova dva radioelementa /2/. Obzirom na koncentraciju radioizotopa najveća aktivnost u krvi je postignuta kod koncentracije od 0,075 $\mu\text{Ci/ml}$, a najmanja sa 0,375 $\mu\text{Ci/ml}$. Brzina resorpcije u funkciji vremena je u prvih 15 minuta neznatna, a zatim se naglo povećava u slijedećih 15 minuta. Najveći aktivitet u krvi kreće se u intervalu između 60 i 120 minuta zavisno od načina fiksiranja kontaminanta. Nakon 2 h aktiviteta u krvi opada što govori za početnu distribuciju u unutrašnje organe. Ako se rezultati posmatraju u zavisnosti od načina fiksiranja kontaminanta Cs-137 i Sr-90 vidi se da je najslabiji intenzitet resorpcije postignut uparavanjem kapi. Aktivitet u krvi se na ovaj način lagano povećava do 2 časa nakon kontaminacije, što je veoma dug period u odnosu na ostala dva načina fiksacije. Fiksacija kontaminanta sušenjem kapi na vazduhu pri sobnoj temperaturi pokazuje porast aktiviteta u krvi nakon 30 minuta i dostiže maksimum u vremenu između 90 i 120 minuta. Ako se za 20 minuta nakon uparavanja kapi kontaminanta nakapa na kontaminirano mjesto destilovana voda dolazi do manifestnog povećanja brzine i intenziteta pojave aktiviteta u krvi bez obzira na koncentraciju izotopa.

Ce-144 se pojavljuje nakon 15 minuta u cirkulaciji u većoj količini nego Cs-137 i Sr-90 što se zapaža po količini aktiviteta u krvi /graf.2/. Maksimalna količina radiocerijuma u krvi postiže se nakon 2 časa kada počinje njegova distribucija u unutrašnje organe i tkiva. I u ovom slučaju resorpcija je najveća kod koncentracije Ce-144 od 0,75 $\mu\text{Ci/gr}$ kako u momentu kada radiocerijum dostigne maksimum koncentracije u krvi tako i pri daljoj distribuciji, dok je u fazi do 90 minuta od momenta kontaminacije resorpcija slična kao za koncentrovan rastvor i optimalno razblaženje. U odnosu na način fiksacije kontaminanta najveći aktivitet u krvi javlja se poslije uparavanja i naknadnog kvašenja nanijetog izotopa.

Autohistoradiografska ispitivanja pokazuju da se transkutana resorpcija radioizotopa /Ce-144, Cs-137 i Sr-90/ odigrava kroz prirodne komunikacije korijuma i subkutisa sa spoljnom sredinom, a to su ekskavacije epiderma u kojima se nalaze dlake i izvodnici klupčastih žlijezda u dlačnim bulbusima. Ekstinkcija površnih slojeva epiderma pokazuje da je to prirodna barijera za bilo kakvu transkutanu resorpciju, naročito na mjestima gdje je očuvan ili zadebljao otpadni sloj, a i gdje je epiderm pokriven masom detritusa. Kada imamo već evidentno prisustvo aktiviteta u krvi moguće je naći zacrnjenje u krvnim sudovima korijuma i subkutisa čime se tumači porijeklo veće koncentracije aktivnih granula u ovim slojevima.

Razmatranje rezultata

Analizom rezultata uočene su znatne razlike transkutane resorpcije i odgovarajućeg povećanja aktiviteta u krvi kod sva tri radioizotopa: Ce-144, Cs-137 i Sr-90, kako u odnosu na koncentraciju nanijetog kontaminanta tako i na način njegove fiksacije. U dinamici transkutane resorpcije ova dva činioca stoje u tijesnoj međusobnoj vezi. Naglo uparavanje dovodi do kristalizacije kontaminanta na površini kože što je uzrok vrlo usporene resorpcije, čak iako zato postoje vrlo povoljni uslovi izazvani termičkim efektom uparivača /infracrvene lampe/, kao što je aktivna hipereemija kože sa odgovarajućim povećanjem njene aktivnosti. Na ovaj način je povećana koncentracija radioizotopa, smanjena tečna faza u kojoj je on rastvoren. Prema rezultatima sušenja na običnoj temperaturi kao i različitim razblaženjima /koncentracijama/ kontaminanta očigledno je da se transkutana resorpcija odigrava u zavisnosti od prisustva optimalne tečne faze, koja omogućava procese difuzije kroz kožu i pored postojeće njene sopstvene aktivnosti. Znači resorpcija kroz intaktnu kožu se odigrava jedino ako je kontaminant - u tečnoj fazi, odnosno pre početka kristalizacije rastvorenesoli. Na taj način je jasno da se naknadnim kvašenjem uparenog kontaminanta rastvara iskristalisani dio i ponovnim uparavanjem stvoreni su optimalni uslovi za naglo povećanje transkutane resorpcije.

Zaključak

Na osnovu izvršenih ispitivanja i analize postignutih rezultata mogu se izvući slijedeći zaključci:

- a/ Ce-144, Cs-137 i Sr-90 se transkutanom resorpcijom kroz kožnu kožu u koncentracijama od 1,5, 0,75 i 0,375 $\mu\text{Ci/ml}$ mogu konstatovati u cirkulaciji nakon 15 minuta od nakapavanja na kožu,
- b/ Brzina i intenzitet transkutane resorpcije eksperimentalnih životinja /pacova/ najveći su kod kontaminacije u koncentraciji od 0,75 $\mu\text{Ci/ml}$, Ce-144, Cs-137 i Sr-90 sa ponovnim vlaženjem i uparavanjem kontaminiranih mjesta,
- c/ Putevi transkutane resorpcije su prirodni otvori na koži i izvodnici kožnih žlijezda,
- d/ Transkutana resorpcija eksperimentalnih životinja je složen proces koji je s jedne strane funkcija fizikohemijskih osobina radioaktivnih izotopa, a s druge strane fiziološke aktivnosti kože eksperimentalne životinje, i
- e/ Smatramo da ovi rezultati imaju praktičan značaj kod kontaminacije kože radioaktivnim padavinama u prirodnim uslovima.

Literatura:

1. Aeberhardt, Nizza, Arnaud: Science et technique, 1963,
2. Aeberhardt A.: These, 1961,
3. Aeberhardt, Nizza i dr.: Int. J. of Rad. Biology 3 /5/, 217, 1962,
4. Pavlović M.: Disertacija, 1965.

PRODIRANJE I-131 KROZ NEOŠTEĆENU LJUDSKU KOŽU*

G. ŽARKOVIĆ, A. FAJGELJ i N. POPOVIĆ

Koža na palmarnoj i dorsalnoj strani lijeve šake kod 29 odraslih osoba obadva pola je kontaminirana otopinom I-131. U toku 48 sati provjerenom je prodiranje joda kroz neoštećenu kožu na dva načina: kompariranjem relativne brzine opadanja radioaktivnosti na mjestu aplikacije u odnosu na standard i praćenjem količine radiojoda izlučene kroz mokraću. Srednja vrijednost postotaka resorpcije radiojoda izlučene kroz kožu u toku 48 sati iznosila je 3,4% (s. d. = 2,2), s tim da su srednje vrijednosti resorpcije kod žena bile veće nego kod muškaraca, a srednje vrijednosti resorpcije na dorsalnoj strani šake kod obadva pola i svih pojedivaca bile veće negoli na palmarnoj strani.

Relativne količine radiojoda izlučenog kroz bubrege u odnosu na standarde su u cijelosti potvrdile spomenuta zapažanja.

Za procjenjivanje opasnosti koje proizlaze iz kontaminacije kože radioaktivnim izotopima, neophodno je znati da li oni prodiru, u kojoj mjeri i pod kojim okolnostima kroz neoštećenu ljudsku kožu.

Ekperimentalne studije ove vrste na čovjeku su vrlo rijetke. Da bismo prikupili više znanja o ovom pitanju odlučili smo da proučimo prodiranje I-131 kroz neoštećenu ljudsku kožu.

U prilogu prioritetu eksperimenata sa I-131 govorila je činjenica što u okolnostima djelovanja civilne zaštite (tj. u prvim danima i nedjeljama u užoj okolini od mjesta eksplozije nuklearnog oružja ili nakon nekontrolisanog ispuštanja reaktorskih gasova) radiojod predstavlja potencijalno najtoksičniji i najopasniji radioizotop. Protiv upotrebe radiojoda za kontaminaciju kože živih ljudi govorila je činjenica što je on visoko toksičan (II grupa radiotoksičnosti po Uputstvu o podjeli radioaktivnih elemenata prema radioaktivnosti - Sl. list FNRJ 31/62) i što se radiojod u slučaju interne kontaminacije brzo hormonalno veže u

* Ovaj rad je finansirala Uprava za civilnu zaštitu Državnog sekretarijata za narodnu odbranu SFRJ, a izveden je u kooperaciji između Instituta za higijenu i socijalnu medicinu i I Interne klinike Medicinskog fakulteta u Sarajevu.

štitnjaču, a zatim se postepeno i sporo luči u krv kao markirani hormon. Djelovanje mu ne prestaje dok prirodnim raspadanjem ili lučenjem u obliku hormona ne nestane iz štitnjače. Međutim, dokazano je da se sa »Irenat«-om, odnosno natrijum-perhloratom u visini od 1000 mg na dan (3,3 ml peroralno) može spriječiti vezivanje radiojoda u štitnjači (1). Mi smo se odlučili za eksperimente sa I-131 još i zato što su s njim već izvedeni neki, iako malobrojni, pokusi na čovjeku, koji su dokazali vjerovatnost njegova prodiranja u organizam kroz kožu. Nakon prethodnih pokusa *Van Dilla* i *Rowea* (2) o mogućnosti da se prouči prodiranje radioizotopa kroz kožu mjerenjem aktivnosti cijelog tijela gama spektrometrom za čitavo tijelo za niske aktivnosti, *Van Dilla*, *Richmond* i *Furchner* (3) su mjerili prodiranje I-131 i Na-24 kroz palmarnu kožu ruke. Dok za Na-24 nisu mogli dokazati prodiranje, za I-131 su na jednoj pokusnoj osobi utvrdili sigurnu apsorpciju od 0.1% od aplicirane doze. Najveći dio apsorpcije je nastao u toku prvih 10 sati u eksperimentu koji je trajao 48 sati. 10% od primijenjene doze I-131 je ostalo na površinskim slojevima kože usprkos temeljitom pranju. *Tas* i *Feige* (4) su eksperimentisali s prodiranjem I-131 sa palmarne kože ruke kod 12 osoba i dobili 0.06–0.94% apsorpcije (srednja vrijednost 0.4%) mjereno nakon 48 sati. *Miller* i *Selle* (5) i *Mali* i *Wolding* (6) nisu u svojim eksperimentima mogli da utvrde prodiranje radiojoda kroz kožu.

Da bismo proširili postojeće znanje o ovom problemu, mi smo postavili slijedeće ciljeve naših istraživanja:

1. Da li su postoci prodiranja I-131 objavljeni u ranijim saopštenjima zakonita pojava, ili mogu biti veći ili manji?
2. Ima li razlike u apsorpciji I-131 s dlanova i ostalih dijelova kože?
3. Da li ima razlike u apsorpciji I-131 kod muškaraca i kod žena?

Da bismo mogli odgovoriti na ova pitanja, morali smo neminovno pronaći veći broj osoba različitog spola za učestvovanje u ovom eksperimentu.

METODIKA RADA

Kao *subjekte istraživanja* smo izabrali 29 pacijenata u Kliničkoj bolnici Medicinskog fakulteta na Koševu u Sarajevu; i to odraslih osoba obadva spola s prosječnom starosti oko 35 godina, a iz redova pacijenata koji su bili voljni da saraduju. Uslov za učestvovanje je bila potpuno zdrava, intaktna koža i odsustvo bolesti ili poremećaja metabolizma i prometa vode.

Kao *tretman za kontaminaciju kože* služila je vodena otopina I-131 (kao NaI) bez nosača, pH = 7.1, kojoj je aktivnost na 1 cm³ iznosila između 80–100 μ C. 1 cm³ takve solucije radiojoda je za svaku pojedinačnu aplikaciju otpipetiran na tupfer napravljen od 10 cm² dvostruke

hidrofilne gaze presavijene tako da se dobiju dimenzije 3×4 cm. Nakon aplikacije na pokusno mjesto (dlan ili nadlanica) lijeve ruke, gaza je pokrivena nepromočivom plastičnom folijom koja je prelazila njezine rubove za 1 cm. U takvom položaju gaza, odnosno folija su fiksirane adhezivnim flasterom i ostavljene 48 sati (sl. 1). Početak i stepen resorpcije radiojoda s mjesta aplikacije na koži utvrđivali smo na dva uzajamno neovisna načina, i to:

Mjerenje smanjivanja aktivnosti na mjestu aplikacije i u standardu, sa tri određivanja radioaktivnosti, tj. u 0 sati, 24 i 48 sati iza aplikacije sa sljedećim rezonovanjem: ako i ukoliko brzina opadanja aktivnosti kontaminiranog mjesta bude brža od opadanja aktivnosti u standardu zbog prirodnog raspadanja radioizotopa (pod pretpostavkom da nije došlo do gubljenja radioaktivne tekućine u okolicu ispod plastične folije), to bi bio dokaz da je došlo do resorpcije radiojoda kroz kožu. Da izbjegnemo opsežna računanja koja bi uzimala u obzir poluvrijeme raspada I-131, kao i oscilacije prirodne radioaktivnosti, za svaku smo pojedinu seriju pokusa pripremali na potpuno identičan način standard i smjestali ga u odgovarajuću posudu (vidi sl. 2). Kontaminirano mjesto i standard su mjereni u isto vrijeme i na istoj aparaturi, a smanjivanje radioaktivnosti na mjestu aplikacije je izračunavano kao postotak smanjenja u odnosu na aktivnost standarda u času mjerenja, te je, tako izraženo, unošeno u osnovnu dokumentaciju svakog pacijenta

Mjerenje aktivnosti kontaminanta i standarda vršeno je pomoću scintilacione sonde s kristalom veličine 2.5×3.75 cm (proizvodnja: Isotope Development LTD, London), vezanim sa stabilizatorima napona tipa NNC odnosno NV-2-B, te skaleroom SK-1, sve proizvodnja poduzeća PAE Beograd (sl. 1).

Sobni aktivitet je iznosio cca 186 imp/mm., a prinos po 1 mikrokiriju I-131 na radnoj udaljenosti od 29 cm je iznosio 772 imp/min.

Mjerenje pojave i količine radiojoda u mokraći bio nam je drugi način dokazivanja resorpcija kontaminanta kroz kožu. U tu svrhu, od momenta aplikacije kontaminanta pa do završetka eksperimenta, nakon 48 sati, od svakog pacijenta je skupljena mokraća, kojoj je radioaktivnost određivana nakon 24 i nakon 48 sati, te komparirana s istovremeno izmjerenom istom količinom radioaktivnosti odgovarajućeg razblaženja standardne solucije (1 : 100.000) radiojoda, pomoću koje je izvršena kontaminacija kože. Uredaj na kome je mjerena radioaktivnost mokraće pokusnih osoba i odgovarajućih standarda sastojao se od scintilacione sonde tipa P-20D sa šupljim kristalom veličine 5×5 cm i šupljinom predviđenom za mjerenje 5 ml tečnosti. Sonda je bila vezana na elektronsku aparaturu »Versa/Matic II Scaler«. Obadva uređaja su proizvodi firme »Tracerlab« USA.

Tečnost je umetana u kristal u plastičnim epruvetama, nabavljenim od firme »Bosna-lijek«, Sarajevo.

Sobni aktivitet je bio prosječno 191 imp/min., a prinos po 1 mikrokiriju I-131 više od 800.00 imp/min.

Kako bismo spriječili vezivanje jodida u štitnoj žlijezdi, pokusnim osobama smo prije kontaminacije i u toku ispitivanja davali peroralno po 100 mg natrijum-perhlorata («Irenat»), što po *Winkleru* (1) u roku od 20 minuta dovodi do blokiranja vezivanja jodida u štitnjači. Uz ovaj je postupak stepen izlaganja pokusnih osoba ionizujućem zračenju znatno smanjen.

Prema proračunima i podacima *Halnana* (7) i *Tubiane* (8), štitna žlijezda odraslih osoba sa zdravom štitnjačom (eutiroida) bi iz 1 mikrokirija peroralno uzetog I-131 primila kroz beta i gama zračenje prosječno oko 1.4 rada, a gonade odraslih 0.52 milirada. Kod blokade vezivanja jodida u štitnjači, ukoliko je ono efikasno, opravdano je očekivati smanjenje doze na štitnjaču makar za dva reda veličine, uz izvjesni porast zračenja na čitavo tijelo. To znači da su naši eksperimenti, pod pretpostavkom resorpcije 1 mikrokirija, predstavljali za pacijente 100 puta manji rizik od jednog običnog dijagnostičkog rendgenskog pregleda koji daje dozu od 0.5-9 r.

Mi smo u tom smislu, a pod pretpostavkom da će doći do jednopostotne resorpcije radiojoda kroz kožu i podešavali koncentraciju I-131 u našoj inicijalnoj soluciji upotrebljavanoj za kontaminaciju na 80-100 mikrokirija na mililitar.

Za svaku pokusnu osobu je vođen odvojen radni protokol, a podaci su, po dovršetku eksperimenata sređeni i obrađeni statistički, da bi se izračunali odgovarajući postoci resorpcije ili izlučivanja i njihove srednje vrijednosti i srednje kvadratno odstupanje.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja o resorpciji radiojoda kroz kožu naših pokusnih osoba su prikazani na tablici 1, a izlučivanje resorbiranog radiojoda kroz bubrege istih osoba je prikazano na tablici 2.

Resorpcija mjerena na mjestu aplikacije

Kao što se iz tablice 1 može vidjeti, prosječni postotak resorpcije radiojoda kod 29 osoba koje su učestvovala u eksperimentu za obadva spola i obadviije lokacije iznosi 3.4 ± 2.2 sa $p > 68.3\%$ testirano po Studentovom testu, a to znači da su postojale velike individualne varijacije u resorpciji, kao i razlike po spolu i mjestu aplikacije. Srednje vrijednosti koje smo dobili u testiranje signifikantnosti razlika međutim u cjelini dokazuju mogućnost znatno višeg stepena resorpcije nego što su to naši raniji ispitiivači.

Kod aplikacije radiojoda na dlanove, u našim je istraživanjima dobijen niži postotak resorpcije, negoli kod aplikacije radiojoda na koži dorzuma šake. Kod muškaraca srednje vrijednosti postotaka smanjenja ra-

Tablica 1.
 Predložanje radiojoda kroz mleko u odnosu na trajanje ispašnice i spol kod dovnalno i palmarne
 aplikacije (izraženo kao postotak smanjenja aktivnosti kontaminanta u odnosu na standard)

Mlečno aplikacije	Spol	Broj osoba	Prosječna staraost	Srednja vrijednost postotka smanjenja radioaktivnosti kontaminanta u odnosu na aktivnosti standarda iz		Srednja vri- jednost post- otaka --apli- kacije radiojoda nakon 48 sati	p >
				0 sati	48 sati		
Sve palmarne	muški	10	94.9 ± 7.0	100.0 ± 2.88	98.5 ± 2.5	1.7 ± 2.5	50.8%
	ženski	6	8.92 ± 8.9	99.8 ± 1.5	98.1 ± 1.5	1.9 ± 1.4	50.2%
	oba spolia	16	36.5 ± 6.8	99.9 ± 2.7	98.2 ± 2.1	1.8 ± 2.1	58.5%
Sve dovnalno	muški	7	58.0 ± 1.0	98.3 ± 2.7	95.5 ± 2.5	4.5 ± 2.5	56.2%
	ženski	6	55.0 ± 5.9	98.5 ± 1.5	93.9 ± 2.1	6.1 ± 2.1	98.03%
	oba spolia	13	56.0 ± 4.8	98.5 ± 2.0	94.7 ± 2.5	5.8 ± 2.5	77.0%
Sve aplikacije	muški	17	84.0 ± 4.0	99.5 ± 2.8	97.1 ± 2.5	2.9 ± 2.5	57.8%
	ženski	12	56.0 ± 4.9	99.0 ± 1.4	96.0 ± 1.8	4.0 ± 1.8	80.7%
	oba spolia	29	35.0 ± 5.5	99.0 ± 3.0	96.0 ± 2.2	3.4 ± 2.2	68.8%

dioaktivnosti na dlanovima u odnosu na standardi su bile $1.7 \pm 2.3\%$, a sa kože nadlanice lijeve šake 4.5 ± 2.3 posto, tj. resorpcija je tu morala biti preko dva puta viša. Vjerovatnost signifikantnih razlika mjerenja na koži i u standardu je bila u tim slučajevima 50.8% odnosno 56.2%.

Kod žena imamo istu situaciju. Palmarna aplikacija je dala kod žena 1.9 ± 1.5 posto resorpcije, a dorsalna 6.1 ± 2.1 posto, odnosno preko tri puta više. Testovi signifikantnosti su iznosili 50.2% i 98.03%. Niže vrijednosti resorpcije na dlanovima negoli na koži nadlanice šake donekle objašnjavaju niže vrijednosti resorpcije I-131, koje su dobili raniji ispitiivači koji su koristili samo palmarnu aplikaciju i radili s manjim brojem osoba. Tako značajne razlike u resorpciji na dvije strane jedne ruke, dozvoljavaju da postavimo pretpostavku da i na ostalim dijelovima tijela možemo očekivati značajne razlike u resorpciji.

Tablica 1 s velikom zakonitošću otkriva razlike u resorpciji radiojoda sa kože žena u odnosu na kožu muškaraca. U cjelini uzevši, kod muškaraca smo, zbrojivši srednje vrijednosti resorpcije kod obadvije aplikacije imali 2.9 posto $\pm 2.3\%$ resorpcije, a kod žena 4.0 posto $\pm 1.8\%$. Ova jasna i značajna razlika ($p > 76.4\%$) se opaža kod obadvije lokacije kontaminacije. Kod palmarne aplikacije resorpcija kod muškaraca je bila 1.7 posto $\pm 2.3\%$, a kod žena 1.9 posto $\pm 1.5\%$. Signifikantnost razlika među spolovima $p > 92.0\%$. Individualne razlike kod žena su bile niže, kao što to pokazuje srednje kvadratno odstupanje. Kod dorsalne aplikacije radiojoda razlike u resorpciji su bile veće (4.5 posto $\pm 2.3\%$ kod muškaraca, prema 6.1 posto $\pm 2.1\%$ kod žena), ali je signifikantnost razlike nešto manja ($p > 62.6$).

Resorpcija mjerena na mjestu izlučivanja

Na tablici 2 su prikazane srednje vrijednosti promila izlučivanja radiojoda kroz bubrege nakon 48 sati iz lokalne kontaminacije kože iskazane u cjelini i posebno po mjestima aplikacije i spolu.

Tablica u pretposljednjoj koloni sadržava pored toga srednje vrijednosti aktivnosti u promilima ukupno izlučenog radiojoda u toku 48 sati u odnosu na aktivnost standarda, a u posljednjoj koloni srednje vrijednosti postotaka izlučenog joda u odnosu na resorbiranu količinu kod pojedinih eksperimentalnih grupa.

Najkarakterističniji podaci koji proizlaze iz tablice 2 pokazuju da količina kroz bubrege izlučenog joda raste i opada s vrijednostima resorbiranog joda prikazanim u tablici 1. To znači da je količina izlučenog radiojoda kod svih pokusnih grupa bila toliko veća koliko je bila veća resorpcija.

Ukupna količina odnosno srednja vrijednost promila aktivnosti izlučenog radiojoda u toku 48 sati u odnosu na aktivnost standarda bila je kod muškarca 2.24 promila ± 1.83 , a kod žena 4.38 promila ± 3.6 . Kod

Tablica 3
Isključivije radiojoda kroz bubrege, izraženo u promilima u odnosu na standard aplikirane doze na kožu ruka palmarno i dorsalno, kao i u odnosu na tretanje aplikacije

Mjesto aplikacije	Spol	Srednja vrijednost promila isključnog radiojoda u odnosu na standard količine aplikirane na kožu liza		Srednja vrijednost promila aktivnosti isključnog radiojoda u toku 48 sati u odnosu na aktivnost standarda	Srednja vrijednost svotoka isključnog radiojoda od resorbirane količine
		48 sati			
Saka palmarno	muški	0.82% ± 0.36	1.55% ± 0.61	9.1%	
	ženski	1.05% ± 0.58	1.85% ± 0.84	9.7%	
	oba spola	0.90% ± 0.47	1.64% ± 0.72	9.1%	
Saka dorsalno	muški	1.80% ± 0.8	3.24% ± 1.29	7.2%	
	ženski	4.07% ± 0.9	6.91% ± 4.21	11.8%	
	oba spola	2.90% ± 0.85	4.94% ± 2.7	9.9%	
Sve aplikacije	muški	1.20% ± 0.81	2.24% ± 1.33	7.7%	
	ženski	2.50% ± 2.5	4.38% ± 3.6	10.90%	
	oba spola	1.80% ± 1.5	3.15% ± 2.7	9.2%	

palmarne aplikacije, odgovarajuće vrijednosti za muškarce su bile 1.35 promila \pm 0.61 promila, a za žene 1.85 promila \pm 0.84 promila. Kod dorsalne aplikacije, kao što smo imali za obadva spola veću resorpciju, imamo i veću količinu izlučenog radiojoda kroz bubrege (3.24 promila \pm 1.29% za muškarce i 6.91 promila \pm 4.21% za žene).

Iz naprijed navedenih podataka možemo, prema tome, sa sigurnošću zaključiti da nam pojava radiojoda u mokraći ne samo kvalitativno dokazuje resorpciju radiojoda kroz kožu, nego da izlučivanje joda kvantitativno dosljedno prati varijacije u količini resorbiranog radiojoda kod pojedinih pokusnih grupa.

Posljednja kolona u tablici 2 daje nam vanredno interesantne podatke o procentu od ukupno resorbiranog radiojoda koji se izlučio u toku prvih 48 sati. Usprkos velikim varijacijama u stepenu resorpcije radiojoda kroz kožu pojedinih pokusnih grupa, postotak izlučivanja u toku 48 sati od ukupno resorbiranog joda je kod svih grupa bio prilično konstantan i iznosio je u cjelini 9,2%, i to kod palmarne aplikacije za oba spola 9,1%, a kod dorsalne aplikacije 9,3%. Kod daljeg cijepanja ovih grupa, u jednoj se (ženskoj dorsalnoj podgrupi) javljaju veće varijacije.

ZAKLJUČAK

Naprijed izneseni rezultati nam dozvoljavaju da damo odgovor na pitanja postavljena prilikom projektovanja ovog istraživanja i pomcnuta u uvodu ovog izvještaja.

1. Naša istraživanja dokazuju da stepen resorpcije radiojoda kroz neoštećenu kožu može biti veći nego što bi se to moglo očekivati na osnovu citiranih istraživanja drugih autora.

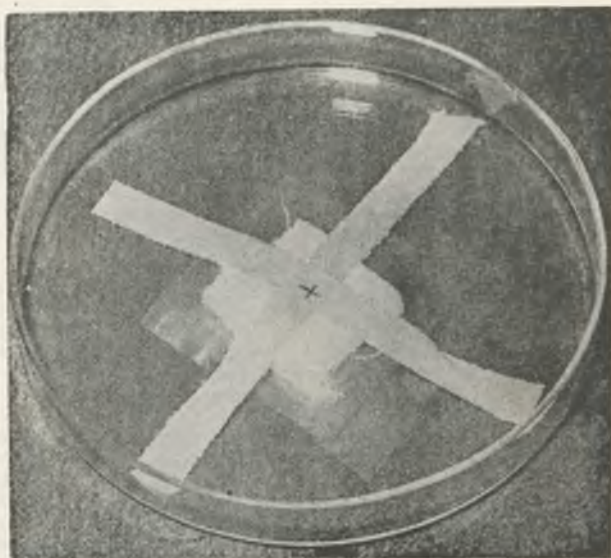
2. Naši rezultati su utvrdili definitivnu i jasnu razliku između resorpcije radiojoda sa dva različita lokaliteta (palmarna i dorsalna strana šake), i to kod obadva spola.

3. Naši rezultati otkrivaju da postoje jasne razlike u stepenu resorpcije radiojoda sa kože muškaraca i žena, a na štetu žena.

Pored naprijed navedenih odgovora na postavljene ciljeve našeg istraživanja, uspješna primjena natrijevog perhlorata za blokiranje vezivanja radiojoda u štitnjači otvara mogućnost za istraživanja o eventualnoj profilaktičkoj upotrebi ovog sredstva u situacijama visoke kontaminacije životne sredine radiojodom. Velika postojanost u procentu izlučenog radiojoda u odnosu na resorbiranu količinu pokazuje da mora postojati zakonitost u brzini kojom se organizam zdravih osoba oslobađa resorbiranog radiojoda.



Sl. 1. Mjerenje aktivnosti kontaminanta pod scintilacionom sondom (Isotope Development Ltd., London). Kontaminirani lupfer je pokriven plastičnom folijom i fiksiran adhezivnom trakom



Sl. 2. Radioizotopni standard koji je po aktivnosti adekvatan radiokontaminaciji na mjestu aplikacije na ljudskoj koži

Summary

ABSORPTION OF RADIOIODINE THROUGH THE INTACT HUMAN SKIN

The skin on both palmar and dorsal side of the left hand of 29 adult volunteers of both sexes, aged 35 ± 5.5 years, was contaminated with 80-100 μc (I-131 in the form of NaI) in the course of 48 hours. The technique of radionuclide application was similar to the patch technique used by Tas and Feige (4). Two mutually independent ways of measuring degree and speed of I-131 absorption through the skin were used: measurement of the rate of the reduction of the radioactivity excreted through the kidneys, again compared with the standard. To prevent the resorption of I-131 in the thyroid, the patients were given 1000 mg sodium-perchlorate daily.

Mean values of percentages of cutaneous I-131 absorption in our experiments were 3.4 ± 2.2 for both sexes and both applications. Mean values of absorption for women were in both applications higher than for men as shown in Table 1. Mean values of dorsal absorption were for both sexes higher than those of palmar contamination.

Relative quantities of radioiodine excreted through the kidneys expressed as promille of the standard followed the above mentioned rates, giving an average 9.2 percent excretion rate of the absorbed radioactivity (Table 2).

*Institute of Hygiene and Social Medicine,
Medical Faculty, Sarajevo*

*Received for publication
February 10, 1965*

Literatura

1. Winkler, C.: *Strahlentherapie*, 121 (1965) 217.
2. Van Dilla, M. A., Rowe, M. W.: Los Alamos Scientific Laboratory Report LAMB 2455 (1960) 113.
3. Van Dilla, M. A., Richmond, C. R., Furchner, J. K.: Cutaneous Absorption by Human Subjects. I. Studies with Sodium 24 and Iodine 131. Los Alamos Scientific Laboratory Report LAMB 2455 (1960).
4. Tas, J., Feige, Y.: *J. Invest. Dermat.*, 50 (1958) 193.
5. Miller, O. B., Selle, W. A.: *J. Invest. Dermat.*, 12 (1949) 19.
6. Mali, J. W. K., Wolding, M. G.: *Dermatologica*, 111 (1957) 45.
7. Halnan, R. Z.: *Brit. J. Radiol.*, 31 (1958) 581.
8. Tubiana, M.: *J. Med. Bordeaux*, 24 (1958) 137.

Prilog problemu perkutane resorpcije radioaktivnih materija

K. Millivojević, D. Stojanović

U praktičnom radu se veoma često događaju akcidenti kontaminacije otkrivenih dijelova tijela, naročito rana. Koža, zaštitni omotač tijela sa površinskim slojem od keratinoide supstancije impregnirane lipoidnim materijama, a prekrivena prevlakom od loja i znoja (1,2,3), pruža otpor prodiranju mnogih supstancija u organizam. Ipak, pokazalo se, da je kožna barijera manje ili više propustljiva za različite materije. Danas postoje veći broj radova kojima je prepuštenost normalne intaktne kože za mnoge radionuklide: za sumpor (4,5), torijum-x (6), plutonijum (7,8), jod (9,10), cezijum (11) stroncijum (11, 12, 13, 14), kalcijum (15,16) u obliku vodenih rastvora. Stoga je izučavanje transkutane i prodiranja radioizotopa u organizam, posmatrano sa aspekta interne kontaminacije, od interesa za pravilnu procjenu opasnosti od spoljne radiološke kontaminacije.

U našim ogledima ispitivana je perkutana resorpcija radiocezijuma, radiostroncijuma i radiojoda. Stroncijum i cezijum spadaju među najinteresantnije radioizotope sa aspekta njihove moguće rasprostranjenosti i opasnosti po čovjeka. Jod je izabran kao važan predstavnik fisionih produkata - kao i zbog veoma široke primjene u medicini u dijagnostičke i terapijske svrhe.

Metod rada

Kao eksperimentalne životinje korišćeni su Albino pacovi - muškog pola, tjelesne težine oko 250 grama, starosti 4-5 mjeseci. Narkotisani su etiluretanom. Iako se narkozom mijenja fiziološko stanje organizma, eksperimenti su zahtijevali izvođenje narkoze. Životinjama je šišanjem uklonjena dlaka na ventralnoj strani tijela, a potom su fiksirane na operacionoj ploči. Veličina pripremljenih zona za kontaminaciju iznosila je 3 i 12 cm². Površina kože pripremljena za kontaminaciju (sa ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ¹³⁴J) kod jedne grupe životinja tretirana je eterom ili deterdžentom radi uklanjanja fiziološke masne barijere na koži (u praksi česta pranja ruku dovode do razmašćivanja i dehidratacije kože). Kod druge grupe životinja kontaminant (¹³⁷Cs) je nanošen na nretiriranu kožu. Kontaminanti su aplicirani u obliku rastvora ⁹⁰SrCl, ¹³⁷CsCl i Na ¹³⁴J. Rastvoru je dotjeran pH na 4-5 koji odgovara normalnoj reakciji kože. Najveći aktivitet je iznosio za ¹³⁷Cs od 15-100 nCi, za ⁹⁰Sr oko 12 nCi i za ¹³⁴J oko 4 nCi. Korišćen je GM, odnosno scintilacioni brojački uređaj. Mjerenje je vršeno in vivo, na svježim uskretna tkiva (Cs, J) i na pepelu žarenih tkiva (Sr).

Rezultati i diskusija

Kontinuiranim praćenjem radioaktivnosti krvi od momenta - aplikacije na neoštećenu kožu rastvora $^{137}\text{CsCl}$, odnosno - $^{90}\text{SrCl}$, konstatuju se tragovi ovih izotopa već 1-2 min. - poslije kontaminacije. Koncentracija radiocezijuma odnosno radiostroncijuma u krvi dosta brzo raste i dostiže maksimalnu vrijednost oko 30 min. poslije kontaminacije kože. Nakon toga vremena radioaktivnost krvi opada. Na sl. 1 i 2 - prikazano je kretanje radioaktivnosti krvi u funkciji vremena.

Kod kontaminacije kože sa rastvorom Na^{131}J registrovana - je radioaktivnost u krvi i urinu u funkciji vremena, a rezultati su prikazani u tabeli 1.

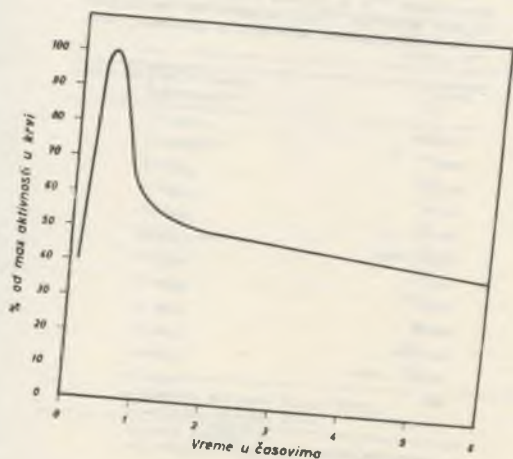
Aktivnost u krvi i urinu posle kontaminacije
neoštećene kože sa ^{131}J

Grupa kivotinja	Procenat aplicirane aktivnosti/mg suve supstancije krvi nakon		Procenat aplicirane aktiv- nosti u urinu nakon 24 h.
	2 h	24 h	
Blokada štitaste žlezde sa sol. Lugol	0,0012	0,0013	0,33
Normalna štitaste žlezde	0,0009	0,0010	0,15

- aplicirana aktivnost $4, \mu\text{C Na}^{131}\text{J}$
- resorpciona površina 12 cm^2
- koža očišćena deterđentom pre kontaminacije

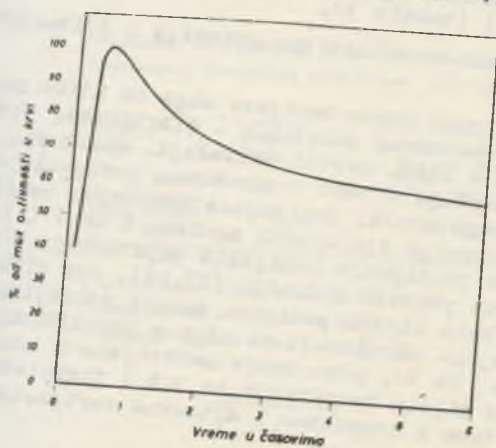
Tabela 1

Ispitivani radioelementi su prisutni u krvi uglavnom u jon- skom stanju. Ovi elementi ne formiraju stabilne komplekse - sa krvnim konstituentima, što uslovljava njihovo relativno- brzo iščezavanje iz krvotoka. Dospjevši do tkiva radiocezi- jum, radiostroncijum i radiojod vezuju se sa biosupstratom- na specifičan način u zavisnosti od njihovih fizičko-kemijs- kih osobina, njihovog kemijskog ponašanja, kao i karaktera- fizioloških procesa koji se odigravaju u organizmu. Distrib- ucija ovih izotopa u organizmu podliježe izvjesnoj specifič- noj zakonomjernosti koja je zapažena pri izučavanju i drug- ih putova unošenja ovih radioizotopa u organizam. U odnosu- na kritične organe i pri transkutanom prodiranju zapaža se



Sl. 1

izrazito nakupljanje u određenim tkivima:
 - sa ^{137}Cs i pored manje više difuzne raspodjele nađena je -
 njegovu maksimalna koncentracija u bubrezima, mišićnom tkivu
 (naročito u srčanom mišiću) i jetri (tabela 2),



Sl. 2

Struktura ^{137}Cs po organima i tkivima normalnih pučva posle aplikacije $^{137}\text{CsCl}$ na naoštrenu kožu izražena u procentima aplikirane aktivnosti na gram svežeg tkiva

Organ	aktivnosti na gram svežeg tkiva $\times 10^2$
Bubrezi	4,00
Spee	2,50
Mišići	2,00
Jetra	2,00
Debelo crevo	1,90
Tanko crevo	1,80
Želuac	1,50
Pluća	1,20
Cekum	1,00
Sluzine	1,00
Bešika + urin	0,80
Krv	0,15
Testisi	0,15

- aplikirana aktivnost 60 μCi $^{137}\text{CsCl}$
- resorpciona površina 12 cm^2
- trajanje ogleda 6 h
- koža očišćena eterom pre kontaminacije

Tabela 2.

- ^{90}Sr se izrazito selektivno nakuplja u koštanom tkivu (radioaktivnost skeleta 10-50 puta prevazilazi radioaktivnost ostalih tkiva) (tabela 3),

- ^{131}I se izrazito selektivno nakuplja u štitavstoj žlijezdi (tabela 4).

Na propustljivost kožne barijere mogu da utiču mnogobrojni faktori kako internog porijekla - fiziološki, patološki (kvaliteta i stanje kože, nervni nadražaji, endokrini i drugi patološki poremećaji), tako i eksternog porijekla - fizički i hemijski (temperatura, jonizujuće zračenje, hemijski oblik, pH i koncentracija djelujućih agenasa i dr.) (1). Predpostavlja se da je prodiranje hemijskih supstancija u kožu i kroz kožu primarno procesu difuzije (17,18). Ova difuzija prolazi kroz multifazni sistem podložan mnogim uticajima, čije se na manje promjene odražavaju na otporu pronalazenju prodiruće supstancije. Uz to, prenošenje materijala u kožu i dalje u druga tkiva tijela komplikuje se još i fiziološkim procesima drugih sistema u organizmu i njihovim varijacijama (18)

Distribucija ^{90}Sr po organima i tkivima normalnih osoba
 dva posle aplikacije $^{90}\text{SrCl}_2$ na neoštećenu kožu izražena
 u procentima aplicirane aktivnosti na 1 cm^2 površine tkiva

Organ	% aktivnosti na 1 cm^2 površine tkiva $\times 10^2$
Skelet	9,0
Međura i urin	2,0
Krv	1,0
Tanko crevo	0,9
Mišići	0,8
Pluća	0,8
Subrozi	0,7
Debelo crevo	0,7
Slezina	0,7
Želudac	0,4
Ćelije	0,4
Jetra	0,2
Testisi	0,2

- aplicirana aktivnost $10\ \mu\text{Ci } ^{90}\text{SrCl}_2$
- resorpciona površina $12\ \text{cm}^2$
- trajanje ogleda 6 h.
- koža očišćena etanom pre kontaminacije

Tabela 3.

Tako površinska prevlaka lipoidnih supstancija koje prekriva
 ju i donekle impregniraju orožali sloj kože ima važnu protok
 tivnu ulogu. Pored toga što potpomaže održavanje hidrataci-
 je i elastičnosti orožalog sloja, ova prevlaka reguliše u zn
 atnoj mjeri i apsorpciju raznih supstancija (19). Uklanjanje

Količina ^{137}Cs prodrla u telo kroz neoštećenu kožu
 izražena u procentima aplicirane aktivnosti

Stanje kože	Retretirana koža	Koža očišćena ete- rom pre kontamina- cije
Ukupno pro- drla količi- na u telo	0,42	2,40

- aplicirana aktivnost $60\ \mu\text{Ci } ^{137}\text{CsCl}$
- resorpciona površina $12\ \text{cm}^2$
- trajanje ogleda 6 h.

Tabela 4.

ove fiziološke masnoće ima uticaja na povećanje transkutane resorpcije. Iz rezultata naših oglada prikazanih u tabeli 5 vidi se uočljiva razlika u stepenu resorpcije ^{137}Cs preko - netretirane kože i kože tretirane eterom.

Tabela 5. Aktivnost na koži posle aplikacije ^{131}J na neoštećenu kožu

Grupa životinja	Procenat aplicirane aktivnosti na koži nakon		
	2 h	4 h	24 h
Normalna štitašta žlezda	87,3	78,7	67,6
Blokirana štitašta žlezda sa sol. Lugol	91,1	82,1	75,8
Ekstirpirana štitašta žlezda	90,5	88,5	75,0

- aplicirana aktivnost $4 \mu\text{C}$ ^{131}J
- resorpciona površina 12 cm^2
- koža očišćena deterdžentom pre kontaminacije

Kod kontaminacije sa radiojodom^{*} posmatrana je veličina resorpcije ^{137}J kroz kožnu barijeru. Zapaženo je da stanje štitašte žlijezde može da ima uticaja na stepen transkutane resorpcije, što će dalje biti ispitivano (tabela 6).

Tabela 6.

Količina ^{137}Cs prodrla u telo kroz neoštećenu kožu u funkciji aplicirane količine, izražena u procentima aplicirane aktivnosti

Aplificirana aktivnost	$15 \mu\text{C}$	$30 \mu\text{C}$	$100 \mu\text{C}$
	$5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ kože	$10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ kože	$33 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ kože
Ukupno prodrla količina u telo	0,43	1,04	1,70

- resorpciona površina 3 cm^2
- trajanje oglada 6 h.

Zavisnost prodrle količine radiocezijuma u organizam u funk-

ciji specifične aktivnosti nanijetog kontaminanta na određenu resorpcionu površinu (3 cm²) neoštećene netretirane kože pri kazana je u tabeli 7. Iz tabele se vidi da povećanjem specifične aktivnosti kontaminanta dolazi i do uvećanja procenta prodrlog ¹³⁷Cs u organizam. Vjerovatno je da povećanje koncentracije jona ¹³⁷Cs na površini kože ima za posljedicu ubrzanu penetraciju ovih jona kroz kožnu barijeru.

Zaključak

Radovi na praćenju dinamike prodiranja radiocezijuma, radiostroncijuma i radiojoda kroz neoštećenu kožu bijelih pacova i procjena intenziteta nastanka interne kontaminacije pokazali su slijedeće:

- resorpcija radiocezijuma, radiostroncijuma i radiojoda je brza,
- distribucija ovih izotopa u organizmu i pri transkutanom prodiranju podliježe specifičnoj zakonomjernosti zapaženoj pri izučavanju drugih puteva unošenja ovih radioizotopa,
- dinamika perkutane resorpcije ispoljava znatnu zavisnost kako od izvjesnih fizioloških stanja kože i čitavog organizma, tako i izvjesnih fizičko-kemijskih faktora.

U praksi čestim tretmanima kože različitim sredstvima za pranje radi uklanjanja raznih nečistoća odstranjuje se zaštitna lipidna prevlaka, te koža postaje suva i ispucala, što znatno može da poveća perkutanu resorpciju prisutnog kontaminanta. Čak i ako je koža fiziološki očuvana procenat prodrle količine ispitivanih radioizotopa nije zanemarljiv. Ako se uzme u obzir najčešći vid akcidenata - kontaminacija šaka, kontaminacija i malim količinama može da prouzrokuje internu kontaminaciju koja bi se kretala oko maksimalno dozvoljene koncentracije za cijelo tijelo. Obzirom na opasnosti koje uzrokuje spoljna kontaminacija (transkutana resorpcija i lokalno ozračivanje kože) nameće se imperativ brze i efikasne spoljne dekontaminacije).

CONTRIBUTION TO THE PROBLEM OF PERCUTANEOUS RESORPTION OF RADIOACTIVE MATERIALS

The permeability of the skin barrier for radionuclides in the case of external contamination is an especially interesting problem of study because of the danger induced by transcutaneous internal contamination of the organism. The work deals with the study of the dynamics of transcutaneous penetration of Sr, I, Cs. The factors influenci-

ng percutaneous resorption are studied, the results of observing the radioactivity of blood as a function of time - are discussed, the distribution of isotopes over the tissues is presented, and the amount of radioactive material penetrated in the organism is estimated.

The results obtained indicate that the transcutaneous path of internal contamination is important and external decontamination should be undertaken as early as possible.

Literatura

1. W. Kopaczewski, Les deterafs en hygiene et cosmetique Masson, et Cie, Paris, 1954.
2. S. Rothman, Physiology and Biochemistry of Skin, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1954.
3. Schwartz I.L., Chapter 10 in: Mineral Metabolism, Vol. I.-9 ed. by Comar C.L., and Bronner F., Acad. Press, New York - and London, 1960.
4. Stütgen and Wüst H., Hantarzt, 172 (1955).
5. Lothmar R., Dent. mod. Wochenschrift, 1917 (1954)
6. Witten V.H., Ross M.S., J. Invest. Dermat., 17 (1951)
7. Dockum N.L., and Case A.C., Acta Radiol. 50, 561 (1958)
8. George L.A., Jr., Dockum N.L. and Busted L.K., USA Report HW-47500, p. 146 (1958)
9. Tas I., and Feige J., Invest. J.; Dermat. 30, 193 (1958)
10. Harrison J., Health Physics Pergamon Press, 9, p. 993, (1963),
11. Milivojević K., Saopštenje na I Jugosl. simpozijumu za radiološku zaštitu, 1963,
12. Loeffler R.K., and Thomas, Nucl. Sei. Abstracts, 5, 323.
13. Loeffler R.K., and Herron J.W., USNRDL Report AD-309 (B)-(1951),
14. Budko, L.N., Čast I.V.: Raspredeľjenje, biologičeskoe dejstvie i migracija radioaktivnih izotopov, pod redakcijeu Lebedinskovo A.B., i Moskaleva J.I., Medgiz, Moskva, 1960
15. Stütgen G. und H. Betzler, Archiv klin. experime. Dermat. 203, 472 (1956)
16. Stütgen G. und Betzler H. Archiv klin. experim. Dermat. - 204, 165 (1957)
17. Rook A. "The epidermal Barrier" in "Progress in the Biological Sciences in relation to Dermatology", Cambridge U.-P. 1963.
18. Blank, I.H., J. Occup. Med. 2, 6 (1960)
19. Lorinez A.L. and Stoughton R.B., Phys. Rev. 38, Nr 1 (1958)

Utjecaj preventivne primjene zaštitnih kremova za ruke na efikasnost R-dekontaminacije kože kontaminirane smjesom fisionih produkata

D. Stojanović, J. Stajić, A. Milovanović

Pri radu sa radioaktivnim materijama u laboratorijskim uslovima danas se kao sredstvo za zaštitu od kontaminacije najviše koriste gumene hirurške rukavice. No one, čak i kad su potpuno neoštećene, nisu sasvim nepropustljive za izvjesne kontaminante /1/. Pored toga, one znatno smanjuju taktilnu osjetljivost prstiju koja je često veoma potrebna pri radu. Zbog toga, a i zato što štite samo šake, a ne i ostale otvorene dijelova tijela, gumene rukavice nisu najpogodnije ni kao sredstvo masovne lične zaštite u nuklearnom radu, za vrijeme taloženja radioaktivnih padavina. Ovi nedostaci se možda mogu eliminisati ako se umjesto rukavica koriste zaštitni kremovi, koji se u literaturi sve češće pominju kao mogućna sredstva efikasne zaštite kože otkrivenih dijelova tijela /ruke, lice, vrat/ od radioaktivne kontaminacije. Oni se već odavno koriste u industriji i domaćinstvu za zaštitu ruku od raznih kontaktnih agensa koji mogu prouzrokovati dermatite /masnoće, nečistoća, boje, polenov praš, organski - rastvarači, itd./.

Prema Towleru /1/, primjena zaštitnih kremova je veoma ublažila problem kontaminacije i dekontaminacije čovječeje kože u jednom nuklearnom centru u SAD. On smatra da krem predstavlja fizičku barijeru između kože i kontaminanta, te olakšava i ubrzava procese dekontaminacije.

TABELA 1.

DEKONTAMINANT	Zaštitni kremovi	Vremepostojanost	Broj kontaminacija	% UKLONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA			
				I	II	III	IV
				OSJEĆANA KOŽA			
KONTROLA SAPUN ZA RUKU I VODA	-	30min	10	97.5	98.9	99.2	99.3
		3h	10	97.5	98.5	98.9	99.1
SAPUN ZA RUKU I VODA	"48"	30min	10	93.1	96.4	97.4	97.7
		3h	9	94.5	97.1	97.8	98.3
SAPUN ZA RUKU I VODA	"OCTA"	30min	9	98.7	99.5	99.7	99.8
		3h	9	98.6	99.5	99.6	99.6
KONTROLA 1% "NILA" I VODA pH=5.5	-	30min	9	99.0	99.4	99.5	99.5
		3h	9	98.7	99.1	99.3	99.3
1% "NILA" I VODA	"48"	30min	5	93.3	95.7	96.8	97.0
		3h	5	93.2	96.0	96.9	97.2
1% "NILA" I VODA	"OCTA"	30min	10	99.0	99.6	99.8	99.9
		3h	8	98.8	99.5	99.6	99.6

Slično mišljenje o vrijednosti zaštitnih kremova ima Zlobinski /2/. On preporučuje da se radi lakšeg i bržeg izvođenja dekontaminacije, na kožu preventivno aplicira krem koji sadrži jednu nehidrosolubilnu i jednu neliposolubilnu supstanciju. U slučaju kontaminacije takav krem sprječava neposredni kontakt kontaminanta sa kožom, a također usporava i njegovu transkutanu resorpciju.

TABELA 2.

Kontaminant	Razvor smetani Sr ⁹⁰ i Cs ¹³⁷ (hibridi)	Vremena postojanja izotopa	Braj prijema	FAKTORI DEKONTAMINACIJE			
				POSLE POJEDINIH OBRADA			
				I	II	III	IV
DEKONTAMINACIJA							
<u>KONTROLA</u>		30min	10	47.1	2.8	1.4	1.3
SAPUN ZA RUKU I VODA	-	3h	10	42.3	1.7	1.3	1.6
SAPUN ZA RUKU I VODA	48°	30min	10	15.5	1.6	1.3	1.0
SAPUN ZA RUKU I VODA	48°	3h	9	12.0	1.8	1.3	1.2
SAPUN ZA RUKU I VODA	10CTA	30min	9	112.9	2.1	1.4	1.2
SAPUN ZA RUKU I VODA	10CTA	3h	9	96.9	2.5	1.4	1.2
<u>KONTROLA</u>		30min	9	91.8	1.7	1.2	1.1
1% „NILA“ I VODA	-	3h	9	84.4	1.7	1.2	1.1
1% „NILA“ I VODA	48°	30min	5	15.2	1.5	1.3	1.1
1% „NILA“ I VODA	48°	3h	5	15.4	1.6	1.2	1.1
1% „NILA“ I VODA	10CTA	30min	10	139.0	2.3	1.6	1.2
1% „NILA“ I VODA	10CTA	3h	9	94.6	2.2	1.2	1.1

Felton i Rozas /3/ su u eksperimentima na ljudima dobrovoljno cima dokazali da preventivna aplikacija na kožu jednog sili kenskog losiona i jednog lanolinskog losiona poboljšava efekat dekontaminacije i ograničava resorpciju kontaminanta.

Medjutim Black /4/ i Friedman /5/ izvještavaju da nisu mogli i ustanoviti povoljan efekat preventivne primjene zaštitnog krema "Kerodex" i nekih drugih kremova, pri kontaminaciji ruku sintetičkom radioaktivnom prašinom.

Od domaćih autora, uticaj kremova na efikasnost r-dekontaminacije kože ispitivali su Pendić i saradnici /6/. Oni su do bili različite rezultate, koji su zavisili od vrste i hemijskog oblika kontaminanta kao i od vrste krema.

Eksperimentalni rad

Podjeljena mišljenja o ovom problemu su nas podstakla da is

pitamo uticaj zaštitnih kremova za ruke /domaće proizvodnje na efikasnost i brzinu r-dekontaminacije kože oglednih životinja kontaminirane rastvorima snješa fisionih produkata.

TABELA 3.

Kontaminant: Rastvor snješa ^{90}Sr , ^{137}Cs + ^{244}Pu (nitrat) OŠIŠANA KOŽA

DEKONTAMINANT	Zaštitni krem	Vreme posle kontaminacije	Broj životinja	% URONJENE AKTIVNOSTI POSLE POJEDINIH OBRADA			
				I	II	III	IV
KONTROLA:							
TEČNI SAPUN I VODA	-	30min	10	25.7	26.8	27.8	28.4
		3h	10	25.3	27.3	28.0	28.4
TEČNI SAPUN I VODA	SIL [®]	30min	10	25.5	26.8	26.1	29.4
		3h	10	25.8	26.0	26.6	26.8
TEČNI SAPUN I VODA	DCTA [®]	30min	10	26.3	29.3	29.5	29.7
		3h	10	26.8	29.4	29.6	29.6
KONTROLA:							
P ₁ „NILA“ I VODA	-	30min	9	24.1	26.7	27.5	28.1
		3h	9	22.0	24.7	24.1	27.3
P ₁ „NILA“ I VODA	SIL [®]	30min	10	27.2	28.7	28.2	29.4
		3h	10	27.1	26.8	27.3	28.2
P ₁ „NILA“ I VODA	DCTA [®]	30min	10	28.7	29.5	29.7	29.8
		3h	10	28.4	29.2	29.4	29.5

TABELA 4.

Kontaminant: Rastvor snješa ^{90}Sr , ^{137}Cs + ^{244}Pu (nitrat) OŠIŠANA KOŽA

DEKONTAMINANT	Zaštitni krem	Vreme posle kontaminacije	Broj životinja	FAKTORI DEKONTAMINACIJE POSLE POJEDINIH OBRADA			
				I	II	III	IV
KONTROLA:							
TEČNI SAPUN I VODA	-	30min	10	24.2	1.7	1.5	1.2
		3h	10	22.0	1.7	1.2	1.2
TEČNI SAPUN I VODA	SIL [®]	30min	10	24.8	2.3	1.3	1.3
		3h	10	26.7	2.0	1.3	1.2
TEČNI SAPUN I VODA	DCTA [®]	30min	10	22.9	2.1	1.5	1.4
		3h	10	21.9	2.3	1.3	1.2
KONTROLA:							
P ₁ „NILA“ I VODA	-	30min	9	17.7	1.8	1.3	1.2
		3h	9	12.8	1.5	1.2	1.2
P ₁ „NILA“ I VODA	SIL [®]	30min	10	21.9	2.2	1.5	1.3
		3h	10	17.2	2.0	1.4	1.2
P ₁ „NILA“ I VODA	DCTA [®]	30min	10	29.8	2.9	1.8	1.4
		3h	10	28.5	1.9	1.4	1.3

Problem nam se čini značajnim i zbog toga što je poznato - da poslije svake dekontaminacije pomoću sapuna ili deterdženta i vode, čovječju kožu treba premazati nekim indiferentnim kremom, kako bi se naknadila pranjem uklonjena fiziološka masnoća i vratila elastičnost i otpornost kože prema spoljnim noxsama. Ako takav krem može, pored ublažavanja štetnih posljedica dekontaminacije, u isto vrijeme i da zaštiti kožu od nove kontaminacije i poveća efikasnost i brzinu naredne dekontaminacije, onda je to dvostruka korist koju ne treba podcjenjivati.

Materijal i metode

Na 146 albino pacova oba pola, starosti 4-5 mjeseci, težine oko 200 g, ispitivan je uticaj preventivne primjene zaštitnih kremova "48" /Lek-Ljubljana/, "Octa" /Neva-Zagreb/ i "Sil" /Saponija-Osijek/, na brzinu i efikasnost dekontaminacije kože bez dlake u zavisnosti od: vrste i hemijskog oblika kontaminanta, vrste materije za dekontaminaciju, vremena koje protekne između kontaminacije i početka dekontaminacije, broja obrada kontaminirane kože. Od materija za dekontaminaciju korišćeni su: sapuni /čvrsti i tečni/ i rastvor komercijalnog deterdženta /1% "Nila"/. - Vrijeme izvodjenja dekontaminacije: 30 i 3 č poslije kontaminacije. Svaka dekontaminacija se sastojala od 4 obrade. - Kontaminanti: rastvor smješe $^{89}\text{Sr} + ^{144}\text{Ce}$ u obliku hlorida i rastvor smješe $^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs} + ^{144}\text{Ce}$ u obliku nitrata. Specifična aktivnost obe smješe, karakteristike njihovih komponenata, tehnika rada i način obrade rezultata bili su isti kao u prethodnom radu. Tehnika rada primjenjena u ovim ogledima razlikovala se od prethodne jedino time što je neposredno pred kontaminaciju, na pripremljenoj površini očišćane kože staklenim štapićem premazan zaštitni krem /oko 0,5 g krema na 7 cm² kože/.

Rezultati i diskusija

Na tabelama 1 i 2 prikazani su rezultati dekontaminacije kože kontaminirane rastvorom smješe $^{89}\text{Sr} + ^{144}\text{Ce}$ u obliku hlorida, uz primjenu zaštitnih kremova "48" i "Octa". Očigledno je da krem "48" ne povećava efikasnost i brzinu dekontaminacije sapunom za ruke i rastvorom deterdženta "Nila". - Čak su procenti uklonjene aktivnosti i faktori dekontaminacije poslije svake obrade kože slabiji nego u kontrola. Naprotiv, krem "Octa" primjetno povećava efikasnost i brzinu dekontaminacije oba ispitivana sredstva. Na tabelama 3 i 4 rezultati dekontaminacije kože kontaminirane rastvorom smješe $^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs} + ^{144}\text{Ce}$ u obliku nitrata. Pošto je u prethodnom ogledu krem "48" nepovoljno uticao na efekat dekontaminacije sapunom i deterdžentom, to u ovom ogledu nije upotrebljen već je umjesto njega ispitivah krem "Sil". Umjesto sapuna za ruke upotrebljen je tečni sa-

pun koji se u našim ranijim ogledima pokazao kao veoma pogodan za uspješnu dekontaminaciju /6/.

Dobijeni rezultati pokazuju da u datim uslovima rada oba krema "Sil" i "Octa", uvećavaju efikasnost i brzinu dekontaminacije tečnim sapunom i deterdžentom. Procenti uklonjenosti i faktori dekontaminacije poslije pojedinih obrada kože veći su nego u nezaštićenih kontrola. No ako se uporedi uticaj jednog i drugog krema na efikasnost i brzinu dekontaminacije, onda je prednost izrazito na strani krema "Octa".

Treba istaći da u našim ogledima povoljni uticaj krema "Octa" nije zavisio od vrste i hemijskog oblika kontaminanta, niti od vrste materije za dekontaminaciju, ili od vremena početka izvodjenja dekontaminacije. Uz prethodnu aplikaciju tog krema, efikasnost dekontaminacije poslije četvrte obrade bila je praktično 100% u svim ogledima obje serije. Tako visoka i ujednačena dekontaminaciona sposobnost nadjena je samo kod znatno skupljeg dekontaminacionog sistema - kombinacije rastvora deterdženta i kompleksa /6/, kojeg većina autora smatra najboljim dekontaminantom. Zato je osnovna pretpostavka da preventivna primjena zaštitnog krema "Octa" maksimalno povećava efikasnost jeftinih dekontaminacionih materija kao što su sapuni i deterdženti, kad su u pitanju tečni kontaminanti.

Uzrok različnom ponašanju kremova "48", "Sil" i "Octa" u pogledu uticaja na efikasnost i brzinu dekontaminacije kože kontaminirane smješom fisionih produkata za sada nam nije poznat. Možda se on može pripisati njihovom različitom sastavu i činjenici da više ili manje sadrže elementa koji prema Kowleru, Zlobinskom i Tyrelu karakterišu dobre zaštitne kremeve.

I u ovim ogledima je potvrđen naš raniji nalaz da se nitrati teže dekontaminiraju od hlorida /6,7/, da nema bitne razlike u dekontaminacionim kvalitetima između čvrstog i tečnog sapuna s jedne strane i komercijalnog deterdženta s druge strane i da vrijeme početka dekontaminacije nema odlučujućeg uticaja na njen uspjeh. Takođe se pokazalo da se najveći procent aktivnosti uklanja sa kože sa prvom obradom.

Zaključak

Osnovna je pretpostavka da se zaštitni kremovi domace proizvodnje, osobito krem "Octa", mogu uspješno koristiti za zaštitu kože otkrivenih dijelova tijela od kontaminacije tečnim kontaminantima i za povećanje efikasnosti i brzine dekontaminacije kože jeftinim sredstvima za dekontaminaciju. U daljim ispitivanjima treba nastojati da se prouči i objasni mehanizam povoljnog djelovanja tog krema na brzinu i efikasnost dekontaminacije, kao i vremenski kapacitet njegovog zaštitnog dejstva. Takođe treba provjeriti koliko taj krem ograničava transkutanu resorpciju kontaminanta.

The Effect of the Preventive Application of Protective Hand Cream on the Efficiency of R-Decontamination of Skin Contaminated With a Mixture of Fission Products

The effect of the preventive application of protective hand cream on the efficiency of r-decontamination of animal skin was investigated. Three different kinds of home-made creams were tested. The contaminants were liquid radionuclides from a complex of fission products. Encouraging results have been obtained. They show that some creams, in given experimental conditions, improve the decontamination efficiency of the conventional decontamination means - soaps and detergents.

Literatura:

1. Towler G.S.: *Atomics*, Vol.88, 1956, p.88,
2. Zlobinski P.M., *Bezopasnost rabot s radioaktivnimi veščicami*, Moskva, Medgiz, 1961,
3. Felton J.S., Rozas C.J., *Arch. of Environm. Healths*, 1, - 1960.,
4. Black R.H., *Am. Ind. Hyg. Jr.*, Vol.19, 1958, p.15,
5. Friedman W.J., *Am. Ind. Hyg. Jr.*, Vol.19, 1958, p.p.162,
6. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D.: *Vojno-sanit. - pregled*, Vol. 22, 1965., s.446.,
7. Pendić B., Milivojević K. i Stojanović D., *Zbornik materijala VII jug. konf.ETAN*, Beograd, 1963, s.743,
8. Stajić J., Milovanović A., Stojanović D., *Vojno-sanit. - pregled*, Vol.22, 1965, s.541.

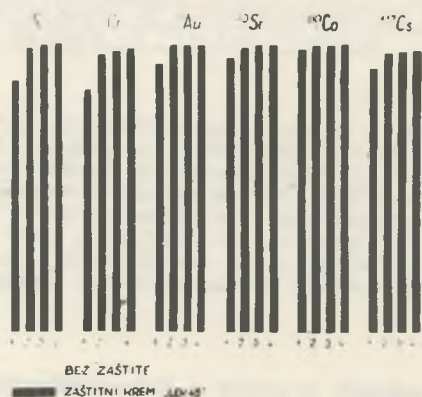
Uloga zaštitnih kremova u dekontaminaciji kože

B. Pendić, K. Milivojević, D. Stojanović

Problem sprečavanja radiološke kontaminacije osoblja pri radu još uvijek nije pogodno riješen. Raznovrsnost kontaminirajućih supstancija i raznolikost oblika u kojima se one pojavljuju, zatim mehanizam kontaminacije, individualna osjetljivost kože, propratno ranjavanje ili oštećenje kože - sve su to faktori koji u mnogome otežavaju rješavanje problema zaštite. Jasno je, da apsolutnu zaštitu kože nije moguće postići, ali usavršavanje mogućnosti prevencije kontaminacije kože s jedne strane, i poboljšanje efikasnosti dekontaminacije s druge strane, čine znatan doprinos bezbjednijem radu sa radioaktivnim materijalima. U cilju savladavanja ovog specifičnog problema pristupilo se ispitivanju mogućnosti zaštite kože korišćenjem zaštitnih kremova, koji se već primjenjuju kao protektivni agensi u industriji.

Najčešće upotrebljavano zaštitno sredstvo za spriječavanje kontaminacije ruku, koje su u laboratorijskim uslovima najviše izložene kontaminaciji, su tanke rukavice tzv. hirurške rukavice od različitog nepropustljivog materijala. Iako je njihova zaštitna efikasnost velika, ovakav način zaštite ima dosta nedostataka. Pokazalo se da sve vrste tankih -rukavica propuštaju izvjesnu količinu aktiviteta /1/. Njihova zaštitna efikasnost znatno opada pri izlaganju hemijskim supstancijama, naročito organskim rastvaračima i kiselinama što stvara neizvjesnost u pogledu njihove zaštitne moći. Osim toga, pri skidanju rukavica sa ruku, i pored velike opreznosti, može da dodje do direktne kontaminacije kože. Rukavice su često nepogodne za vršenje operacija koje zahtijevaju visoku taktilnu osjetljivost prstiju, a kod dugotrajnih operacija nošenje rukavica dovodi do prekomjernog znojenja što može da ima za posljedicu oštećenje kože uslijed maceracije orožalog zaštitnog sloja. U toku rada sa hemijskim supstancijama uopšte, a pogotovo pri radu sa radioaktivnim mat

5% NILA



Grafikon 1.

erijalima, neophodna neophodna su česta pranja ruku. Ona mogu da prouzrokuju ispućalost kože zbog stalnog razmašćivanja čime se znatno umanjuje njena sposobnost da zadržava aktivitet prilikom raznovrsnih postupaka pranja i čišćenja. Sve ovo nameće traženje rješenja u usavršavanju mogućnosti za prevenciju kontaminacije i uspješniju dekontaminaciju. - Radi svoje pogodnosti se sve više ispituju i upotrebljavaju pri radu sa radioaktivnim materijama različiti zaštitni kremovi.

Pri ocjeni kvaliteta nekog zaštitnog krema moraju da se obuhvate tri osnovna kriterijama:

Prvo, procjena sposobnosti barijerne supstancije da spriječi kontakt štetnog agensa sa kožom i onemogućiti njegovo prodiranje u kožu,

drugo, procjena efikasnosti njegovog uklanjanja sa kože, treće, procjena njegove inertnosti u odnosu na kožu.

Da bi odgovorila svojoj namjeni i zadovoljila ove kriterijume potrebno je da barijerna supstancija formira preko izložene površine kože nontinuiranu elastičnu prevlaku, otpornu na djelovanje raznovrsnih štetnih agenasa /kiseline, baze, organski rastvarači, itd./, a da može da se jednostavno i lako ukloni sa nje zajedno sa kontaminantom. Osim toga, zaštitni krem mora da predstavlja inertnu materiju koja sa svoje strane ne iritira kožu i ne uzrokuje nepoželjne promjene stratum korneuma, glavne zaštitne barijere u koži.

Zaštitni kremovi koji se nalaze najčešće u upotrebi mogu da se svrstaju u dva osnovna tipa:

1. Hidrofilni kremovi, u vodi rastvorljivi, namijenjeni zaštititi od nečistoća koje ne sadrže vodu /prašina, masni spoj/ a mogu da se uklone sa kože zajedno sa kontaminantom pranjem sa vodom,

2. Hidrofobni kremovi, odbijaju vodu, koriste se za zaštitu

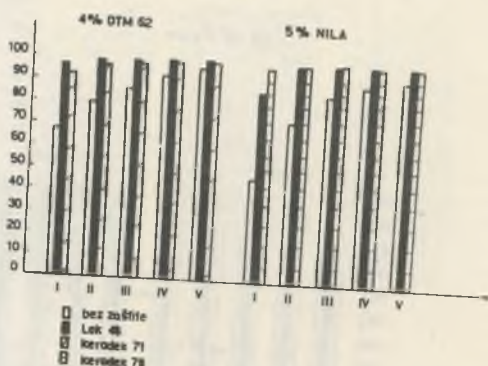
od nepoželjnih vodenih rastvora uopšte, a zbog svoje hemijske inertnosti efikasna su zaštitna od kiselina i alkalija. - Odstranjuju se sa kože uglavnom mehaničkom akcijom i djelovanjem pritiska i toplote prirodnih kožnih sekrecija. Upoređujući ova dva tipa barijernih supstancija, može da se zaključi da hidrofilni kremovi imaju ograničeno djelovanje i pružaju ograničenu zaštitu u odnosu na hidrofobne kreme.

Osim naprijed razmotrenih, postoje i gel tipovi zaštitnih kremova. Oni pružaju efikasniju zaštitu kod daleko većeg broja raznovrsnih kontaminanata. Ne sadrže silikone, ali koži pružaju zaštitu sličnu produktima na bazi silikona. Zapaženo je da često zaštitne supstancije pored svoje osnovne funkcije sprječavaju kontakta kontaminanta sa kožom potpomažu čišćenje kože olakšavajući i ubrzavajući dekontaminacioni postupak.

Eksperimentalni rad

Cilj eksperimentalnog rada je bio da se dobiju podaci o efektu zaštitnih kremova na efikasnost dekontaminacije, a kasnije radovi su obuhvatili preventivni efekat zaštitnih kremova na transkutanu resorpciju.

35

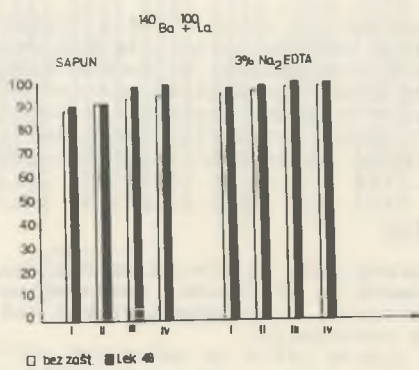


Grafikon 2.

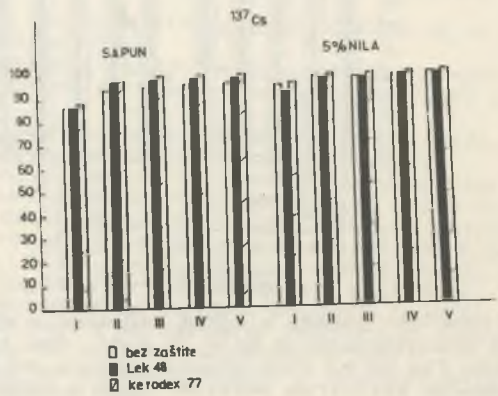
Tehnika rada je opisana u našim radovima o metodama i sredstvima za dekontaminaciju kože /2,3,4/. Ona je dopunjena samo utoliko što je na kožu bijelih pacova pripremljenih za dekontaminaciju apliciran zaštitni krem u tankom sloju /10 - 20 mg krema/cm² /.

U ogleđima je provjeravana efikasnost domaćih zaštitnih kremova "Zaštitnog krema 48" /produzvod fabrike "Lek" - Ljubljana/, "Octe" /produzvod "Neva" - Zagreb/ i "Kerodex" zaštitn-

ih kremova "Kerodex 71", "Kerodex 77", "Kerodex 78" /proizvodi Scientific Pharmacals Limited - London/. Svi ovi kremovi su spravljeni na bazi prirodnih masnih spojeva, osim "Octa" čija je glavna zaštitna supstancija silikon.



Grafikon 3.

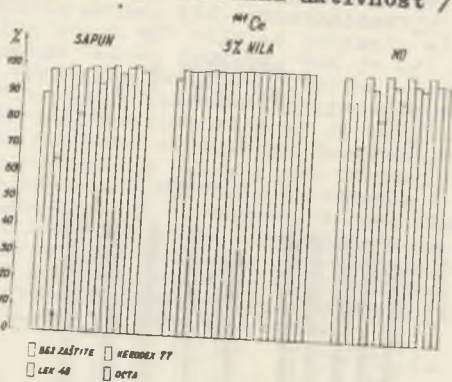


Grafikon 4.

Za dekontaminaciju su korišćeni sapun, deterdžent "Nila", - 4% deterdžentska mješavina /30% Tide, 65% Calgon i 5% Car-bose/ i MO 8.385. Efikasnost primjenjenih kremova ispitivana je kod kontaminacija sa ³⁵S, ⁵¹Cr, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ¹³⁴J, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, - ¹⁴¹Ce.

Rezultati i diskusija

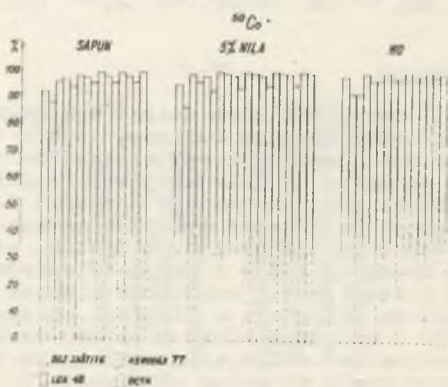
Apliciran na koži, barijerni krem dolazi u kontakt sa različitim strukturama kože: stratum korneum, lojnim i znojnim žlijezdama, te je mehanizam djelovanja zaštitne supstancije različit. Smatra se da na orožali sloj kože zaštitni krem djeluje kao vještački loj, zamjenjuje prirodni lojni sekret koji je manje otporan na dejstvo spoljnih agenasa, i privremeno inhibira kožnu lojnu sekreciju. Medjutim, efekat djelovanja barijernog krema na lojne i znojne žlijezde je neka vrsta privremene i stupljevite mehaničke blokade, koja sprječava kontaminant da difunduje u žlijezde. Blokada je izložena trenju spolja i hidrostatičkom pritisku unutar žlijezde. Za nekoliko časova ove dvije sile otklanjaju blokadu i žlijezde preuzimaju svoju normalnu aktivnost /5/.



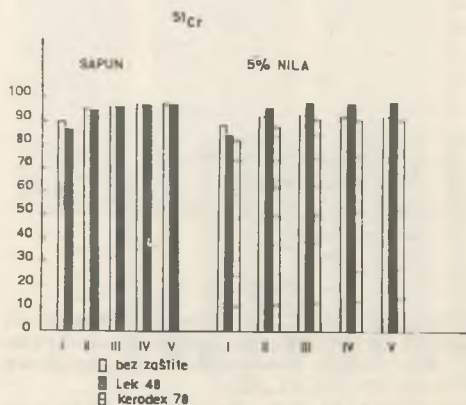
Grafikon 5.

Mišljenja o zaštitnoj ulozi zaštitnih kremova su podijeljena. Izvjesni autori preporučuju njihovu upotrebu kao korisnu /1,6,7,8,9/, dok drugi smatraju da je njihova primjena bez posebnog efekta /5,10,11,12/. U našim ogledima zapazili smo da efekat primjene pojedinih kremova može da varira u zavisnosti od kontaminanta. Kod nekih kontaminacija jedan zaštitni krem potpomaže dekontaminaciju i utiče kako na brzinu dekontaminacije, tako i na njen krajnji efekat, dok kod uklanjanja drugih kontaminanata može da ispolji čak i negativno dejstvo. Neophodno je, dakle, da se prije upotrebe nekog zaštitnog krema provjeri prikladnost njegove primjene. Pri analizi priloženih dijagrama od 1-8 uočavaju se varijacije u efikasnosti primjene pojedinih

ispitanih kremova na efikasnost dekontaminacije.



Grafikon 6



Grafikon 7.

Povoljan efekat imali su kako domaći "Zaštitni krem 48" i "Kerodex 71" i "Kerodex 78" u slučaju kontaminacije sa ^{35}S , ^{90}Sr i ^{14}Ba , bez obzira na upotrebljeno dekontaminaciono sredstvo. Efikasnost njihove primjene ogleda se ne samo u-

krajnjem efektu dekontaminacije, već je posebno izražena u - brzini dekontaminacije. Procenat uklonjenog aktiviteta i faktori dekontaminacije su veći u prvim operacijama čišćenja, nego kod grupe neštićenih životinja.

Ocjena efikasnosti dekontaminacije ^{137}Cs i ^{141}Ce u uslovima zaštite kože "Zaštitnom kremom 48" pokazuje da efekat primjene ne odstupa od kontrole, dok se kod dekontaminacije ^{60}Co , vidi negativni efekat ovog krema.

"Kerodex 77" kod dekontaminacije ^{60}Co i ^{137}Cs pokazuje u odnosu na druge upotrebljene kreme izvjesno preimućstvo.

Zapaženo je da efikasnost dekontaminacije pri preventivnoj - aplikaciji zaštitnog krema zavisi i od upotrebljenog dekontaminacionog sredstva. Primjer ove zavisnosti predstavljaju rezultati dekontaminacije ^{141}Ce pri zaštiti kože "Kerodexom - 77".

Dok dekontaminacija 5% "Nilom" pokazuje da upotreba zaštitnog krema ostaje bez efekta na poboljšanje dekontaminacionog postupka, pri upotrebi sapuna i MO 8.385 otežan je postupak dekontaminacije. Interesantno je da se sredstvu MO 8.385 koje se pokazalo efikasnim u uklanjanju većeg broja izotopasa neštićene kože /13/, smanjuje efikasnost kada se upotrijebi za dekontaminaciju kože na koju je apliciran zaštitni krem.

Efikasnost dekontaminacije ^{141}Ce i ^{60}Co pri zaštiti kože i "Kerodexom 77" i "Zaštitnim kremom 48" zaostaje u odnosu na kontrolnu grupu. Kod dekontaminacije ^{60}Co pak, primjena "Zaštitnog krema 48" nije se pokazala efikasnom kada je dekontaminacija vršena sapunom, dok je pri dekontaminaciji 5% "Nilom" ovaj krem ispoljio povoljan efekat kako na brzinu tako i na efikasnost dekontaminacije uopšte.

Iz rezultata naših radova vidi se da zaštitni kremovi utiču pozitivno na brzinu i efikasnost dekontaminacije, smanjuju - transkutanu resorpciju /14/, a ako su nanijeti u dovoljno debelom sloju predstavljaju zaštitu od alfa i mekih beta emitira /1/. Stoga, kada je to moguće, u radu treba upotrijebiti odgovarajući zaštitni krem. Faes, u radu sa neidentifikovanim radioaktivnim supstancijama, preporučuje upotrebu mješavine zaštitnih kremova, da bi se dobio željeni efekat /9/.

Prilikom korišćenja provjeravanih kremova nisu primjećene iritativne promjene na koži životinja.

Zaključak

Preventivna aplikacija zaštitnog krema održava kožu u dobrom stanju, čini je elastičnom i ublažava štetne posljedice dekontaminacionih postupaka.

Barijerne supstancije nemaju apsolutnu zaštitnu moć, mada u - znatnoj mjeri spriječavaju kontakt kože i radioaktivne materije i ograničavaju njeno prodiranje u kožu. Njihova primjena olakšava dekontaminacioni postupak i utiče kako na brzinu dekontaminacije tako i na njen krajnji efekat, te se preporučuje kao preventivna sredstva u radu sa radioaktivnim materijama.

Međutim, za uspješno korišćenje zaštitnih kremova neophodno je izvršiti odabiranje zaštitnog krema, jer efikasnost nekog - zaštitnog krema može da varira ne samo u zavisnosti od priro-

The Role of Protective Creams in Skin Decontamination

Prior to contamination protective creams were used to prevent contamination of the skin and percutaneous absorption of the contaminant on the one hand, and improve the efficiency of decontamination on the other.

The efficiency of the home-made protective creams "Zaštitni krem 48" and "Octa", and the "Kerodex" protective creams - produced by Scientific Pharmaceuticals Ltd., London, in the experiments of skin contamination with: ^{32}S , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{132}Cs , ^{140}Ba and ^{141}Ce was checked.

There are obvious differences in the effect of various creams on both the prevention of transcutaneous contamination and the efficiency and quickness of decontamination agent-used. Therefore, it is not possible to recommend only one-universal cream. Choice should be made according to the - radioactive materials or a mixture of creams should be used if the substance is known.

de kontaminanta već i od vrste dekontaminirajućeg sredstva.

Literatura:

1. Towler G.S., *Atomics*, 7, 88, 1956,
2. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D., i Bilić M., - Zbornik materijala VII Jug. konferencije ETAN, Beograd, - 1963, p. 743,
3. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D., I. Jug. simpozijum o radiološkoj zaštiti, Portorož, 1963.,
4. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D., II Medjuinstitutski sastanak službi zaštite od jonizujućih zračenja, - Rovinj, 1964.,
5. Porter R., *Brit. J. Dermat.* 71 /1959/, p.22,
6. Lawson A.W., *AHSE /RP/ R 39*, 1964, p.69,
7. Zlobinski P.M., Bezopasnost ravot s radioaktivnimi veščestvami, Moskva, Medgiz, 1961,
8. Stajić J., Stojanović D., Milovanović A. i Ralević Z., - *Vojno sanit.pregled* - u štampi,
9. Faes M.H., *J. Belge de Radiologie*, 47, 1965, p.178,
10. Genaud P., *J. Radiol et Electrol.*, 32, 498, 1951.
11. Friedman J.W., *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 19, 15, 1958.,
12. Black H.R., *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 21, 162, 1960.,
13. Pendić B., Milivojević K., Stojanović D., i Šapundžić R. Simpozijum o radiološkoj dekontaminaciji, Mostar, 1963.,
14. Pendić B., Milivojević K., - neobjavljeni rezultati.

III INTERNA DEKONTAMINACIJA ČOVEKA

Problemi interne kontaminacije i dekontaminacije čovjeka

1. Uvod

K. Kostial

Problem interne kontaminacije čovjeka najlakše bi riješili - sprečavanjem ulaska novih radionuklida u okolinu čovjeka. A to je nemoguće jer energija je, međutim, danas prihvaćena kao sastavni dio gotovo svih grana ljudske djelatnosti, i mi se moramo prilagoditi činjenici da novi radionuklidi stalno dolaze u biosferu. U vezi s tim moramo postaviti slijedeća pitanja:

- koliko radionuklida može ući u ljudski organizam, a da ne izazove štetne posljedice,
- u čemu se sastoje te štetne posljedice,
- na koji način možemo spriječiti ulaženje radionuklida u organizam, pospješiti njihovu eliminaciju ili smanjiti njihovo štetno djelovanje.

Odgovor na ta pitanja je vrlo složen. Nauka koja se bavi izučavanjem štetnog djelovanja radionuklida u organizmu zove se radiotoksikologija. To je jedna od mlađih grana nauke, i usprkos užurbanom skupljanju podataka širom svijeta mnoga osnovna pitanja na tom području su ostala neriješena. Da bismo mogli shvatiti svu složenost problema, pokušat ćemo ih svrstati u nekoliko kategorija: detekcija interne kontaminacije, metabolizam radionuklida, radiobiološki učinci internih izvora zračenja, određivanje dopuštene količine radionuklida u organizmu, terapija interne kontaminacije.

2. Problemi detekcije interne kontaminacije

Radionuklidi predstavljaju jedini toksični agens koji se u čovjeku može određivati vanjskim mjerenjem. O toj tzv. direktnoj metodi detekcije interne kontaminacije pomoću brojača - za cijelo tijelo bit će govora u drugim referatima.

Indirektne metode detekcije interne kontaminacije sastoje se u analizi humanih ekskreta. U svijetu su razradjene razne metode za određivanje radionuklida u biološkom materijalu i - izgrađeni su osjetljivi instrumenti za registraciju niskih aktivnosti. Glavni problem, međutim, nije u pomanjkanju adekvatnih metoda detekcije ili mjernih uređaja, nego u teškoći interpretacije tih rezultata. Da bismo mogli na temelju podataka o količini nekog radionuklida u urinu ili fekalijama stvarati zaključke o količini radionuklida u čovjeku, potrebno je vrlo dobro poznavati metabolizam tih elemenata. Time već prelazimo u dalju kategoriju poslova koji su neophodni za rješavanje problema interne kontaminacije i dekontaminacije čovjeka.

3. Metabolizam radionuklida

Radionuklidi su supstance koje se u tijelu vrlo različito ponašaju. Njihova distribucija u organizmu, kao i veličina retencione frakcije, ovise o nizu faktora, kao npr. fizikalno-kemijskim svojstvima radionuklida, fiziološkim faktorima, putu ulaska radionuklida, načinu ekspozicije, itd.

Ako uzmemo u obzir da se u ljudskoj okolini danas pojavljuje oko 300 radionuklida, od kojih svaki ima svoju specifičnu se

lektivnu distribuciju u organizmu, kao npr. jod u štitnjači-stroncij u kosti, cezij u mišiće, itd., i da će retinirana frakcija u organizmu, pored toga, ovisiti o već navedenim faktorima, možemo otprilike zamisliti koliki broj informacija - bi bio potreban za dobivanje tačnih predodžaba o njihovom metabolizmu. Usprkos intenzivnom eksperimentiranju na tom području, vrlo su manjkavi podaci čak i o radionuklidima koji predstavljaju glavnu opasnost u slučaju interne kontaminacije čovjeka kao što su radioaktivni jod, stroncij, cezij i neki drugi. Još je veća oskudica podataka o metabolizmu radionuklida u čovjeku, jer se eksperimentalni rezultati dobiveni na pokusnim životinjama ne mogu u potpunosti primjeniti na čovjeka. Oskudica humanih podataka je toliko velika da se na svim simpozijima i sastancima stručnjaka s područja radiotoksikologije smatra nekom vrstom internacionalne obaveze da se svi takvi podaci pažljivo skupljaju, kako bi mogli poslužiti napretku naših spoznaja na tom važnom području.

4. Radiobiološki učinci unutrašnjih izvora zračenja

Jedan od glavnih problema radiotoksikologije je pitanje određivanja odnosa između količine radionuklida u tijelu, doze zračenja i njezinog efekta. Bitna razlika između djelovanja vanjskih i unutrašnjih izvora zračenja je u tome što je čovjek izložen djelovanju vanjskih izvora zračenja određeno krace vrijeme, dok unutrašnji izvori zračenja, ukoliko se radio radionuklidima koji se u organizmu dugo zadržavaju, neprekidno zrače okolno tkivo unutar ljudskog organizma. Mi znamo da će djelovanje tog zračenja ovisiti o tipu zračenja /kod unutrašnjih izvora zračenja alfa i beta izvori predstavljaju znatno veću opasnost nego kod vanjskog zračenja/, o dužini zadržavanja tog radionuklida u organizmu, o veličini i funkciji organa u kojem se taj radionuklid zadržava, o osjetljivosti tkiva itd. Pri tom je još uvijek vrlo teško reci kakvu će dozu primiti određeno tkivo u neposrednoj blizini radionuklida i koja će doza i pod kojim uvjetima izazvati malignu alteraciju stanice u smislu razvijanja neoplazme. Iskustva koja do sada imamo na ljudima koji su eksponirani radionuklidima su nedovoljna, jer je poznato da se kasni efekti zračenja javljaju tek nakon nekoliko desetaka godina. Rezultati pokusa na životinjama su vrlo različiti i ne daju nam još odgovor na ovo bitno pitanje s područja radiotoksikologije.

5. Maksimalno dozvoljene količine radionuklida u organizmu

U vezi s ranijim izlaganjem jasno je koliko je teško sa sigurnošću reći koja količina radionuklida u vodi, zraku i tijelu neće izazvati nepoželjne posljedice. Činjenica je da su na temelju dosadašnjih manjkavih podataka, koji su sakupljeni u cijelom svijetu, postavljene neke grube norme o tzv. dopuštenim količinama radionuklida u organizmu. Nitko se od stručnjaka međutim, neće začuditi ako se bilo koja od tih orijentacionih dopuštenih granica pomakne za faktor 10 bilo prema gore, bilo prema dolje, jer te vrijednosti treba stalno korigirati u skladu s novim podacima koji se svakodnevno skupljaju

u cijelom svijetu.

6. Terapija interne kontaminacije

Ovdje se nećemo zadržati na općim principima terapije interne kontaminacije, jer će o tome biti govora i u kasnijim radovima. Naročita pažnja bit će posvećena pitanju primjene helatogenih supstancija u svrhu interne dekontaminacije čovjeka. Pokušat ću dati kratak prikaz novijih rezultata na području pospješavanja eliminacije, odnosno sniženja apsorpcije radioaktivnog joda, stroncija i cezija u organizmu. Ta tri radionuklida predstavljaju s biološkog stanovišta najopasnije interne izvore zračenja i zbog količine u kojoj se javljaju u biosferi, zbog činjenice da se inkorporiraju u tzv. biološki ciklus, kao i zbog toga što se relativno brzo apsorbiraju iz probavnog trakta, koji predstavlja glavni put ulaska radionuklida u organizam. Ti se radionuklidi, osim toga, relativno dugo zadržavaju u ljudskom organizmu.

6.1. Sredstva koja snižuju apsorpciju radioaktivnog cezija i li pospješuju njegovu eliminaciju iz organizma

U tablici 1 prikazana su neka sredstva koja utječu na metabolizam cezija. Kako vidimo, pokušaj da se povišenjem stabilnog cezija ili kalija u dijeti utječe na eliminaciju Cs-137 iz organizma nije bio naročito uspješan /Kurlandskaja, 1957; Moskaljev, 1961; Furchner i Richmond, 1962; Wasserman, Comar i Papper, 1963; McNeill, Green i Rapoport, 1962/. Očekivalo se da će se primjenom stabilnog cezija moći uticati na eliminaciju Cs 137, jer je princip izotopne dilucije bio ranije uspješno primjenjivan kao sredstvo za pospješeneje eliminacije nekih drugih elemenata. U tim slučajevima efekt je obično uslijedio zbog sniženja gastrointestinalne apsorpcije. Nije međutim, začudjujuće da se primjenom stabilnog cezija nisu postigli zadovoljavajući rezultati, jer je poznato da se cezij - gotovo kvantitativno apsorbira iz probavnog trakta. Razlog - zašto stabilni kalij u dijeti ne može uspješno sniziti retenciju Cs 137 u organizmu se tačno ne zna.

Uglavnom se smatra da stabilni cezij može zamijeniti intracelularni kalij, dok kalij nemože zamijeniti intracelularni cezij. Vjerovatno je sposobnost cezija za vezivanje unutar stanice veća - od kalija /Wasserman i Comar, 1961/. Nije začudjujuće da primjena kompleksona EDTA nije dala zadovoljavajuće rezultate s obzirom na malu sposobnost vezanja EDTA na zemnoalkalije /Fatejeva, Klimov, Ponizovskaja, Gorbarenko, Sokolov, Smirnova, - 1960; Stojadinović, Pavlović, Jovanović, Tanasijević i Babović, 1963/. Ideja da se kao sredstvo za pospješeneje eliminacije cezija iz organizma primjene diuretici, kao acetazolamid i klorotiazid, bazira na činjenici da ti diuretici jako povećavaju eliminaciju kalija. Te se supstance, međutim, nisu pokazale uspješnima u postizanju značajnijeg pospješavanja eliminacije cezija, vjerovatno jer je cezij u organizmu jače vezan nego kalij /Harrison i McNeil, 1964; Stojadinović, Pavlović, Jovanović, Tanasijević i Babović, 1963; Sastry i Bush, - 1962; Ogawa, Machida, Suzuki i Shibata, 1958/. Novi pristup rješavanju tog problema predstavljao je nalaz Moskaljeva - /1961/ da je fekalna ekskrecija Cs 137 vrlo niska, usprkos -

Tabela 1.
Cezij 137

Supstance	Rezultati	Autori	Godina
Cezij	malo sniženje - štakori	Murlandskaya	1957.
	bez efekta - štakori	Moskaljev	1961.
	bez efekta - štakori	Furchner i sur.	1962.
Kalij	malo sniženje - štakori	Wasserman i sur.	1963.
	bez efekta - ljudi	McNeil i sur.	1962.
EDTA	bez efekta - štakori	Fateyeva i sur.	1960.
	bez efekta - štakori	Stojadinović i sur.	1963.
Klorotijazid /Diuril/	bez efekta - ljudi	Harrison i sur.	1964.
	malo sniženje - štakori	Stojadinović i sur.	1963.
Acetazolamid	malo sniženje - štakori	Sastry i sur.	1962.
	malo sniženje - miševi	Ogawa i sur.	1958.
Vermikulit	70-90% kontrolne vrijednosti - štakori	Mraz i sur.	1957.
Bentonit			
Diamoy	70% kontrolne vrijednosti - štakori	Richmond i sur.	1961.
Željezni ferocijanid	maksimalna redukcija do 1% kontrolne vrijednosti - štakori	Nigrović	1963. 1965.

tome što je poznato da postoji relativno visoka sekrecija Cs 137 u probavni trakt /Moore i Comar, 1962/. Iz toga se moglo zaključiti da se cezij iz probavnog trakta ponovo reapsorbira i da se na tu reapsorpciju vjerovatno može uticati prekidanjem tzv. enteralnog ciklusa. Na temelju te pretpostavke primjenjene su neke supstance kao bentonit i vermikulit, odnosno neki ionski izmjenjivači, u svrhu sniženja apsorpcije radioaktivnog cezija iz probavnog trakta. Ti su rezultati bili dje limično uspješni, a sastojali su se u 10-30%-noj redukciji - Cs 137 u organizmu tretiranih životinja /Mraz i Patric, 1957; Richmond i Furchner, 1961/. Najbolji rezultati postignuti su primjenom željeznog ferocijanida, kojim se u optimalnom slučaju može postići i sniženje retencije Cs 137 na oko 10% /Nigrović, 1963 i 1965/. Tačan mehanizam tog djelovanja nije poznat. Metalne soli ferocijanove kiseline vežu cezij kod neutralnog i lagano alkalnog pH, ali mehanizam tog djelovanja nije potpuno razjašnjen. Dosadašnji eksperimenti, koji su izvršeni u biološkom odjelu Nuklearnog instituta u Karlsruhe, izvedeni su isključivo na eksperimentalnim životinjama. Autori, međutim, smatraju da je ta supstanca dovoljno netoksična da bi se mogla uspješno primjeniti i u svrhu humane dekontam-

inacije.

6.2. Usporedba efikasnosti nekih sredstava za sniženje retencije radioaktivnog joda u štitnjači

Već preko 20 godina poznato je da se grupom spojeva koje nazivamo anti-tiroidnim drogama može inhibirati inkorporacija joda u štitnjači. U prvu grupu anti-tiroidnih droga spadaju organski spojevi derivati imidazola i tioureje, koji djeluju inhibiranjem prve faze organskog vezanja joda u štitnjači. Ako se takva supstanca upotrijebi u slučaju sprečavanja kumulacije radioaktivnog joda u štitnjači, ipak će se značajne količine joda pojaviti u štitnjači, jer mehanizam kumulacije joda ostaje neostetećen. Zbog toga ti spojevi ne dolaze u obzir za sprečavanje ulaska I 131 u štitnjaču.

U drugu grupu anti-tiroidnih droga spadaju anorganski spojevi - među kojima se ističu kalcijev tiocijanat, perklorat i jodid. Mehanizam njihova djelovanja sastoji se u sprečavanju selektivne kumulacije joda u štitnjači. Prvi od spomenutih spojeva otpada za praktičnu primjenu zbog svoje toksičnosti i relativno niske efikasnosti. Jodidi i perklorat su supstance niske toksičnosti, a brzog i efikasnog djelovanja. Usporedba nekih svojstava tih dvaju agensa s aspekta sprečavanja kontaminacije organizma radioaktivnim jodom prikazana je u tablici 2.

Kad radiojod udje u tiroidnu žlijezdu, ni organske ni anorganske anti-tiroidne droge više ne mogu uticati na oslobađanje - I 131. Jedina supstanca koja u kasnijoj fazi /nakon 24 sata/ kontaminacije I 131 pospješuje tireotropin /T.S.H./, jer povećava sekreciju hormonalnog joda.

Iz tablice 2 vidimo da se primjenom 100-300 mg joda u obliku kalijeva jodida snižuje retencija I 131 na oko 1% kontrolne vrijednosti ukoliko je terapija primjenjena istovremeno ili prije kontaminacije /Chou, George i Marvin, 1952, Silver - 1962/. Učinak te terapije slabiji ukoliko se stabilni jod primjenjuje kasnije, a potpuno nestaje 24 sata nakon kontaminacije radioaktivnim jodom /Pochin i Barnaby, 1962, Lengemann i Thompson, 1963, Hale i Lushbaugh, 1961/. Izgleda da bi u tom periodu primjena jodida mogla biti čak i kontraindicirana, jer izглеda da jodidi inhibiraju djelovanje tireotropina, koji je jedini djelotvoran kao terapeutski agens 24 sata nakon kontaminacije /Graul, Stumpf i Frierichs, 1963/. O toksičnosti jodida i eventualnim nuspojavama prilikom terapije bilo je dosta diskusije u literaturi, ali većina autora smatra da je primjena jodida u dozama navedenim u tablici relativno bezopasna i da će incidencija toksičnih nuspojava biti veoma rijetka /Adams, Bonnell, 1962, Lengemann i Thompson, 1963/.

O primjeni perklorata kao sredstva za sprečavanje interne kontaminacije radioaktivnim jodom ima znatno manje podataka u literaturi. Najdetaljnije podatke o djelovanju perklorata na metabolizam radioaktivnog joda dala je grupa istraživača iz Radioizotopnog laboratorija Interne klinike u Zagrebu /Šimunović 1963, Šimunović, Latković, Popović, 1963/. Sudeći po tim a i nekim drugim rezultatima, perklorat je jednako uspješan u sniženju retencije radioaktivnog joda u štitnjači u dozama koje također izazivaju štetne nuspojave samo u vrlo iznimnim slu-

Tablica 2.
Jod I¹³¹

Doza i efekt	Jodidi		Perklorat	
100 - 300 mg			1-2 g /4/	
- prije 1 I ¹³¹ 1% kontrolne vrijedn. /7,9/			1 g svakih 6 sati /6/	
- unutar 2-4 sata 20-30% kontr. vrijedn. /1/			Efekt te doze kao u	
- iza 4-7 sati 50% /3, 10/			slučaju jodida /4, 5/	
- iza 24 sata bez djelovanja - inhibira djelovanje T.S.H. /6/			iza 24 sata pospješuje djelovanje T.S.H. /6/	
60 mg svaka 4 sata kod djece				
- 10% kontrolne vrijednosti /2/				
100 mg kod odraslih				
- 10% kontrolne vrijednosti /7,9/				
1-2 mg kod djece			nedovoljno podataka o primjeni kod djece	
3-4 mg kod odraslih				
za dugotrajnu primjenu /3,8/				
300-600 mg u slučaju visoke kontam. /2,3/				
Foksičnost i nuspojave	rijetke		rijetke	
	kontraindikacija: insuf. bubrega, kard. insuf., TBC, kronično uzimanje hiperos- jetilivesti		agranulocitoza	
Aplikacija	oralna		oralna	
brzina učinka	unutar nekoliko minuta		unutar nekoliko minuta /4/	
Mehanizam djelovanja	dilucijski efekt		štinjaca kumulira perklorat umjes to joda /4/	
/1/ Pochin i sur., 1962. /1judi/; /2/ Adams i sur.; 1962. /1judi/; /3/ Lengemann i sur.; 1963. /1judi/; /4/ Simunovic, 1963. /1judi/; /5/ Simunovic i sur. 1963. /1judi, Stakori/; - /6/ Gruul i sur. 1963. /zamorci/; /7/ Silver, 1962. /1judi/; /8/ Saxema i sur.; 1962. /1judi /9/ Chou i sur. 1952. /1judi/; /10/ Hale i sur., 1961. /Stakori/.				

čajevina. Prednost pred terapijom s jodidima se sastoji u tome što perklorat, ukoliko je primjenjen 24 sata nakon kontaminacije radiojodom, pospješuje, a ne inhibira djelovanje T.-S.H., kao što je to zamijećeno kod jodida /Graul, Stumpf i Frierichs, 1963/.

6.3. Mogućnosti pospješivanja eliminacije radioaktivnog stroncija iz organizma i sniženja njegove apsorpcije iz probavnog trakta

Od svih fisionih produkata Sr 90 je vjerovatno najopasniji - za čovjeka. On se dobro apsorpira iz probavnog trakta, brzo inkorporira u skelet i dobar dio tog stroncija ostaje u ljudskom organizmu dugo vrijeme. Najuspješnija terapija u slučaju oralne kontaminacije stroncijem je sigurno pokušaj sniženja njegove apsorpcije iz probavnog trakta. I pored normalnih uvjeta samo dio stroncija iz probavnog trakta ulazi u organizam. Jednom apsorbirani stroncij velikom brzinom ulazi u skelet, iz kojega se nakon određenog vremena vrlo teško mobilizira. U tablici 3 prikazana su sredstva koja su se pokazala makar i djelomično efikasna u pospješivanju eliminacije radioaktivnog stroncija iz organizma.

Kompleksni koji su se pokazali vrlo uspješnim sredstvom u liječenju interne kontaminacije cijelim nizom radionuklida vrlo slabo djeluju u slučaju kontaminacije radioaktivnim stroncijem. Uzrok tome leži u znatno većoj sposobnosti vezanja kompleksa za kalcij nego li za stroncij. Dva su se kompleksa pokazala do sada djelomično uspješna u pospješivanju eliminacije radiostroncija iz organizma, ukoliko se primjene u ranoj fazi iza kontaminacije. To je BADA /bis-di/karboksimetil/amino/dietileter /Catsch, 1961 i 1962/, i CPDTA /ciklopentan diamin tetraoctena kiselina/ koja je sintetizirana u Institutu za medicinska istraživanja u Zagrebu /Weber, Kostial, Paulić, Puroc, Vojvodić, 1963/. Premda ta dva kompleksa predtavljaju određeni napredak u kompleksionskom liječenju interne kontaminacije organizma radioaktivnim stroncijem, ipak ne dolazi u obzir za praktičnu primjenu zbog svoje relativno visoke toksičnosti. Primjena samog stroncija klorida daje u ranoj fazi kontaminacije slične efekte kao primjena stroncija svih dinatrijevih soli gore navedenih kompleksa /Vojvodić, 1965; Nelson 1963/. Jedino sredstvo kojim se dosad uspješno mobilizirali radioaktivni stroncij iz organizma čovjeka 14 dana nakon inkorporacije je istovremena intravenozna infuzija kalcijeva glukonata i oralna primjena amonijeva klorida /Spencer, Feldstein i Samachson, 1961/. Oba agensa djeluju aditivno. Mehanizam djelovanja nije još potpuno razjašnjen. Vrlo originalan prilaz problemu pospješivanja eliminacije stroncija iz organizma dali su finski istraživači /Setälä, Lindroos i Kuitka, 1964/, koji pokušavaju mobilizirati tzv. ekstrarenalni regulatorni ekskretorni mehanizam /žlijezde slinovnice, žlijezde, ostale žlijezde, itd/. Premda su ti autori primjenom pilokarpina uspjeli znatno povisiti eliminaciju stroncija u miševa i mačaka u kasnoj fazi interne kontaminacije radioaktivnim stroncijem, primjena te metode kod čovjeka još ne dolazi u obzir.

U tablici 4 prikazana su sredstva kojima se može postići sniž

Tablica 3.
Stroncij 90

Pospješene eliminacije

Supstanca	Djelovanje	Autori
SrNa ₂ BADA	50% redukcije - neposredno nakon kontaminacije /štakori/ 500 um/životinji ne djeluje kod oralne kontaminacije	Catsch, 1961. Catsch, 1962.
SrNa ₂ CPDTA	24% redukcije - neposredno nakon kontaminacije /štakori/; kompleksoni kontraindicirani kod oralne kontaminacije. Visoka toksičnost	Weber i sur., 1963. Vojvodić, 1965.
Stroncij	20-40% redukcije /štakori/. Ovisnost o dozi? Pospješuje eliminaciju u ranoj fazi kontaminacije /čovjek/. Ne djeluje u kasnoj fazi	Nelson, 1963; Catsch i sur., 1959; Vojvodić, 1965; Cohn i sur. 1962.
Kalcij	Pospješuje eliminaciju u ranoj fazi kontaminacije /čovjek/. Ne djeluje /štakori/	Cohn i sur., 1962. Vojvodić, 1965.
Kalcij+ amonijev klorid	470 mg Ca /infuzija 500 ml 5% Ca-glukonata kroz 3 sata, 3 dana/ 9 g NH ₄ Cl oralno 3 dana Pospješuje eliminaciju 14 dana nakon kontaminacije /čovjek/	Spencer i sur., 1961.
Etokarpin	Mobilizacija ekstratenalnog sistema regulacije ekskrecije. Povišenje eliminacije u kasnoj fazi kontaminacije /miševi i mačke/	Setälä i sur., 1964.

Sniženje apsorpcije iz probavnog trakta

Supstanca	Djelovanje	Autori
Kalcij	Unutar fiziol. granica, oko 40% sniženja, dugi pretretman; jače djeluje na kalcij nego li na stroncij, kronična kontaminacija	Comar i sur., 1964. Vojvodić, 1965.
Fosfati	Unutar fiziol. granica, oko 40% sniženja. Brzo djelovanje - jače na stroncij nego li na kalcij. Kronična kontaminacija.	Kostial i sur., 1963. Kostial i sur., 1964.
kalcij + fosfor	Unutar fiziol. granica, 5 puta povoljniji omjer Sr/Ca u skeletu. Kronična kontaminacija	Kostial i sur., 1965. Vojvodić, 1965.
Sulfati	50-90% sniženja - kod istovremene primjene. Mješavina barijeva i natrijeva sulfata - SO ₄ u suvišku. Akutna kontaminacija Bez efekta - kronična kontaminacija	Volf, 1964. Volf i sur., 1965. Kostial i sur., 1964. MacDonald i sur., 1952.
Na alginat rektinska kiselina	65-80% sniženja; optimalna istovremena primjena; jače djeluje na stroncij nego li na kalcij. Varijacije u efikasnosti, opstipacija- Akutna i kronična primjena	Waldron-Edward i sur., 1964. Waldron-Edward i sur., 1965.
Ionski izmjene nживаci	Slični rezultati kao sa Na alginatom. Utječu na metabolizam kalija i natrija. Postoji privikavanje?	Michon i sur., 1958; Waldron-Edward i sur., 1965.

enje apsorpcije stroncija iz probavnog trakta. Povišenje sadržaja kalcija u hrani kao metoda za sniženje apsorpcije stroncija iz probavnog trakta je prihvaćeno kao realna mogućnost zaštite čovjeka u slučaju kronične ekspozicije povišenim količinama radioaktivnog stroncija u biosferi /Comar i Wasserman, 1964/. Mi smatramo, na osnovu vlastitih rezultata, da se povišenjem sadržaja fosfata u hrani postižu bolji rezultati, jer fosfati - za razliku od kalcija - jače djeluju na metabolizam stroncija nego kalcija i za njihovo optimalno djelovanje nije potreban duži prethodni tretman /Kostial, Lutkić, Gruden, Vojvodić, Harrison, 1963; Kostial, Vojvodić, Gruden, Lutkić, 1964/. Izgleda da je najuspješnija metoda - istovremeno povišenje sadržaja kalcija i fosfata u hrani - /Kostial, Vojvodić, Comar, 1965/. Za razliku od fosfata i kalcija, koji se mogu uspješno primjenjivati kao dodatak hrani ili vodi u slučaju dužeg boravka u kontaminiranoj sredini primjena sulfata, alginata ili ionskih izmjenjivača mogla bi biti pogodna u slučaju jednokratne akutne kontaminacije. Od sulfata se do sada pokazala najuspješnijom primjena mješavine barijeva i natrijeva sulfata u slučaju akutne kontaminacije /Volf, 1964; Volf i Roth, 1965/. Efekt terapije izostaje u slučaju kronične kontaminacije /Kostial, Vojvodić, Gruden, Lutkić, 1963; MacDonald, Nusbaum, Ezmirlan, Barbera, Aleksander, Spain i Rounds, 1952/. Alginska i pektinska kiselina /polimanuronska i poligalakturonska kiselina/. Natrijev alginat se pokazao vrlo uspješan u sniženju apsorpcije stroncija iz probavnog trakta u pokusima sa životinjama u slučaju akutne i kronične kontaminacije radioaktivnim stroncijem /Waldron-Edward, Skoryna, 1964; Waldron-Edward, Thyvalikakath, Skoryna, 1965/. Smatra se da djeluje povoljnije - od ionskih izmjenjivača, jer poliuronske kiseline ne djeluju na metabolizam kalija i natrija i izgleda da ostaju djelotvorne i nakon duže primjene /nema privikavanja/. Te su substance još nedovoljno ispitane da bi se mogle primijeniti na čovjeku, ali taj pristup svakako predstavlja značajan pristup i mogućnostima za sniženje apsorpcije radioaktivnog stroncija iz probavnog trakta.

7. Zaključak

Problemi interne kontaminacije i dekontaminacije čovjeka predstavljaju jedan od najtežih problema radiološke zaštite. Potrebno je da se u svijetu, a i u našoj zemlji, užurbano skupljaju podaci o apsorpciji, distribuciji i eliminaciji radionuklida pod uvjetima akutne i kronične kontaminacije različitih kemijskih oblika radionuklida, različitih dijetnih navika, dobi, spola itd. Specijalno je važno pažljivo skupljati i analizirati sve podatke o slučajevima interne kontaminacije ljudi. Bilo bi poželjno naći rane i pouzdane biološke indikatore interne kontaminacije, uz dalje razvijanje i usavršavanje metode direktne i indirektno detekcije radionuklida u čovjeku. Neophodno je nastaviti sistematskim proučavanjem odnosa između količine radionuklida u organizmu, doze interog zračenja i njezinog efekta, jer tek na osnovu tih faktora možemo donijeti realnu ocjenu o dopuštenim količinama radi

onuklida u ljudskom organizmu.

Poznavanje tih faktora je nužan preduvjet za donošenje odluke o tome da li i kakvu terapiju treba predvidjeti u određenom slučaju i da li i kakve mjere za sprečavanje ulaska radionuklida u organizam ima smisla primijeniti. Treba imati na umu da sve te mjere predstavljaju određeni rizik, koji treba znati realno ocijeniti u odnosu na opasnost koju predstavlja interna kontaminacija u danom slučaju. Znatno je važnije na vrijeme uočiti svu teškoću i kompleksnost problema vezanih uz kontaminaciju i dekontaminaciju čovjeka, kako bi ih mogli na vrijeme i uspješno rješavati. Prividna simplifikacija tih problema iz bilo koga razloga sigurno neće dati željene rezultate.

Literatura

1. Adams C.A., Bonell J.A., 1962, Health Physics, 7, 127;
2. Catsch A., 1961, Int. J. Rad. Biol., 4, 75;
3. Catsch A., 1962, Atomkernenergie, 7, 65.;
4. Catsch, A. i Melchinger H., 1959, Strahlentherapie, 109,-561;
5. Chou S.N., George E.M. i Marvin J.F., 1952, Science, 115, 119;
6. Cohn S.H., Spencer H., Samachson J., Feldstein A., Gusmas E.A., 1962, Proc. Soc. Exp. Biol. & Med., 110, 526;
7. Comar C.L. i Wasserman R.H., 1964, Mineral Metabolism, -IIA, Acaxemic Press, New York, 523;
8. Fateyeva M.N., Klimov V.S., Pnizovskaja A.I., Gorbarenko N.T., Sokolov V.V. i Smirnova M.I., 1960, Medgiz, Radiol. 5, 14;
9. Furchner J.E. i Richmond C.R., 1962, Proc. Soc. Exp. Biol & Med., 110, 185;
10. Graul E.H., Stumpf W.E., Frierichs G., 1963, Health Physics, 9, 1411;
11. Hala D.B., i Lushbaugh C.C., 1961, Los Alamos Scientific-Lab. LAMS-2627, p. 284;
12. Harrison J. i McNeil K.G., 1964, Symp. on assesment of -radioactive body burdens in man, Heidelberg, SM/52-64;
13. Kostial K., Lutkić A., Gruden N., Vojvodić S., Harrison -G.E., 1963, Int. J. Rad. Biol., 6, 431;
14. Kostial K., Vojvodić S., Gruden N., Lutkić A., 1963, IMI-C-7;
15. Kostial K., Vojvodić S., Gruden N., Lutkić A., 1964, Bone & Tooth, Pergamon Press, Oxford, p. 111;
16. Kostial K., Vojvodić S., Gruden N. i Lutkić A., 1963, IMI-C-7;
17. Kostial K., Vojvodić S. i Comar C.L., 1965, Nature, 208,-1110;
18. Kurlandskaja E.B., 1957, Mater. Toks. Radioakt. Vesh., 1,-200;
19. Lengemann F.W. i Thompson J.C., 1963, Health Physics, 9,-1391;
20. MacDonald N.S., Nusbaum R.E., Ezmirlian F., Barbara R.C.-Aleksander G.V., Spain P. i Rounds D.E., 1952, J. Pharmacol. Therap., 104, 348;
21. McNeill K.G., Green R.M. i Rapoport A., 1962, Whole-Body-Counting, Beč, I.A.E.A., str. 358;
22. Michon G. i Guilloux M.J., 1958, Proc. II. Int. Conf. on-peaceful uses of atom. energ., Ženeva, 23, 439;
23. Moore W. i Comar C.L., 1962, Int. J. Rad. Biol., 2, 247;

24. Moskaljev Yu. I., 1961, Raspredeljenje, biologiĉeskoje dejstvije i migracija radioaktivnih isotopov, Moskva, Medgiz, str.5;
25. Mraz F.R. i Patrie H., 1957, Arch. Biochem. Biophys., 71 121;
26. Nelson A., 1963, Diagnosis and treatment of radioactive poisoning, IAEA, Beĉ, 95;
27. Nigrović V., 1953, Int. J. Rad. Biol., 7, 307;
28. Nigrović V., 1965, Phys. Med. & Biol., 10, 81;
29. Ogawa E., Machida J.I., Suzuki Sh. i Shibata K. 1958, - Gunma J. Med. Sci., 8, 139;
30. Pochin E.E. i Barnaby G.F., 1962, Health Physics, 7, 125;
31. Richmond C.R. i Furchner J.E., 1961, Health Physics, 6, - 36;
32. Sastry B.V.R. i Bush M.F., 1962, Science, 136, 257;
33. Saxena K.M., Chapman E.M. i Pryles C.V., 1962, Science, - 138, 430;
34. Setälä K., Lindroos B. i Kuikka A.O., 1964, Strahlentherapie, 123, 35;
35. Silver S., 1962, Radioactive isotopes in Medicine and - Biology, 2nd ed., La & Febiger, Philadelphia, 30;
36. Spencer H., Feldstein A. i Samachson J., 1961, Proc.Soc. Exp. Biol. & Med., 108, 308;
37. Stojadinović S.M., Pavlović M.A., Jovanović M.M., Tanasijević D.B. i Babović V., 1963, Rezime saopštenja I jug.-simp. rad. zašt., Portoroĉ, str. 52;
38. Simonović I., 1963, Disertacija, Zagreb;
39. Simonović I., Latković I. i Popović S., 1963, Kratki sadržaji saopćenja I jugosl. simp. rad.zašt., Portoroĉ, str. 53;
40. Vojvodić S., 1965, Disertacija, Zagreb;
41. Volf, V., 1964, .Experientia, 20, 626;
42. Volf, V. i Roth Z., 1965, Acta Radiologica, 3, 216;
43. Waldron-Edward D. i Skornyna S.C., 1964, Canad. Med. Ass oc. J., 91, 1006;
44. Waldron-Edward D., Thyvalikakath M.P., Skornyna S.C. 1965 Nature, 205, 117;
45. Wasserman R.H. i Comar C.L., 1961, Rad. Res., 15, 70;
46. Wasserman R.H., Comar C.L. i Papper D.N., 1963, Proc. - Soc. Exp. Biol. Med., 113, 305;
47. Weber O., Kostial K., Paulić N., Parec Lj. i Vojvodić S. 1963, Biochem. Pharmacol., Suppl. 12, 205.

Dekorpozicija radionuklidnih supstancija iz ljudskog organizma

D. Đurić

Radioaktivne supstancije se u organizam unose inhalacijom, ingestijom i eventualno preko kože. Poslije resorpcije kroz sluzokožu ili kožu one dospjevaju u krv, koja ih transportuje po cijelom organizmu. Tom prilikom dolazi do depozicije u raznim organima i tkivima.

Toksičnost radioaktivnih supstancija se smanjuje na dva načina uporedo:

- uslijed radioaktivnog raspada i stvaranja radioaktivnog izotopa /što ne mora da bude slučaj/,
- uslijed izlučivanja urinom, fecesom, izdahnutim vazduhom ili znojem.

Radioaktivni raspad je proces na koji se ne može ni na koji način uticati. Pošto izlučivanje radioaktivnih supstancija iz organizma smanjuje njihov tjelesni depo, to ubrzavanje izlučivanja može predstavljati efikasan terapijski zahvat - ubrzavanje eliminacije.

Ubrzavanje eliminacije radioaktivnih supstancija iz organizma može da se postigne na nekoliko načina:

- mehaničkim uklanjanjem radioaktivne supstancije iz organa, naprimjer, ispiranjem želudca, transfuzijom krvi uz uklanjanje kontaminirane krvi, hirurškim odstranjivanjem kontaminirane kože ili tkiva i slično. Ovaj način se može primjeniti samo neposredno poslije kontaminacije;
- aplikacijom sredstava koja su po fiziko-hemijskim osobinama slična kontaminantima /nosiči/. Takodjer se može koristiti i jonska izmjena za ubrzanje eliminacije;
- promjenom fizioloških uslova u organizmu: primjena posebne dijeta, promjena endokrine ravnoteže, promjene funkcije bubrega, ubrzavanje metabolizma, blokiranje fagocitarnih aktivnosti retikulo-endotelnog sistema i sl.;
- aplikacijom supstancija koje sa kontaminantom stvaraju kompleks i helate pa se brže izlučuju preko urina.

Kao što smo rekli, prvi način se može koristiti u izvjesnim slučajevima kontaminacije sa radioaktivnim supstancijama samo ako se te metode primjene neposredno poslije kontaminacije, što ne važi za kroničnu ekspoziciju.

Treća grupa metoda se još nalazi u fazi eksperimentisanja - sa životinjama. Praktički se danas koristi druga i četvrta grupa metoda, pa ćemo ih ovdje detaljnije razmotriti.

Ubrzanje i izlučivanja aplikacijom nosača

U ovu svrhu se koriste jedinjenja neradioaktivnih metala /Zr, Ti, Al, Th/ koja se pri uslovima fiziološkog pH precipitaju stvarajući nerastvorljive hidrokside ili fosfate. Prisutna radioaktivna jedinjenja se adsorbuju, jonski izmjenjuju ili koprecipituju sa nosačem. Naprimjer, metalni kation nosača može se izmjeniti sa kationom alkalnih zemalja i sl. Pu i Th se adsorbuju na nosač.

alja sudbina radioaktivne supstancije vezane na koloidni-osač zavisi od osobina nosača. Ukoliko su koloidne čestice osaća dovoljno malog dijametra, može doći do izlučivanja-reko bubrega. Veće čestice zahvata retikulo-endotelni sis-em, pa će doći do redistribucije radioaktivne supstancije organizmu.

anas se najčešće koriste kao nosači jedinjenja cirkonijua, koja mogu da ubrzaju izlučivanje urinom, Pu, Y, Ce, Am drugih fisionih produkata.

ao nosač se može koristiti stabilni izotop radionuklida - li hemijski slična supstancija. Tako se Ca može koristiti ao nosač za Sr.

ondenzovani fosfati i razni tečni jodski izmjenjivači biogli efikasno da ubrzaju izlučivanje, niza radioaktivnih-upstancija /Pu, Y, Ce/ vršeći jonsku izmjenu ili adsorpciu. Medjutim, ovakvi preparati su i sami toksični, pa se e mogu praktički koristiti.

osač može da zahvati jedi no radioaktivnu supstanciju pristnu u krvi, a vrlo malo djeluje na već deponovani dio u -arenhimnim organima, a nikako na dio deponovan u kostima. bog toga efikasnost aplikacije ovih agenasa opada eksponecijalno sa vremenom koje je proteklo od momenta kontaminacije.

Ubrzanje izlučivanja stvaranjem kompleksa

I krvi i tjelesnim tečnostima nalazi se izvjestan broj jedinjenja koja sa radioaktivnim supstancijama stvaraju komplekse. Ove supstancije su pretežno nastale prilikom raznih metaboličkih procesa u organizmu kao, naprimjer, organske-oksikiseline, limunska kiselina, amino-kiseline, razna heterociklička jedinjenja tipa purina, pirimidina, riboflavina i slično.

Metalni kompleksi su koordinaciona jedinjenja sa nizom metalnih kationa. Prema položaju u periodičnoj tablici elementi posjeduju koordinacioni broj 2,4,6,8, što označava broj atoma ili molekula koji opkoljavaju centralni jon ili atom. Stvaranje kompleksa se nije moglo objasniti klasičnim teorijama valencije. Medjutim, 1920.godine Werner je -iveo pojam glavnih i sporednih valencija. Glavna valencija odgovara klasičnom pojmu vezivanja i obično predstavlja kovalentnu vezu.

razna kompleksotvorna jedinjenja koriste se kao sredstva - za dekompoziciju radioaktivnih supstancija iz organizma. Obično je nastali kompleks rastvorljiviji od prvobitne radiotoksične supstancije, pa dolazi do ubrzanja izlučivanja preko urina. U terapijske svrhe se mogu koristiti stabilni-kompleksi, koji se ne disociraju.

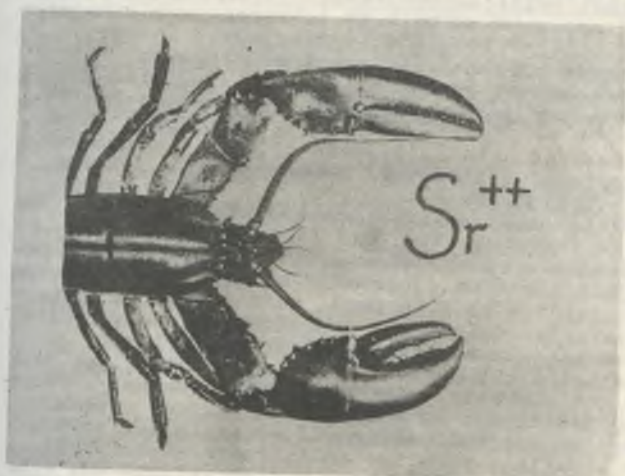
Kao prvi kompleksirajući agens u terapiji je upotrebljen -natrium-citrat 1946.godine prilikom kontaminacije sa Sr.Na nastali kompleks, medjutim, nije stabilan, pa se disocira, a organski dio se metabolizuje. Ipak je zapaženo povećano izlučivanje Pu, Th, Y i Sr prilikom njegove aplikacije.

Za dekorporaciju teških metala upotrebljavani su, sa više- ili manje uspjeha, fosfati, citrati, oksalati, jodidi i - salicilati. Aplikacija kompleksirajućih agensa ima smisla - samo ako se primjeni odmah poslije kontaminacije, dok se - kontaminant nalazi u krvi. Međutim, najznačajniji uspjesi u dekorporaciji su postignuti sa helatizirajućim agensima.

Ubrzanje izlučivanja stvaranjem helata

Helati predstavljaju komplekse u kojima su dvije ili više-donorskih grupa vezane običnim i koordinacionim valencijama za centralni atom, stvarajući prstenastu strukturu. Veći na helata postiže optimalnu stabilnost stvaranjem 5 ili 6-članih prstenova, izuzetno 4-članih. Prstenovi sa većim brojem članova nisu stabilni uslijed nepodobnog stereo-polo- žaja. valencija.

Morgan i Drew su 1920. godine nazvali ovakva jedinjenja "chelates" /prema grčkoj riječi "chela"/, što znači rakova kl- iješta - slika 1./



Sl.1

Mnoga jedinjenja sekvstriraju metale stvarajući sa njima- helat. Helati mogu biti mono i biciklični. Helatizirajućim agensima kao izvori valencija služe naj- češće slijedeće grupe: $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, N-OH , $-\text{SH}$, $-\text{NH}_2$, NRN , NR , C=O , $-\text{S}-$ i slične. Čitav niz faktora utiče na stabilnost helata, kao naprimj- er pH medija, stereo-osobine nastalog jedinjenja, osobine- centralnog atoma, tj. njegova valencija, atomski radijus,-

elektronska struktura, redoks potencijal i sl. Obično porastom valencije centralnog atoma raste i stabilnost helata. Radijus centralnog atoma ima znatan uticaj na stabilnost. Stabilnost helata izražava se konstantnom stabilnošću.

Da bi helatizirajući agensi bili pogodni za terapijske svrhe, moraju ispunjavati slijedeće uslove:

- da stvaraju stabilan helat sa radioaktivnom supstancijom
- da se nastali helat dobro rastvara u vodi i da lako difunduje kroz membrane, odnosno da se lako izlučuje urinom;
- da se helatizirajući agens ne metabolizuje i da nije toksičan.

Helatizirajući agens bi trebao da posjeduje selektivnost - za radiotoksične supstancije. To znači, da konstanta stabilnosti helata sa radioaktivnom supstancijom treba da bude veća od konstante stabilnosti helata sa bilo kojim fiziološki prisutnim konstituentom. Tako, naprimjer, da bi se smanjila helatizacija Ca sa versenatom, aplikuje se Ca-Na₂-EDTA. U suprotnom slučaju helatizirajući agens izaziva poremećaj u organizmu.

Teoretski postoji priličan broj helatizirajućih agenasa. Međutim, veliki procenat od njih je toksičan za organizam, pa se praktički njihov broj znatno smanjuje.

Postoje tri moguća uzroka toksičnosti ovih agenasa:

- specifična toksičnost agenasa uslovljena njegovom hemijskom strukturom, odnosno supstancija je sama po sebi toksična;
- toksičnost uslijed helatizirajućih procesa u organizmu - sa raznim fiziološki prisutnim konstituentima /Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Ni itd./;
- indirektna toksičnost uslijed mobilizacije radiotoksične supstancije.

Naime, depozicijom u raznim tkivima i organima može se relativno smanjiti toksično djelovanje neke supstancije. Prema tome, mobilizacija iz ovih depoa može da povisi njihovo toksično djelovanje. Osim toga, redistribucija u organima može da poveća toksičnost uslijed stvaranja helata.

Kao prvi helatizirajući agens 1940. godine upotrebljen je - BAL /British anti-lewisit, dimerkapto-2-3-propanol/. Dve -SH grupe ovog jedinjenja lako zahvataju katjone metala.

Kasnije su veliki uspjesi postignuti sa nizom etilen-diamin-sirćetnih kiselina, naročito sa tetrasirćetnom /EDTA/. - Pentasirćetna kiselina /DTPA/ se u novije vrijeme sve više koristi.

U novije vrijeme se počela koristiti i aurin-trikarbonska kiselina /ATA/.

Svi navedeni agensi se koriste za dekontaminaciju raznih radioaktivnih supstancija iz organizma, jer stvaraju stabilne lakorastvorljive helate, koji se ubrzano izlučuju iz organizma. Rezultati aplikacija ovih agenasa pokazuju različite stepen uspjeha.

Veoma se intenzivno nastavljaju ispitivanja novih helatizirajućih agenasa u raznim slučajevima unutrašnje kontaminacije radioaktivnim supstancijama, u nadi da će poboljšati brzinu izlučivanja urinom iz organizma i tako smanjiti njihovu toksičnost uslijed dekontaminacije.

Literatura:

1. A.E. Martell, Metale Chelate Compounds, Ann. Rev. Phys. Chem., 6, 1955, 239,
2. L.H. Miller, EDTA Therapy, Ind. Med. Surg., 28, 1959, - 144,
3. M.W. Rosenthal, Factors Influencing Elimination of Radiosotopes from the Body, Symposium "Radioisotopes in the Biosphere", Univ. of Minnesot Minneapolis, October, 19-23, 1959,
4. Editors: M.J. Seven, L.A. Johnson, Metal Binding in Medicine, J.B. Lippincott Co., Philadelphia, 1960.
5. H. Briegert, Chelating Agents in the Prevention and Treatment of Occupational Diseases, Arch. Environm. Health 1, 1960, 271,
6. G.L. Eichorn, Metale Chelate Compounds in Biological Systems, Fed. Proc. 20, 1961, 40,
7. H. Foreman, Use of Chelating Agents in Treatment of Metal Poisoning Fed. Proc., 20, 1961, 191,
8. P. Chladot, J. Lafuma, Toxicite eigue des chelatants - therapeutiques utilisables dans l industrie nucleaire, Rev. d hyg. med.soc., 10, 1964, 391,
9. T. Trnovec, Terapeutické možnosti pri internej kontaminaciji radioaktivnymi latkami, Lek. Obzor, 12, 1963, 211
10. M. Rubin, The Biological Implications of Alkaline Earth Chelation "Transfer of Calcium and Strontium Across Biological Membrane", Academic Press, New York, 1963, str 25.,
11. A. Catsch, Dekorporation von Metallionen durch Komplexbildner, "Essays in Coordination Chemistry", Exper, Supp 1. IX, str. 210, Birkhauser Verlag, Basel, 1963.,
12. D. Djurić, Biohemija i biofizika industrijskih otrova, - Zavod za stručno usavršavanje zdravstvenih radnika, Beograd, 1966.

Principi eliminacije radioaktivnih izotopa pomoću helatogenih supstancija
i naša iskustva na tom području s posebnim osvrtom
na eliminaciju zemnoalkalija

O. A. Weber

Od prvog letalnog efekta djelovanja radioaktivnih izotopa, - koji je 1904. godine objavio Pierre Curie /1/, te od prvog - smrtnog slučaja uslijed akutnog otrovanja radioaktivnim supstancijama 1912. godine /2/ pa do primjene helatogenih supstancija za eliminaciju radioaktivnih izotopa iz organizma, - prošlo je gotovo pola stoljeća.

Kod stvaranja kompleksa između metala i različitih kemijskih, obično organskih spojeva, dolazi do formiranja slabo disociirane molekule. Kad dolazi do takvog vezivanja metala liganda, da metal postaje dio prstenastog sistema, ovakav kompleks nazivamo helatom. Ovdje ćemo upotrebljavati termin - "kompleks" i "helat" naizmjenično, premda je termin kompleks širi, tj. svi helati su kompleksi, međutim svi kompleksi nisu helati.

Ion metala vezan u obliku helata ne sudjeluje u normalnim - kemijskim reakcijama osim sa supstancijama koje posjeduju - veći afinitet prema ionu metala od afiniteta same helatogene supstancije. Ako je helat netopiv i ne može difundirati, on sprječava štetno djelovanje metalnih iona na organizam. Ako je pak helat u vodi topljiv i lagano difundira, on se - ujedno i lagano izlučuje iz organizma. Prema tome, postoje - dva razloga za upotrebu stvaraoča kompleksa pri liječenju - otrovanja metalima:

1. stvaralac kompleksa se selektivno veže in situ s toksičnim metalom i kod toga ne dolazi do promjene položaja metala.

2. Stvaralac kompleksa sprječava reakcije ion metala sa celiularnim sastojinama, a nakon toga dolazi do izlučivanja nastalog kompleksnog spoja iz organizma.

Samo ovaj drugi način može se upotrijebiti pri terapiji otrovanja radioaktivnim metalima.

Pri liječenju otrovanja kemijski toksičnim metalima mnogi - istraživači su u prošlosti upotrijebili stvaraoče kompleksa međutim, ne zbog njihove sposobnosti da direktno reagiraju s metalom. Namjerna upotreba stvaraoča kompleksa za liječenje otrovanja teškim metalima, zbog njihovog svojstva vezivanja metala, započela je pred nešto više od dvadesetak godina. za vrijeme rata u Velikoj Britaniji sintetiziran je - 2,4-dimerkaptopropanol, nazvan BAL /British Anti-Lewisite sa svrhom da se spriječe štetni efekti bojnih otrova koji - su sadržavali arsen /3,4/. Kratko nakon toga BAL je bio uspješno upotrebljen pri liječenju otrovanja onih teškim metalima, koji vjerovatno vjeruju toksično zbog spajanja s tiolnom grupom enzimskih proteina, kao što su to arsen, živa i bizmut. U organizmu dolazi do uspješne kompeticije između BAL-a i SH-grupa, te dolazi do formiranja helata. Nakon nastajanja spoja između BAL-a i metala, nastali se helat lako - no izlučuje iz organizma.

Otprilike u isto vrijeme kad je bio upotrebljavan BAL, Kety je pokušao liječiti otrovanje olovom pomoću natrijevog citrata /5//6//7/. On je primjetio da olovo stvara prilično jaki kompleksni ion sa citrinskom kiselinom, te je mjerio i stabilnost tog kompleksa /6/. On je pomislio da bi se fenomen nastajanja kompleksa mogao primjeniti na problem otapanja netopivih olovnih spojeva u tkivu, te na taj način stvoriti više olova koje se može izlučiti bez da dodje do porasta koncentracije olovnih iona u krvotoku.

Posljednjih godina pojavila se na tržištu vanredno snažna grupa helatogenih supstancija iz reda poliaminopolikarbonskih kiselina koje ukratko nazivamo kompleksanima. Jedan od najpoznatijih spojeva iz te grupe je etilendiamintetraoctena kiselina /EDTA/. Ovaj spoj stvara naročito jake helate s više valentnim kationima, a helati koji na taj način nastaju topljivi su u vodi i vrlo slabo disocirani. Već 1942. godine izvršeni su biološki pokusi s EDTA, kad je istraživa na sposobnost EDTA da sprječava koagulaciju krvi in vitro na taj način da se kalcij kompleksno veže /8/. 1949. godine je Bersworth predložio da se EDTA upotrijebi za uklanjanje metala iz organizma /8 i strana 509/. Utvrđeno je da EDTA znatno povećava ekskreciju različitih metala, a naročito do bri rezultati bili su dobiveni pri liječenju otrovanja olovom /9 i strana 506-510/ /10/.

Prvi pokušaj da se iz organizma uklone radioaktivni izotopi pomoću stvaraca kompleksa bili su učinjeni u Chicagu 1945. godine. Painter i suradnici /11/ aplicirali su natrijum citrat peroralno i intravenozno pri pokušaju da ubrzaju izlučivanje plutonija kod pasa, kojima je 53 dana prije toga bio injiciran plutonij, te su zapazili da je došlo do 25%-nog povećanja izlučivanja plutonija u urinu. Eksperimenti Schuberta /12/ pokazali su da davanje natrijum citrata unutar dva sata nakon injekcije plutonijuma nekoliko puta povećava količinu izlučenog plutonijuma. On je djelovanje natrijum citrata na povećanje izlučivanja plutonijuma pripisao sposobnosti citrata da povećava mogućnost difuzije plutonijuma i na taj način olakša njegovo izlučivanje putem bubrega. Obzirom na terapiju otrovanja radioizotopima uopće Schubert/13/ je prvi ustvrdio da je upotreba stvaraca kompleksa za izlučivanje samo onih radioelemenata s kojima oni stvaraju veoma stabilne kompleksne ione. Ovdje treba spomenuti da natrijum citrat imade neke loše strane kad se upotrebljava kao stvaralac kompleksa. Natrijum citrat se, naime, lagano metabilizira, a osim toga u fiziološkim uvjetima ne stvara osobito stabilne komplekse, odnosno ne toliko stabilne koliko bi to bilo potrebno.

Bilo je posve prirodno da se pristupilo pokušaju aplikacije BAL-a za liječenje otrovanja radioaktivnim elementima. Weikel i Lorenz /14/ su upotrijebili BAL u nadi da će pospješiti ekskreciju radijuma kod miševa kojima je prethodno injicirana stanovita količina radijumovih soli. U radu koji su publicirali 1953. godine Kawin i Copp /15//16/, su istraživali efekte BAL-a na ekskreciju plutonijuma kod štakora. S kemijskog stanovišta, baziranog na stepenu reaktivnosti sulfh

izilne grupe s ionima radijuma i plutonijuma, moglo se oče-
kivati da BAL neće uticati na ekskreciju radijuma i plutoni-
juma, jer ti elementi ne reagiraju u znatnoj mjeri sa SH-gr
upom. Stoga nije bilo iznenadjujuće da primjenom BAL-a nisu
bili primijećeni nikakvi efekti.

Scott, Crowley i Foreman također su započeli 1949. godine u
Hamiltonovom laboratoriju u Kaliforniji pregled efekata raz-
ličitih helatogenih supstancija na metabolizam radioizotopa
iz reda rijetkih zemalja /17/. Ispitana su svojstva citrata
askorbinske, nikotinske, pikolinske i izotiopropionske kisel-
ine, karboksietil sulfida, glutationa, holne kiseline, EDTA
i kreatina i u nekim slučajevima kombinacije od po dvije
helatogene supstancije. Aplikacija EDTA dala je pri tom naj-
bolje rezultate u smislu pospješivanja ekskrecije. Ova je -
istraživanja nastavio Foreman /18/, a kasnije su ih Foreman
i Hamilton /19/ prošilili na cerijum i plutonijum.

Potencijalni uticaj helatogenih supstancija na povećanje ek-
skrecije radioizotopa in vivo može se djelomično predviditi
iz poznavanja fizičko-kemijskih svojstava kao što su:
- afinitet helatogene supstancije prema radioizotopu,
- afinitet helatogene supstancije prema kalcijumu,
- hidrolitičke reakcije radioizotopa i
- afinitet radioizotopa prema pojedinim celularnim sastojci-
ma.

Pored toga je poželjno da helatogena supstancija

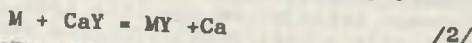
- stvara helate koji su u vodi topljivi i mogu lagano difun-
dirati,
- da ne reagira s normalnim sastojinama organizma, osobito-
ako je to ikako moguće, ne s kalcijumom,
- da bude slabo toksična,
- da posjeduje veliku moć apsorpcije ako se aplicira perora-
lno i
- da se ne metabolizira.

Sva ova fizičko-kemijska i biološka svojstva ne mogu se, me-
đutim, uvijek kvantitativno iz rezultata pokusa in vivo pr-
ocijeniti u odnosu na ponašanje te supstancije u organizmu.
U stvarnosti niti jedna helatogena supstancija u potpunosti
ne zadovoljava svim ovim uvjetima istovremeno, a nije niti-
moguće kvantitativno obuhvatiti sve faktore koji su gore na-
brojeni. Konačni kriteriji za uspješnost aplikacije helatog-
enih supstancija je količina i brzina kojom se pojedini rad-
ioizotop može sigurno izlučiti iz organizma.
Ipak neki zaključci o vrijednosti helatogenih supstancija -
za internu dekontaminaciju mogu se izvesti iz poznavanja ko-
nstanta stabilnosti koje su definirane ovako:

$$K_{MY} = \frac{[MY]}{[M] \cdot [Y]} \quad /1/$$

gdje je K konstanta stabilnosti, MY je koncentracija helata
M je koncentracija metala koji nije stupio u kompleksni sp-
oj, a Y je koncentracija supstancije koja stvara helate, -
ali nije reagirala s metalom.
Istovani princip liječenja pomoću helatogenih supstancija je
taj da njihova koncentracija u krvi mora biti što veća, i -

to po mogućnosti trajno za čitavo vrijeme liječenja. Male - količine mogu dapače i pojačati odlaganje radioizotopa u ko - stima. Zašto je to tako, pokazat ćemo na ovom primjeru: kompleksoni se obično upotrebljavaju kao kalcijumove soli - koje reagiraju s metalnim jonom prema ovoj jednadžbi:



U toj je jednadžbi Y kratica za komplekson, naprimjer EDTA, a M simbol za bilo koji metalni ion. Ta je reakcija reverzi - bilna, što znači da će teći s lijeva na desno, tj. u smjeru stvaranja helata MY, ako je koncentracija spoja CaY velika, a to je ono što želimo postići. Budući da je reakcija rever - zibilna možemo za nju primjeniti zakon o djelovanju masa i - zračunati konstantu ravnoteže metatske reakcije:

$$K = \frac{[MY] \cdot [Ca]}{[M] \cdot [CaY]} = \frac{K_{MY}}{K_{CaY}} \quad /3/$$

gdje je $K_{CaY} = \frac{[CaY]}{[Ca] \cdot [Y]}$ /4/

Uglate zagrade znače koncentraciju, a K označava konstantu ravnoteže.

Ako izvršimo neke jednostavne računске operacije, možemo do - biti ovu jednadžbu:

$$R_{MY} = \frac{[MY]}{[M]} = \frac{K_{MY}}{K_{CaY}} \cdot \frac{[Y]}{[Ca]} \quad /5/$$

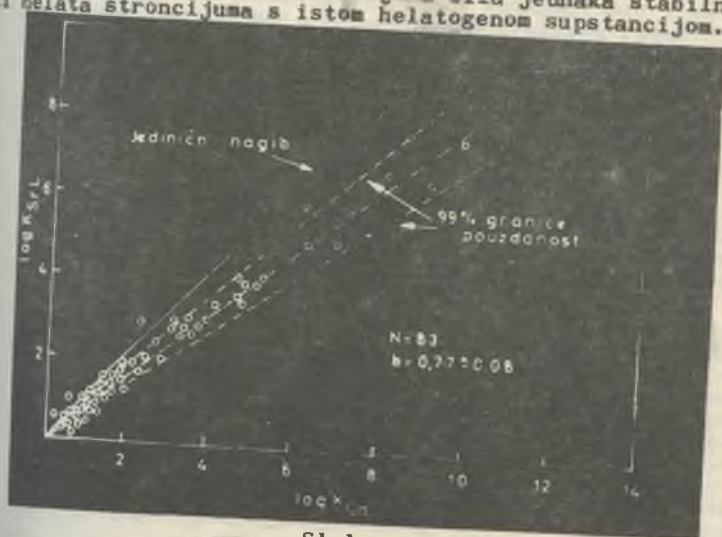
koja ima mnogo prikladniji oblik za ocjenu vrijednosti poje - dinih spojeva koji stvaraju helate. R je vrijednost iz - koje možemo zaključiti da li je vezanje metala u obliku hel - ata jako ili slabo. Što je vrijednost R veća, metal je - vezan bolje. Da bismo tu vrijednost što više povećali, mora - mo povećati brojnik u izrazu na desnoj strani, tj. konstan - ta stabilnosti K mora biti što veća, a isto tako moramo - održavati što većom koncentraciju spoja koji stvara helat. - /Y/. Vrijednost razlomka također će porasti ako nazivnik - smanjimo, što znači, da konstanta stabilnosti helata K - mora biti što manja. Na koncentraciju kalcija ne možemo mno - go uticati, jer ne smijemo dopustiti da se ona smanji ispod - relativno istih granica normalne koncentracije kalcija u ti - jelu, što bi dovelo do poremećaja u organizmu. Poznato je da etilendiamin tetraoctena kiselina stvara stab - ilne helate s metalima iz reda zemnoalkalija, no s napomen - om da stabilnost pada u redu Ca-Sr-Ba, dok je stabilnost he - lata magnezija jedanput veća, a drugi put manja od stabilno - sti helata kalcijuma. Pregledom literature /20/ i prikuplja - njem podataka o parovima konstanta stabilnosti helata kalc - ijuma i stroncijuma s istim helatogenim supstancijama, kao-

obradom tih literaturnih podataka - svega 83 para - može se utvrditi slijedeće: ovi podatci, promatrani kao uzorak-slučajno dobivenih tačaka, mogu se opisati jednadžhom pravca koja glasi:

$$\log K_{SrL} = \log K_{CaL} \times 0,77 \quad /6/$$

gdje L predstavlja bilo koji ligand koji istovremeno stvara helate i s kalcijumom i sa stroncijumom, za razliku od Y koji u ovom izlaganju označuje samo helatogenu supstanciju kompleksnorskog tipa.

Na slici 1 grafički su prikazani literaturni podaci i to - tako da je na apscisi nanesen logaritam konstantne stabilnosti kompleksa kalcijuma, a na ordinati logaritam konstantne odgovarajućih kompleksa stroncijuma. Takodjer je nanesen regresijski pravac i njegove 99% granice pouzdanosti, te - jedinični nagib oko kojeg bi trebale biti nagomilane tačke kad bi stabilnost helata kalcijuma bila jednaka stabilnosti helata stroncijuma s istom helatogenom supstancijom.

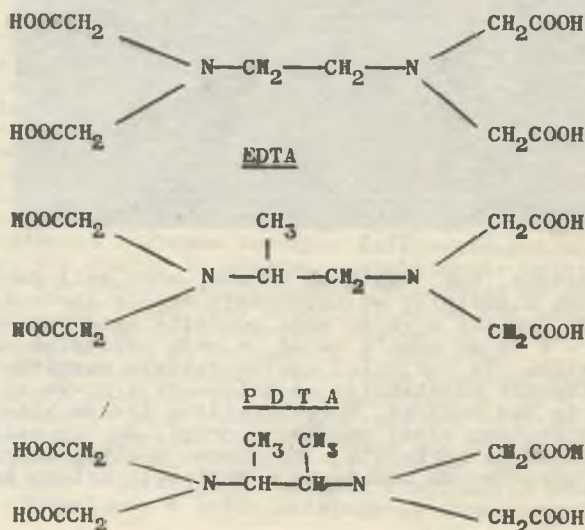


S1.1

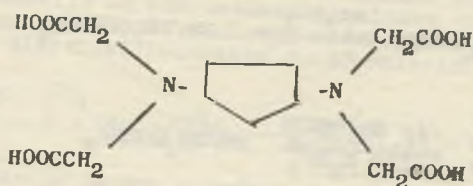
Iz ovih se podataka, kao i njihove obrade, može reći da su helati kalcijuma stabilniji od istovrsnih helata stroncijuma s gotovo bez iznimke svim do sada poznatim helatogenim supstancijama - i to ne samo s onima iz reda poliaminopolikarbonskih kiselina. Ta činjenica znatno otežava mogućnost primjene helatogenih supstancija za eliminaciju Sr-90 iz organizma, i to iz dva razloga. Prvi je razlog što je količina kalcija u organizmu veoma velika, a drugi, da taj relativno visoki nivo treba održavati u razmjerno uskim granicama. Primjera radi navodimo da konstanta stabilnosti helata kalc

ija s etilendiamin tetraoctenom kiselinom iznosi $10^{10.90}$ - a helata stroncija $10^{8.63}$, što znači da je helat kalcija oko 100 puta stabilniji od helata stroncija. Uklanjanje radioaktivnog stroncija iz organizma pomoću helatogenih supstancija postat će uspješno tek onda, kad se odnos stabilnosti helata kalcija i stroncija dovoljno smanji i u idealnom slučaju postane jednak ili manji od 1, a da pri tom sama stabilnost stroncija helata ostane dovoljno velika. Kad smo izvršili neka termodinamička i druga fizičko-kemijska razmatranja/21/, došli smo do zaključka da mora postojati mogućnost u najmanju ruku, barem teoretska, da se sintetizira helatogena supstancija koja bi imala veći afinitet prema stronciju nego prema kalciju. Naime, promjena entalpije neke reakcije sastoji se uglavnom od algebarske sume toplina vezanja molekula koje sudjeluju u reakciji. Na toplinu vezanja može se uticati različitim faktorima, uključujući ovdje i steričku konfiguraciju liganda i prirodu atoma koji se s tim ligandom veže. Pri procesu nastajanja helata, stabilnost helata s ligandom koji posjeduje atomske grupacije koje mogu sterički smetati, bit će ovisna o veličini kationa. Očekujemo da će stabilnost helata s takvim ligandom rasti s rastućim ionskim radijusom, tj. u području između 0,99 i 1,13 Å, čini nam se vrijednim pokušati da se sintetizira helatogena supstancija koja bi potencijalno čvršće vezala stroncij.

U nadi da će se takva supstancija moći prirediti u redu amino-polikiselina, započeli smo sa sintezom i istraživanjem fizičko-kemijskih svojstava helatogenih supstancija kompleksnog tipa, i to najprije nekih derivata etilendiamin tetraoctene kiseline:



DIMEDTA

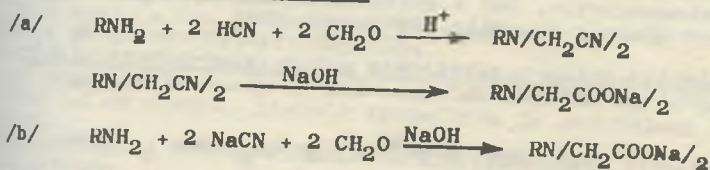


1,2-C P D T A

Sinteza

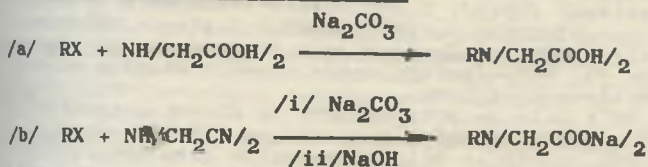
Metode koje se obično upotrebljavaju pri sintezi kompleksona opširno je opisao Aiken /22/. Kratki pregled nekih korisnih metoda iznesen je ovjde.

Sinteza i hidroliza nitrila

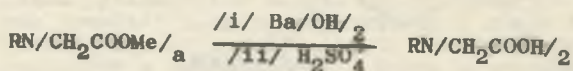
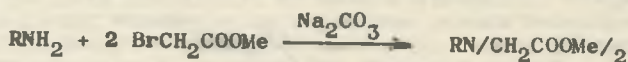


Metoda navedena pod /b/ je prikladnija, budući da ne traži upotrebu tekućeg cijanovodika. Bersworth i Martell /23/ postavili su na taj način pripremi EDTA iskorištenja do 96% te su danas ta kiselina i proizvodi uglavnom tako. Amonijak treba često uklanjati destilacijom u toku pripreme, po mogućnosti kontinuirano, jer inače dolazi do sporednih reakcija koje onečišćuju glavni produkt znatnim količinama glicina, imino-dioctene kiseline i nitrilo-trioctene kiseline. U nekim slučajevima pojavljuju se poteškoće pri hidrolizi nitrila zbog steričkih smetnja uzrokovanih susjednim grupama.

Reakcija između alkil halogenida i imino-dioctene kiseline nitrila imino-dioctene kiseline



Kondenzacija amina s metilnim esterom bromoctene kiseline



Prednost te metode sastoji se u tome što omogućava separaciju čistog estera i na taj način, bar u teoriji, pojedno stavljuje čišćenje kompleksona od nepromijenjenog ishodnog materijala kao i aminokiselina nastalih sporednim reakcijama. Međutim, premda početnu kondenzaciju nije teško izvesti /uz pretpostavku da je moguća obzirom na steričke smetnje/ čišćenje nastalog estera je često vrlo teško provesti. Esteri su često vrlo viskozne tekućine, tako da se kristalizacija ne može primjeniti, a destilacija u vakuumu u običnom mjerilu dovodi do drastičnih gubitaka zbog termičke dekompozicije. Čak i molekularna destilacija se bar u jednom slučaju pokazala nepodesnom /24/.

Kondenzacija amina s natrijevim solima klor-octene kiseline

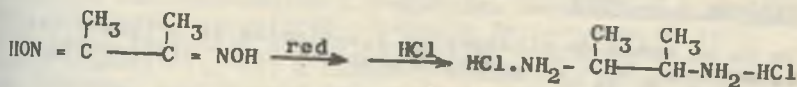


Izvedba ove reakcije je vrlo laka i jednostavna ako se do datkom kiseline izreagiranoj otopini može istaložiti nastali kompleks, ta metoda predstavlja najjednostavniji postupak za pripremu amino-polikiselina. Alternativno, dodatom suviška barijevih ili srebrenih iona može se istaložiti netopiva sol kompleksona, a slobodna kiselina se može ponovno dobiti obradom prethodno odjeljenog taloga s izračunatom količinom sumporne odnosno solne kiseline.

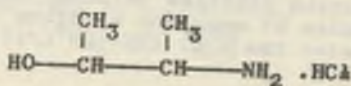
U okviru rada grupe koja se na Institutu bavi sintezom i određivanjem fizičko-kemijskih svojstava helatogenih supstancija, kao i njihovim biološkim testiranjem, trebalo je sintetizirati prije spomenute spojeve tipa EDTA: metil-eten-diamin-tetraoctena kiselina/propilendiamin tetraoctena kiselina/ /PDTA/; 1,2-dimetiletildiamin tetraoctena kiselina /DIMEDTA/ i ciklopentan-1,2-diamin NN tetraoctena kiselina /CPDTA/. Upotrebljena je najpoznatija metoda dobivanja tj. kompenzacija amina odnosno diamina sa monohalogeno octenom kiselinom. Racemična PDTA bila je pripremljena iz čistog racemičnog-propilen-diamina i natrijum kloracetata /25,26/. Na ovaj način dobivena kiselina bila je nekoliko puta prekristalizirana iz vode i sušena do konstantne težine na temperaturi

ri od 100°C.

Da bi se došlo do dimetil-etilen-diamina koji je potreban za kondenzaciju sa kloroocetnom kiselinom /21,27/, trebalo je provesti prethodnu reakciju redukcije dimetil glioksima u 1,2-dimetiletildiamin dihidroklorid:



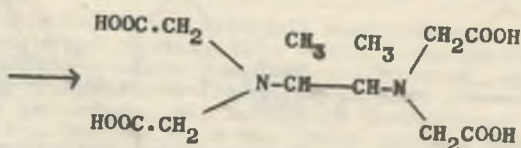
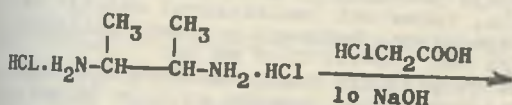
Ta se reakcija izvodi u lužnatoj sredini, a kao sredstvo za redukciju služi legura Al + Ni. Nakon višesatnog miješanja uz grijanje /vodenom kupelji kojoj temperatura ne prelazi 50°C/ reakciona smjesa odfiltrira se od ostatka legure. Filtrat se destilira, a destilat se obradivanjem sa 10%-HCl kiselinom prevede u hidroklorid. Od eventualno prisutnog aminoalkohola



koji nastaje kao nusprodukt, oslobadja se s izopropanolom koji ga gotovo selektivno otapa.

Dobiveni dimetiletildiamin hidroklorid daje se vrlo lijepo prekrystalizirati iz 96% etanola. Talište mu je oko 300°C uz raspad. Čistoća spoja bila je potvrđena analizom.

Kondenzacija dimetiletildiamin hidroklorida s kloroocetnom kiselinom

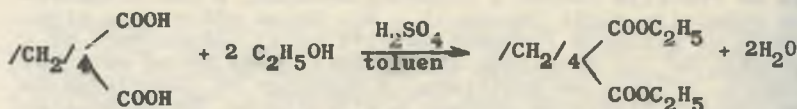


izvodi se uz postepeno dodavanje otopine natrijeve lužine i stalna kontrola pH reakcione smjese. Lužina se dodaje u prvom redu za neutralizaciju hidroklorida, a zatim za stvaranje natrijeve soli tetraoctene kiseline. Iz ove se, za kiseljavanjem do pH = 2, izdvaja slobodna kiselina. Najveće poteškoće zadaje izoliranje slobodne kiseline iz sojino-kisele otopine u kojoj ima mnogo otopljenog natrijevog klorida /na 1 mol diamina nastaje 10 M natrijevog klorida

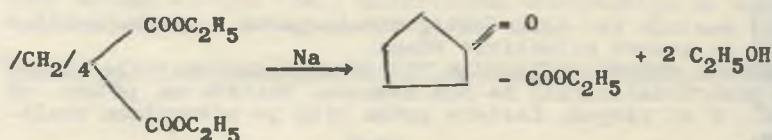
kao nusprodukta/. Uz najveće mjere opreza bilo je moguće dobiti čisti produkt u iskorištenju koje nije bilo veće - od 30%. Prekristaliziran iz vode /1:5o/ konačni produkt - DIMEDTA pokazuje talište 148-152°C.

Sinteza 1,2-CPDTA

Da bi se došlo do ciklopentan 1,2-diamina za pripremu tetra-acitata, bilo je potrebno provesti čitav niz reakcija- /28,29,3o,31,32,/:

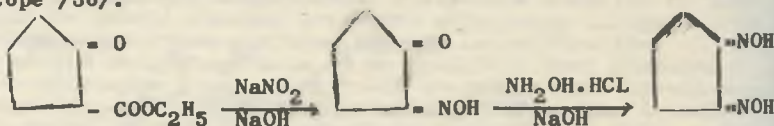


Dietilni ester adipinske kiseline pripremljen je iz adipinske kiseline i metanola uz sumpornu kiselinu i toluen kao otapalo. Dobiveni ester ima t.k. 128-129°C/17 mm Hg.

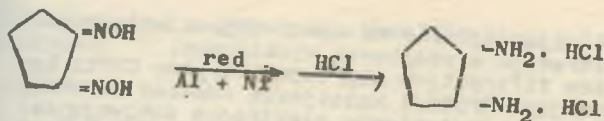


Karbetoksi ciklopentanon priredjen je Dickmannovom kondenzacijom. Za ovu reakciju potrebno je prirediti sitno zrnati ti natrij u toluolu, takozvani "molekularni natrij" uz upotrebu specijalne mješalice. Dobiveni produkt, ciklički-keto ester, destulira kod 1o8-11o°C/15 mm Hg.

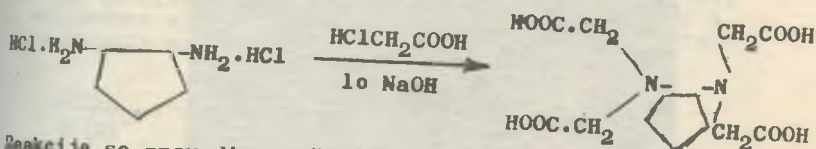
Slijedeći stepen bila je priprava ciklopentadion-1,2-dioksima iz karbetoksi-ciklopentanona, metodom koju je opisao Cope /3o/.



Ova reakcija je vrlo osjetljiva na prisustvo kisika u zraku, pa se prvi dio provodi u atmosferi dušika. Pri tome na staje monoksim koji je nestabilan i nemože se izolirati, pa se zato čuva u eterskoj suspenziji. Daljim oksimiranjem - prevodi se u dioksim koji je stabilan, samo je nečist, pa se mora pretaloživanjem očistiti. Boje je puti, a talište mu je 2o5-21o°C.



Redukcijom ciklopentandion 1,2-dioksima dobiven je ciklopetan 1,2-diamin hidroklorid. Reakcija je izvedena na isti način kao i redukcija dimetil-glioksima u dimetil-etilen-, diamin hidroklorid, tj. u lužnatoj sredini sa Al + Ni legurom. Dobiveni hidroklorid može se vrlo dobro prekrystalizirati iz 96% etanola, a analitički uzorak ima talište 295 - 300 °C uz raspad. Analiza je zadovoljavajuća. Posljednji stepen sinteze 1,2-CPDTA je kondenzacija ciklopetan-1,2-diamin hidroklorida s klorocetenom kiselinom.



Reakcija se provodi u lužnatoj sredini uz vrlo oprezno do-davanje otopine natrijeve lužine i kontroliranje pH. Izola-cija konačnog produkta iz natrijeve soli također predstav-lja poteškoće i najbolje moguće iskorištenje iznosi 30%. - Čisti se pretaloživanjem sa 2% otopinom natrijeve lužine - uz ugljen. Dobiveni spoj CPDTA pekaže vrlo slabu topivo-st u organskim otapalima /praktički je netopiv/, i bilo je moguće dobiti zadovoljavajuće rezultate analize jedino pre kristalizacijom iz vode /1:600/. Tali se kod 252-253 °C.

Konstante disocijacije i konstante stabilnosti

Metode koje služe za istraživanje ravnotežnog stanja u ote-pini, koja sadrži neku helatogenu supstanciju, kation neko-g metala i niz mononuklearnih kompleksa možemo uglavnom po-dijeliti u tri grupe:

U prvu grupu metoda kod kojih se određuje koncentracija - liganda spadaju prije svega pH-metrijske metode, dok se mno-go rjeđe i, može se reći u sasvim iznimnim slučajevima, up-otrebljavaju također i optičke i kinetičke metode.

Druga grupa obuhvaća pH-metode, pri kojima se prvenstveno-određuje koncentracija kationa M. U ovu grupu spadaju pot-enciometrijske metode s elektrodama načinjenim iz metala M njegovog amalgama ili nekog redoks para, te polarografska-metoda. Koncentracija kationa može se odrediti još i iz po-dataka o topljivosti, kao i iz podataka dobivenih pomoću -ionskih izmjenjivača.

U trećoj grupi metoda, pri kojima se određuje koncentraci-ja nastalog kompleksa, prvenstveno snaženje pripada optič-kin metodama. Katkada se koncentracija kompleksa bez nabo-ja može odrediti iz koeficijentata podjele između vodene i

organske faze.

U našem laboratoriju najčešće se upotrebljava metoda potencijometričke titracije s vodikovom elektrodom.

Potencijometričkom filtracijom naprimjer otopine CPDTA kao i ekvimolarnih smjesa CPDTA i kalcijevih odnosno stroncijevih jona s vodikovom i staklenom elektrodom dobivaju se krivulje titracije koje prikazuju zavisnost pH otopina od volumena dodane lužine, odnosno stepena neutralizacije.

Na krivulji titracije, koja predstavlja titraciju slobodne kiseline, primjećuju se dva nagla eksponencijalna skoka, a ne četiri, što bismo mogli očekivati s obzirom na to da se radi o četverobazičnoj kiselinu. To tumačimo ti-

Sl. 2.



me, da su prva i druga konstanta disocijacije veoma blizu $pK_1 = 2,2$ a $pK_2 = 3,7$, pa se međusobno prekrivaju i registriramo ih samo kao jedan skok pH i to kao prvi skok na krivulji. Drugi skok odgovara ionizaciji trećeg protona iz molekule CPDTA, dok je ionizacija četvrtog protona ponovo prekrivena zbog niske koncentracije otopina za titraciju, koja iznosi 10^{-3} M/l. Reakcijom između CPDTA i stroncijevih jona nastaje helat SrY^{2-} prema reakcionoj shemi:



Iz eksperimentalnih podataka, tj. iz volumena dodane otopine lužine i pripadajuće pH vrijednosti, odnosno vrijednosti pripadajuće koncentracije vodikovih jona, mogu se izračunati konstante stabilnosti helata kalcija i stroncija-sa CPDTA.

Konstante disocijacije četverobazične kiseline definirane su ovim izrazom:

$$K_1 = \frac{[H_3Y][H]}{[H_4X]} \quad K_2 = \frac{[H_2Y][H]}{[H_3Y]}$$

$$K_3 = \frac{[HY][H]}{[H_2Y]} \quad K_4 = \frac{[Y][H]}{[HY]}$$

One predstavljaju brojčane izraze za sukcesivnu disocijaciju. Već je bilo rečeno da su konstante disocijacije K_1 i K_2 međusobno zavisne, pa ta činjenica nalazi svog odražaja i u formuli za izračunavanje:

$$\frac{1/2-R}{R[H]^2} = \frac{1}{K_2} + \frac{1/R-1}{R[H]} + \frac{1}{K_1 K_2}$$

U toj jednadžbi R zamjenjuje izraz:

$$R = \frac{aC_s + [H] - [OH]}{C_s}$$

gdje je C_s koncentracija kiseline. To je jednadžba pravca koji nagib iznosi $1/K_2$, a odsječak na osi ordinate iznosi $1/K_1 K_2 / 21, 31/$.

Jednadžbe za obračunavanje K_3 i K_4 bile su također već - prije opisane /21, 31/. Konačne formule su ove:

$$K_1 = \frac{1/2-R/[H]}{4-R} + \frac{1/R-2/[H]^2}{4-R/K_3} + \frac{1/R-1/[H]^3}{4-R/K_2 K_3} + \frac{R[H]^4}{4-R/K_1 K_2 K_3}$$

$$K_3 = \frac{1/2-R/[H]^2}{R-3/H + 1/R-4/K_4} + \frac{1/R-K_1[H]^3 - R[H]^4}{R-3/H + 1/R-4/K_4 K_1 K_2}$$

Iz ovih se jednadžba vidi da također postoji međusobna zavisnost između K_3 i K_4 . I taj se problem može riješiti samo metodom sukcesivnih aproksimacija. U slučaju nastajanja jednostavnog helata tipa MY može se - na eksperimentalnih podataka: C_s ukupna koncentracija ligan-

nda, C_M ukupna koncentracija metala, zatim iz volumena-
 dodane V lužine v , odnosno iz njega dobivenog stepena neut-
 realizacije a , I pH, odnosno koncentracije vodikovih iona,
 izračunati konstanta stabilnosti K_{MY} prema formuli:

$$K_{MY} = \frac{(MY)}{(M)(Y)}$$

$$K_{MY} = \frac{C_s - (Y)}{(Y) C_m + (Y) - C_s}$$

gdje je

$$Y = \frac{/4-a/ C_s \cdot (H) + (OH)}{\frac{4 (H)^4}{K_1 K_2 K_3 K_4} + \frac{3 (H)^3}{K_2 K_3 K_4} + \frac{2 (H)^2}{K_3 K_4} + \frac{(H)}{K_4}}$$

$$= \frac{(H)^4}{K_1 K_2 K_3 K_4} + \frac{(H)^3}{K_2 K_3 K_4} + \frac{(H)^2}{K_3 K_4} + \frac{(H)}{K_4}$$

Medjutim, ako pored formiranja jednostavnog helata MY do-
 lazi i do formiranja protonskog kompleksa MHY, kao što je
 to slučaj pri nastajanju helata kalcija i stroncija sa -
 CPDTA, tada treba upotrijebiti kompliciraniji način, koji
 je prikazan ovim jednadžbama:

$$K_{MHY} = \frac{(MHY)}{(M) (HY)}$$

$$K_{MY} = \frac{1}{2} - \left\{ Z - \frac{(H)}{K_4} K_{MHY} \right\} \quad \text{gdje je}$$

$$Z = \frac{S - (Y) / 2 + \frac{H}{K_4} /}{(Y)^2 \alpha_H - / C_s - C_m / (Y)}$$

$$[Y]^2 \alpha_H \beta_H + [Y] \alpha_H - \beta_H / C_S - C_M / - C_S = 0$$

$$\alpha_H = \frac{[H]^2}{K_3 K_4} + \frac{[H]}{K_4} + 1 ; \beta_H = \frac{[H]}{K_4} + K_{MHY}$$

$$S = / a - 2/ C_S + [H] - [OH]$$

To je prilično kompliciran način izračunavanja, jer postoji međusobna zavisnost K_{MY} od K_{MHY} pa izračunavanje zahtjeva, pored ostalog, i rješavanje po jedne kvadratne jednačbe za svaku tačku na krivulji titracije. Aranžmanom s laboratorijem za numerička izračunavanja u Oxfordu uspjeli smo postupak za izračunavanje - koji upotrebom stolnog elektroničnog računskog stroja traje preko mjesec dana - skratiti na svega nekoliko minuta. Izračunavanja su bila izvršena na elektronskom digitalnom računaru "Mercury" tvrtke Ferranti.

Fizičko-kemijska mjerenja

Negativni dekadski logaritmi konstanta disocijacije PDTA, DIMEDTA i 1,2-CPDTA prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

	EDTA	PDTA	DIMEDTA	CPDTA	CHDTA
pK_1	1.99	1.83	1.67	2.2	2.43
pK_2	2.67	2.79	2.81	3.7	3.52
pK_3	6.16	6.23	6.35	7.5	6.12
pK_4	10.26	10.35	10.63	11.8	11.70

U istu tablicu stavili smo i podatke Schwarzenbacha i njegovih suradnika za EDTA i CHDTA /cikloheksandiamin tetraacetna kiselina/.

U tablici 2 prikazane su vrijednosti konstanta stabilnosti helata kalcija i stroncija sa 1,2-CPDTA, PDTA i DIMEDTA,

kao i logaritam odnosa njihovih stabilnosti. I ovdje su na vedeni rezultati Schwarzenbacha i suradnika za helate - EDTA i CHDTA, osim za Sr CHDTA, koji predstavljaju rezultat vlastitih istraživanja.

Kad se rezultati određivanja konstanta stabilnosti in vitro žele primjeniti na internu dekontaminaciju, treba imati na umu ovu činjenicu: vrijednost konstanta stabilnosti, definiranih na prije opisani način, vrijede, naime, samo za idealni slučaj, kad je helatogena supstancija potpuno disocirana, tj. vrijede samo u visokom pH području.

Tablica 2.

$$K_{MY} = \frac{(MY)}{(M)(Y)}$$

	EDTA	PDTA	DIMEDTA	CPDTA	CHDTA
log K_{CaY}	10.70	11.15	8.96	13.0	12.62
log K_{SrY}	8.63	9.16	7.01	11.4	10.41
log $\frac{K_{CaY}}{K_{SrY}}$	2.07	1.99	1.95	1.6	2.21

Budući da se pri postupku interne dekontaminacije radi o aplikaciji kompleksona u krv, čiji pH iznosi 7.3 do 7.5, treba te idealne konstante stabilnosti preračunati na okolnosti koje vladaju pri tom fiziološkom pH.

Naime, stvarna moć sekvstracije nekog reagensa mora se zapravo mjeriti na osnovu njegove efektivne konstante stabilnosti. Ta je konstanta definirana izrazom:

$$K'_{MY} = \frac{(MY)}{(M)(Y)}$$

gdje je $(Y) = \alpha(Y)$

$$\text{a } \alpha \text{ je } 1 + \frac{H}{K_4} + \frac{H^2}{K_4 K_3} + \dots$$

a K_3, K_4, \dots su konstante sukcesivne disocijacije ciklopen tan-diamin tetraoctene kiseline.

Primjenom gornjih jednadžbi na rezultate prikazane u tablici 2 dobivene su za $pH = 7.3$ vrijednosti koje su prikazane u tablici 3.

Tablica 3.

$$K_{MY} = \frac{(MY)}{(M)(Y)}$$

	EDTA	PDTA	DIMEDTA	CPDTA	CHDTA
$\log K_{CaY}^3$	7.71	8.07	5.67	8.1	8.19
$\log K_{SrY}^3$	5.64	6.08	3.72	6.5	5.98
$\log \frac{K_{CaY}^3}{K_{SrY}^3}$	2.07	1.99	1.95	1.6	2.21

Pregledom tablice 1 primjećuje se da je 1,2-ciklopentandiamin tetraoctena kiseline najslabija kiselina između svih analoga EDTA. Činjenicu da su $pK_1, pK_2, pK_3, i pK_4$ svi bez iznimke veći od istovrsnih vrijednosti ostalih analoga EDTA možemo protumačiti uticajem ciklopentanskog pratećeg na povećanje elektronegativnosti koliko sva četiri karboksilna ostatka, toliko i oba dušikova atoma. Naročito upada u oči relativno visoka vrijednost za pK_3 , jer je ovaj stepen disocijacije od presudnog značenja pri nastajanju helata, posebno helata zemnoalkalija.

Na osnovu gornjega moglo se očekivati da će helati 1,2-CPDTA s ionima zemnoalkalija, među koje spadaju i kalcij i stroncij bit. veoma stabilni.

U tablici 2 navedene su vrijednosti konstanta stabilnosti helata kalcija i stroncija s 1,2-CPDTA. Radi usporedjivanja navedeni su i rezultati prijašnjih vlastitih istraživanja kao i podatci Schwarzenbacha /33/ i suradnika. Iz te tablice vidljivo da su, kao što se to i očekivalo, konstante stabilnosti i za kalcij i za stroncij veoma visoke, i njihov međusobni odnos je veoma malen, prema našem saznanju manji od bilo koje helatogene supstancije koja je do sada-

objavljena u literaturi. Iako su obje ove činjenice još-
dosta daleko od idealnih zahtjeva koji su bili postavljene
ni u uvodnom dijelu ovog pregleda, ipak su one u vrlo dob-
rom skladu s principima koji su tamo bili izloženi.

Vrlo povoljan odnos stabilnosti helata kalcija i stroncij-
a u zajednici s veoma visokim apsolutnim vrijednostima u-
pada još više u oči, ako se izračunaju "efektivne" ili -
"prividne" konstante stabilnosti, kao što je to bilo uči-
njeno u ovom radu i prikazano u tablici 3.

Jasno je da je odnos stabilnosti kalcija i stroncija osta-
o isti kao i u tablici 2. To, naime, proizlazi iz defini-
cije "efektivne" konstante stabilnosti. Vidljivo je da je
razlika u apsolutnim vrijednostima između helata kalcija
i stroncija s 1,2-CPDTA s jedne strane i helata svih osta-
lih helatogenih supstancija prikazanih u tablicama 2 i 3-
s druge strane, još više izražena u tablici 3 /koja pred-
stavlja realnu situaciju u fiziološkim uvjetima / nego u -
tablici 2.

Literatura

1. Bouchard, C., Curie, P. and Balthazard, V., *Compt.rend. acad. sci.*, 138, 1904, 1384,
2. Gutzent, F., *Herlin, klin. Wochshr.*, 20, 1912, 933,
3. Peters, R.A., Stocken, L.A., and Thompson, R.H.S., *Nature*, 156, 1945, 601,
4. Waters, L.L., and Stock, C., *Science*, 102, 1945, 601,
5. Kety, S.S., and Letonoff, T.V., *Proc.Soc.Exptl.Biol. - Med.*, 46, 1941, 476,
6. Kety, S.S., *J. Biol. Chem.*, 142, 1942, 181,
7. Kety, S.S., and Letonoff, T.V., *Am. J. Med. Sci.*, 205, 1943, 406,
8. Dyckerhoff, H., Marx, R., Ludwig, H., *Z. ges.exptl. - Med.*, 110, 1942, 412,
9. Martell, A.E., and Calvin, M., *Chemistry of the Metal-Chelate Compounds*, /Prentice-Hall, Inc., New York, N.Y 613, pp., 1952/,
10. Rubin, M., Gignae, S., Bessman, S.P., and Belknap, E.L *Science*, 117, 1953, 659,
11. Painter, E., Russell, E., Prosser, E.L., Swift, M.N., - Kisieleski, W., and Sacher, G., *U.S. Atomic Energy Commission Document, AECD-2042 /Ms.dated 1946, declassified, 1948/*,
12. Schubert, J., *Science*, 105, 1957, 389,
13. Schubert, J., *J. Lab. Clin. Med.*, 34, 1949, 313,
14. Weikel, J., and Lorenz, E., *Radiology*, 51, 1948, 865,
15. Kavin, B., and Copp, D.H., *Proc. Soc. Exptl.Biol.Med.*, 84, 1953, 576,
16. Kavin, B., Copp, D.H., and Hamilton, J.B., *U.S. Atomic Energy Commission Document, UCRL-812, 1950*,
17. Scott, K.G., Crowley, J., and Foreman, H., *U.S. Atomic Energy Commission Document, UCRL-587, 1949*,
18. Foreman, H., *U.S. Atomic Energy Commission Document, - UCRL-683, 1950.*,
19. Foreman, H., and Hamilton, J.B., *U.S. Atomic Energy - Commission Document, AECD-3247, 1951*,
20. Bjerrum, J., Schwarzenbach, G. i Sillen, L.G., *Stabilit y Constant, Part.I, Organic Ligands, Chem. Soc.Spec. - Publ. No.6, London, 1957*,
21. Weber, O.A., *Istraživački izvještaj IMI-M-2, Zagreb - 1960*,
22. Aiken, J.K., *Chem. Ind.*, 17, 1956, 1334,
23. Bersworth, F.C., *A.E. Martel i sur., J. Org. Chem.*, 14, 1949, 355,
24. Ewans, R., *D. Phil. Thesis, Oxford, 1958*,
25. Dwyer, F.P. i sur., *J. Am. Chem.Soc.*, 81, 1959, 290 i - 2955,
26. Weber, O.A., *Istraživački izvještaj IMI-M-30, Zagreb, - 1961*,
27. Basolo, F., Chen. Y.T., and Murmann, R.K., *J. Am. Chen. Soc.* 76, 1954, 956,
28. *Org. Synth. Coll.*, Vol. II, str.264,
29. *Org. Synth. Coll.*, Vol. II, str.216,

30. Cope, A.C.N., J. Am. Chem. Soc., 73, 1951, 1203,
31. Weber, O.A., Paulić, N., Purec, L.J. i Simeonov, Vl.,
Istraživački izvještaj IMI-C-10, Zagreb, 1963.,
32. Paulić, N. i Weber, O.A., I. Jugoslovenski simpozij o-
radiološkoj zaštiti, Sadržaji saopćenja, 107, Portorož
1953,
33. Schwarzenbach, G. i sur., Helv. Chim. Acta, 30, 1947,-
1798, i 39, 1956, 722.

Usporedba dviju metoda za određivanje stroncija u biološkom materijalu

M. Blanuša

U posljednje vrijeme u svijetu vlada velik interes za proučavanjem ulaska radioaktivnih izotopa stroncija u organizam, a isto tako i za pronalaženjem mogućnosti njihove eliminacije. U vezi s određivanjem specifične aktivnosti ukazala se potreba za što tačnijim određivanjem njegovog stabilnog izotopa u različitim biološkim uzorcima. Za mjerenje tragova stroncija postoji više instrumentalnih metoda. To su: fotometrija plamena, apsorpciona spektrometrija, emisivna spektrometrija, spektrometrija pomoću X-zraka i aktivaciona analiza. Metoda fotometrije plamena je poželjna zbog njene relativno niske cijene. Međutim, tačno određivanje tragova stroncija u biološkom materijalu fotometrijom plamena otežano je zbog prisustva kalcija i drugih iona. Odnos Sr:Ca se u biološkim uzorcima kreće između 1:100 i 1:3000. Da bi se izbjegle te teškoće, stroncij se odjeljuje od kalcija i drugih interferirajućih iona. Mnoge metode separacije koje su opisane u literaturi mogu se svrstati uglavnom u četiri grupe. To su: (1) ekstrakcija kalcijevog nitrata iz smjese suhih nitrata pomoću nekog organskog otapala, (2) selektivna precipitacija, (3) ionska izmjena i (4) kromatografija.

U želji da što efikasnije odijelimo stroncij od kalcija i što tačnije odredimo stroncij na spektrometru plamena, odabrali smo i usporedili dvije metode separacije, nakon čega smo ga kvantitativno odredili na spektrometru plamena kodvalne dužine od 462 m μ (Harrison, 1958).

Jedan način separacije koji smo primijenili je metoda dimeće dušične kiseline (Willard, 1936; Sunderman, 1957). Ta metoda sastoji se u precipitaciji stroncijevog nitrata u hladnom mediju s dušičnom kiselinom određene koncentracije. Pod tim uvjetima stroncijev nitrat je, za razliku od kalcijevog nitrata, teško topiv talog. Da bi odredili najpovoljniju koncentraciju kiseline za taloženje, mi smo variranjem koncentracije dušične kiseline pratili gubitke stroncija i kalcija tokom separacije. Svaki uzorak smo obilježili radi aktivnim izotopima Ca 47 i Sr 85, te smo aktivitet nakon separacije izražavali u postocima s obzirom na početnu aktivnost uzorka (tablica 1).

Iz tablice se vidi da porastom koncentracije dušične kiseline padaju gubici stroncija, ali istovremeno se zajedno sa stroncijem taloži sve više kalcija. Našli smo da je mjeranje emisije stroncija na spektrometru plamena moguće ako

Tablica 1.

Odjeljivanje stroncija od kalcija dimećom dušičnom kiselinom

HNO ₃ %	Broj uzoraka	% Sr 85 u uzorku nakon odjeljivanja	% Ca 47 u uzorku nakon odjeljivanja
83	16	50.0 ± 5.9	3.2 ± 0.4
85	16	67.0 ± 6.3	13.7 ± 0.7
87	17	67.2 ± 6.5	8.4 ± 1.9
90	16	88.4 ± 1.9	42.2 ± 6.9

se separacija izvrši sa 90%-nom dušičnom kiselinom usprkos prisutnih 40% kalcija u uzorku, jer se separacijom odjeljuju i drugi ioni koji interferiraju. Minimalna količina stroncija u uzorku smije iznositi oko 500 ug, što se vidi iz tablice 2. Ispod te količine gubici stroncija naglo rastu.

Tablica 2.

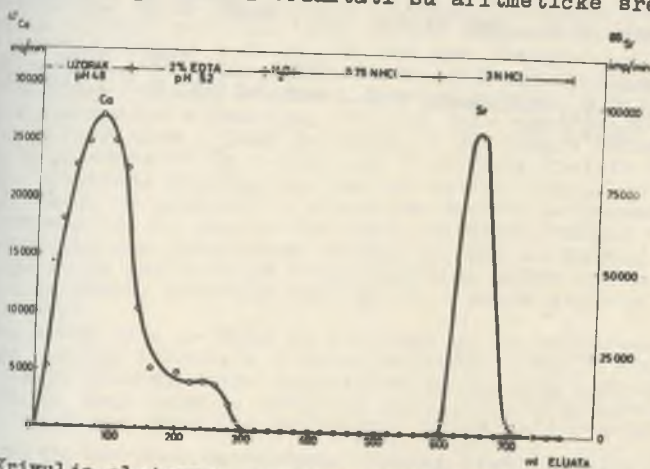
Separacija stroncija u uzorku hrane dimećom dušičnom kiselinom

Količina stroncija ug	Gubitak stroncija %	Broj paralelnih određivanja
294	71.85 ± 11.88	4
589	11.00 ± 1.10	10
1177	10.10 ± 3.60	4

Drugi način separacije koji smo primjenili je kromatografija na ionskom izmjenjivaču i to na kationskoj Dowex 50 smoli (Wade, 1961; Elfers, 1964). To je jedna od najnovijih metoda opisanih u literaturi, koja se sastoji u kompleksnom vezanju kalcija sa EDTA u uzorku i propuštanju kroz kolonu (slika 1). Pošto je stabilnost kompleksa kalcija i EDTA veća on prolazi kroz kolonu, a stroncij ostaje vezan na česticama smole. Ostatak kalcija se iz kolone ispiri sa 2%-nom EDTA, a magnezij i alkalni metali sa 0,75 N HCl. Stroncij se eluira sa 3 N HCl i sakuplja se frakcija od 120 ml. Ovu krivolju eluiranja dobili smo na taj način da smo

sakupljali svakih 20 ml eluata u kivete i mjerili aktivitet radioaktivnih izotopa Sr 85 i Ca 47, u scintilacijskom brojaču. Našli smo da gubici stroncija u samoj koloni tokom separacije iznose do 10%, a nakon uparavanja i prenošenja u odmjerne tikvice ti gubici mogu iznositi do 20%. Minimalna količina stroncija u uzorku za separaciju može biti mnogo niža nego kod taloženja dimećom dušičnom kiselinom. Ona ovisi samo o osjetljivosti spektrometra plamena i iznosi oko 50 ug. Promatrali smo gubitke stroncija separacijom na većem broju uzoraka i primijetili smo da se ne može uzeti srednja vrijednost gubitka od svih separacija, pa čak ni od svih separacija na istoj koloni, jer ti gubici jako variraju. Moguće je, međutim, markiranjem uzorka sa Sr-85 izračunati količinu izgubljenog stroncija, te tako korigirati rezultat dobiven mjerenjem na spektrometru plamena.

Obje metode tj. separaciju ionskom izmjenom i dimećom dušičnom kiselinom, primjenili smo na jednom uzorku štakorskog kostura i uzorku štakorske hrane. Rezultati su prikazani u tablici 3. Svaka separacija je ponovljena na istom uzorku deset puta, a prikazani rezultati su aritmetičke sredine i



Sl.1. Krivulja eluiranja za separaciju stroncija od kalcija

standardne pogreške dobivenih rezultata. U prvoj koloni - su rezultati dobiveni mjerenjem na spektrometru plamena, a u drugoj koloni rezultati korigirani za gubitak stroncija. Prosječno odstupanje aritmetičke sredine kod nekorigiranih rezultata iznosi do 20%, dok kod korigiranih rezultata se prelazi 6%.

Separacija stroncija dimećom dušičnom kiselinom i ionskom-
izmjenom

Način separacije	Vrsta uzorka	Koncentracija Sr u uzorku mg/100 ml	Korigirana koncentracija Sr u uzorku mg/100 ml
Dimeća du- šična kise- lina	Hrana	52.39 ± 0.89	59.50 ± 0.85
	Kostur	144.32 ± 9.23	178.15 ± 2.66
Ionska izmjena	Hrana	53.51 ± 0.74	62.11 ± 1.00
	Kostur	141.87 ± 6.32	177.02 ± 3.48

Literatura:

1. Harrison, G.E., Nature, 182, 1958, 792;
2. Willard, H.H., Goodspeed, E.W., Ind. Eng. Chem. Anal. 8, 1936, 414;
3. Sunderman, M.A., and Meinke W.W., Anal. Chem. 29, 1957, 1978;
4. Wade, M.A., Seim, H.J., Anal. Chem. 33, 1961, 793;
5. Elfers, L.A., Hallbach, P.F., and Velten, R.J., Anal.-, Chem. 36, 1964, 540.

Protektivno djelovanje fosfata i kalcija u hrani kod oralne kontaminaciju radioaktivnim stroncijem

S. Vojvodić, T. Maljković, K. Kostial

U sklopu problema interne dekontaminacije putevi ulaska radonuklida /specijalno radioaktivnog stroncija/ u organizam - predstavljaju značajan faktor u poduzimanju odgovarajućih - mjera u sprečavanju njegove inkorporacije u kosti. Po svojoj gradnji i funkciji probavni trakt u ljudi i životinja svakako predstavlja najčešće mjesto kontaminacije radioaktivnim stroncijem. Otuda je i razumljivo da su brojni istraživači - u sprečavanju apsorpcije iz probavnog trakta vidjeli put koji se nudi kao najefikasniji u zaštiti organizma od štetnih posljedica koje izaziva kontaminacija radioaktivnim stroncijem. Grupa američkih autora /Wasserman i Comar, 1960; Comar i Wasserman, 1964/ došla je do u svijetu opće priznatih rezultata koji ukazuju da povišeni sadržaj kalcija u hrani snižava skeletnu depoziciju oralno primljenog radioaktivnog stroncija za oko 40%. Nisu ništa manje značajni i rezultati - do kojih su došli Kostial i suradnici /1963/, a koji dokazuju da povišeni sadržaj fosfata u hrani sprječava apsorpciju ingestijom primljenog radioaktivnog stroncija, a time i njegovu skeletnu depoziciju takodjer za 40%. Pri tome treba imati u vidu da je za optimalni efekat povišenog sadržaja - kalcija u hrani potreban duži period adaptacije organizma - na povišeni kalcij i da se pri tom već postojeća diskriminacija prema stronciju u odnosu na kalcij pri apsorpciji zapravo smanjuje. Naime, povišeni sadržaj kalcija u hrani sprječava apsorpciju stroncija, ali još jače apsorpciju kalcija iz čega rezultira - kako je uočeno i od drugih autora - nepovoljniji odnos Sr/Ca u skeletu. U slučaju fosfata nije potrebna prethodna adaptacija, jer za njihov efekat je potrebno jedino da su prisutni u probavnom traktu istovremeno kalcij i radioaktivni stroncij. Pri tome povišeni fosfati selektivno sprječavaju apsorpciju stroncija, dok na kalcij neznatno utječu. To znači da je diskriminacija prema stronciju u odnosu na kalcij povećana tako da je i odnos Sr/Ca u skeletu povoljniji.

Svrha našeg rada je bila da ispitamo da li istovremeno povišenje kalcija i fosfata u hrani uvjetuje i bolji efekt u sprečavanju inkorporacije ingestijom primljenog radioaktivnog stroncija nego kada je povišena samo jedna komponenta, te kakvu ulogu pri tome ima međusobni odnos Ca i P u hrani. -

Pokusi su izvršeni na ženjkama bijelog štakora, starim 13 - 15 tjedana, a željeni nivo kalcija i fosfata postigli smo dodatkom normalnoj štakorskoj hrani odgovarajućih količina - CaCl_2 odnosno KH_2PO_4 . Životinje su bile kroz 6 dana na odgovarajućoj dijeti s tim da su u toku trećeg i četvrtog dana primale u vodi za piće radioaktivne izotope stroncija /Sr - 85/ i kalcija /Ca 45/. Nakon žrtvovanja u suvišku etera, di sekcijom su odstranjena meka tkiva i skeleti mineralizirani na 800 °C, te otopljeni u konc. solnoj kiselini. Aktivnost stroncija određena je u scintilacionom brojaču, a aktivnost

kalcija u planšetarnim uzorcima u GM brojaču s prozorom. -
 Raniji pokusi su utvrdili da se kod nepromijenjenog i norma-
 lnog sadržaja Ca u hrani /1%/ najbolji efekt postiže kad -
 su fosfati povišeni na 1.2% i da dalje povišenje fosfata ne
 vodi poboljšanju efekta. U tablici 1 su prikazani rezultati

Tablica 1.

Uticaj sadržaja kalcija i fosfata u hrani na skeletnu reten-
 ciju Sr 85 i Ca 45 pri oralnoj aplikaciji

Broj šta- kora	Hrana		Skeletna retencija			
	% Ca	% P	% doze nakon p.o. aplikacije			
			Sr 85	Ca 45	Sr 85/Ca 45	
7	2.4	0.5	5.56 ± 0.34	12.64 ± 0.76	0.440 ± 0.012	
8	2.4	0.8	5.16 ± 0.39	11.6 ± 0.63	0.446 ± 0.010	
9	2.4	1.2	4.85 ± 0.28	11.6 ± 0.51	0.364 ± 0.012	
8	2.5	1.6	3.22 ± 0.07	10.2 ± 0.39	0.318 ± 0.01	
8	2.4	2.0	2.84 ± 0.08	10.0 ± 0.26	0.283 ± 0.01	

u uvjetima kada je sadržaj kalcija visok /2.4%/, a sadržaj-
 fosfata povećavan od 0.5 do 2.0%. Na temelju ovih rezultata
 dolazimo do zaključka da u slučaju visokog sadržaja kalcija
 povišenje sadržaja fosfata i preko 1.2% rezultira u još bo-
 ljem efektu sniženja skeletne retencije. Kada je sadržaj ka-
 lcija 2.4%, a fosfata 2.0%, taj efekat je najizraženiji i -
 skeletna retencija stroncija smanjena je za oko 50%. Pri to-
 me se vidi i povoljniji odnos Sr/Ca u skeletu, jer su te vr-
 ijednosti tim manje što se sadržaj fosfata povisuje.
 Dosadašnji podaci o uticaju kalcija i fosfata na apsorpciju
 a time i skeletnu retenciju oralno primljenog radioaktivnog
 stroncija, dobiveni su promjenom sadržaja jednog ili drugog
 minerala. Svakako da se na taj način mijenja i njihov medju-
 sobni odnos u hrani. U tablici 2 su prikazani rezultati pod
 uvjetima promjene sadržaja kalcija i fosfata, a da je pri-
 tom njihov medjusobni odnos u hrani uvijek bio isti, tj.1.5.
 Unatoč konstantnom odnosu Ca i P u hrani, vidimo da je najb-
 olji efekt postignut kod životinja na hrani s visokim kalci-
 jem i visokim fosfatima. Retencija radioaktivnog stroncija-
 je tu za oko 4-5 puta niža nego kod onih s niskim kalcijem-
 i niskim fosfatima. Isto tako zaključujemo - na osnovu najp-
 ovoljnijeg odnosa Sr/Ca u skeletu - da su važne apsolutne -
 količine kalcija i fosfata, te da u granicama ispitivanih -
 koncentracija njihov medjusobni odnos u hrani nije važan.

Kako je već istaknuto, povišeni sadržaj kalcija u hrani spr-
 ečava apsorpciju stroncija, ali znatno jače apsorpciju kalc-
 ija, što dovodi do nepovoljnijeg odnosa Sr/Ca u skeletu. Me-
 djutim, kako ukupno apsorbirana količina kalcija ovisi ne-
 samo o procentu apsorpcije nego i o količini kalcija u hran-
 i, smatrali smo da će biti korisno prikazati odnos Sr/Ca u

Tablica 2.

Utjecaj omjera kalcija i fosfora u hrani na skeletnu retenciju Sr 85 i Ca 45 pri oralnoj kontaminaciji

Broj štaka	Hrana % Ca % P		Skeletna retencija			
			% doze nakon p.o. aplikacije			
			Sr 85		Ca 45	Sr 85/Ca 45
4	0.6	0.4	18.3 ± 3.2	44.1 ± 9.9	0.45 ± 0.07	
5	0.8	0.6	14.4 ± 3.9	41.2 ± 10.4	0.35 ± 0.02	
5	1.5	1.0	6.0 ± 2.1	19.5 ± 2.5	0.31 ± 0.01	
5	1.8	1.2	3.5 ± 0.4	12.5 ± 1.0	0.28 ± 0.01	

skeletu, ali korigiran na sadržaj kalcija u hrani. U tom slučaju, kako se vidi u tablici 3, te vrijednosti su tim povoljnije kako se podiže sadržaj kalcija i fosfata. Očito je da je ta vrijednost najpovoljnija kada je maksimalno povišen i sadržaj kalcija i sadržaj fosfata, i ona je oko tri puta niža nego u slučaju niskog kalcija i niskog fosfora. Potvrdu ovakvoj našoj tvrdnji našli smo u seriji pokusa, gdje smo znatno povišili kalcij i fosfate /3%/, što svakako prelazi fiziološke granice. U tom slučaju /kalcij i fosfor 3%/, vrijednost Sr/Ca u skeletu je 0.100, što je za oko 4-5 puta povoljnije nego u slučaju niskog kalcija i niskog fosfora.

Na temelju prikazanih rezultata izveli smo zaključak da povišenje fosfata u hrani ima izvjesnu prednost nad povišenjem sadržaja kalcija, jer fosfati selektivno sprječavaju apsorpciju iz probavnog trakta radioaktivnog stroncija, a da pri tome ne djeluju na apsorpciju kalcija. Medjutim, najbolji efekt sniženja skeletne retencije kod oralne kontaminacije radioaktivnim stroncijem postiže se istovremenim povišenjem sadržaja kalcija i fosfata. Nadalje, ovi rezultati upućuju na mogućnost praktične primjene, no za to bi svakako bilo potrebno ispitati da li eventualna dugotrajna primjena hranjive sa znatno povišenim fosfatima ne bi izazvala oštećenja i promjene u metabolizmu minerala. U svakom slučaju bilo bi korisno provjeriti ove rezultate na ljudima, jer je vrlo vjerojatno da postoje objektivne mogućnosti da se protektivno djelovanje povišenih fosfata i kalcija korisno upotrijebi u slučajevima oralne kontaminacije radioaktivnim stroncijem.

Tablica 3.

Omjer Sr 85/Ca 45 u skeletu štakora hranjenih dijetama s različitim sadržajem kalcija i fosfata u odnosu na Sr 85/Ca 45 u standardu - korigiran za sadržaj Ca u dijeti

$OR_{\text{skelet/standard}}$: Ca u hrani

Ca u dijeti %	Broj štakora	Sadržaj P u dijeti %				
		0.4	0.7	1.0	1.2	3.0
0.6	7	0.472 ± 0.009	0.410 ± 0.018	0.334 ± 0.014	0.341 ± 0.019	
0.9	7	0.351 ± 0.011	0.248 ± 0.009	0.273 ± 0.012	0.211 ± 0.007	
1.2	7	0.302 ± 0.012	0.281 ± 0.011	0.236 ± 0.018	0.186 ± 0.005	
1.5	7	0.283 ± 0.013	0.247 ± 0.008	0.208 ± 0.005	0.164 ± 0.004	
3.0	10					0.100 ± 0.002

Literatura:

Wasserman R.H., Comar C.L. /1960/ Proc. Soc. Exp. Biol.Med. 103, 124;

Comar C.L., Wasserman R.H. /1964/ Mineral metabolism, II A, C.L. Comar i F. Broner, Academic Press, New York, str. 523:

Kostial K. Lutkić A., Gruden N., Vojvodić S., G.E. Harrison /1963/ Intern. J. Radiation Biol. 6, 431.

Učinak laktacije na mobilizaciju radioaktivnog stroncija iz skeleta majki

A. Duraković, K. Kostial

Istraživanja o uticaju laktacije na sniženje skeletne retencije radioaktivnog stroncija, vršena u novije vrijeme od brojnih autora /Kulikova, 1960, Kriegel, Neumann, 1962; Kollmer i Kriegel, 1963a i 1963b, Kollmer i Kriegel, 1965/, pokazala su da ženke štakora u laktaciji imaju značajnu moć sniženja skeletne retencije radioaktivnog stroncija. Radiostroscij /Sr 90/ bio je u ovim pokusima apliciran jednokratnom intraperitonealnom injekcijom u različitim intervalima u odnosu na dan okoćenja.

U našim pokusima smo istraživali sniženje skeletne retencije radionuklida u toku prve faze laktacije /12 dana nakon okoćenja/, u stanju puerperija bez laktacije, a u različitim eksperimentalnim uslovima s obzirom na vrijeme inkorporacije radionuklida u skeletu. Pokusi su vršeni metodom dvostrukih obilježivača, primjenom radioaktivnog stroncija /Sr 85/ i kalcija /Ca 45/. Ovi su radionuklidi aplicirani u različitim vremenskim intervalima u odnosu na dan okoćenja. U pokusima u kojima smo ispitivali uticaj laktacije na skeletnu retenciju radioizotopa u uslovima oralne kontaminacije - pokusnih životinja u toku cijelog graviditeta životinje su primale otopinu radioaktivnih izotopa stroncija /Sr 85/ i kalcija /Ca 45/ od dana stavljanja u rasplod do dana okoćenja. Jednoj grupi ostavili smo mlade /čiji je broj bio reducirana 6 po leglu/ u toku laktacijskog perioda od 12 dana. Drugo j grupi oduzeli smo mlade na dan okoćenja i ova je grupa ostavljena u stanju puerperija bez laktacije kroz 12 dana. Treća, kontrolna grupa, bila je žrtvovana na dan partusa. Nakon što smo životinje žrtvovali, odredili smo radioaktivnost u mineraliziranim uzorcima ukupnih skeleta. Aktivnost Sr 85 određena je scintilacijskim brojačem Well type, a aktivnost Ca 45 određena je u Geiger-Müllerovom brojaču s prozorom.

Rezultati ovog pokusa koji su prikazani u tablici 1 pokazuju retenciju primjenjenih radioizotopa u postocima injicirane doze. Rezultati se medju sobom statistički ne razlikuju, što pokazuje da je uticaj laktacije, koji je bio opažen u pokusima citiranih autora, izostao u uslovima dugotrajne kontaminacije pokusnih životinja u toku graviditeta. Taj smo nalaz željeli ponovo ispitati na način da smo radioaktivne izotope stroncija /Sr 85/ i kalcija /Ca 45/ aplicirali na dan stavljanja u rasplod. Uporedo sa životinjama koje su stavljene u rasplod bila je uzeta i grupa kontrolnih virginelnih životinja. Nakon okoćenja jednoj su grupi ostavljeni mladi, dok su drugoj grupi mladi oduzeti na dan okoćenja. Treća grupa virginelnih ženki bila je praćena paralelno s ostalim dvjema grupama. Nakon što su 12 dana poslije okoćenja sve životinje žrtvovane, određena je radioaktivnost u mineraliziranim uzorcima ukupnih skeleta. Rezultati ovog pokusa, prikazani u tablici 2 potvrđuju naš raniji nalaz - da se u prvoj fazi laktacije ne mobiliziraju oni radionuklidi koji su ug

Tablica 1.

Skeletna retencija Sr 85 i Ca 45 dojilja, nedojilja i kontrolnih štakora kronično kontaminiranih u toku graviditeta - 12 dan nakon okoćenja

	Skeletne retencije		
	% doze nakon p.o. aplikacije		
	Dan okoćenja	12. dan nakon okoćenja	
nedojilje		dojilje	
Sr 85	3.57 ± 0.20	2.75 ± 0.19	2.96 ± 0.18
Ca 45	20.77 ± 1.86	19.50 ± 1.81	17.68 ± 1.13
Sr 85/Ca 45	0.18 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.17 ± 0.02

Sve su životinje primale Sr 85 /0.3 μ Ci/10 ml/ i Ca 45 - /0.2 μ Ci/10 ml/ u vodi za piće od dana stavljanja u rasplod do okoćenja /oko 24 dana/.

Rezultati su prikazani kao aritmetička sredina ± standardna-pogreška.

Tablica 2.

Aktivnost Sr 85 i Ca 45 u skeletu kontrolnih štakora, dojilja i nedojilja 12. dan nakon okoćenja. Životinje su primile - peritonealnu injekciju radionuklida 24 dana prije partusa. -

Grupa	Broj životinja	Skeletna retencija		
		% doze 12 dana nakon okoćenja		
		Sr 85	Ca 45	Sr 85/Ca 45
Kontrola	12	56.80 ± 1.15	36.67 ± 0.63	0.65 ± 0.01
Nedojilje	12	52.33 ± 2.16	34.49 ± 1.41	0.67 ± 0.04
Dojilje	12	58.42 ± 2.30	36.46 ± 2.01	0.62 ± 0.02

Rezultati su prikazani kao aritmetička sredina ± standardna-pogreška

radjeni u dublje dijelove skeleta.

U pokusima u kojima smo željeli ispitati utjecaj laktacije - na skeletnu retenciju radionuklida u uslovima jednokratne intraperitonealne aplikacije radionuklida na dan okoćenja primjenili smo radioaktivne izotope stroncija /Sr 85/ i kalcija /Ca 45/. U ovim pokusima bile su tri grupe životinja. Jedna grupa, kojoj su bili ostavljeni mladi, bila je u stanju laktacije u toku 12 dana. Drugoj grupi mladi su oduzeti na dan okoćenja. Treća, kontrolna grupa virginelnih ženki, primila je radioaktivne izotope paralelno s ostalim dvjema grupama, i ova je grupa žrtvovana 12 dana nakon injiciranja. Nakon što su životinje žrtvovane, određena je u pokusu, čiji su rezultati prikazani u tablici 3, radioaktivnost cijelog tijela životinja, obzirom na Sr 85. Mjerenja su vršena brojačem za cijelo tijelo, koji se sastoji od cirkularno smještenih GM cij

evi.

Tablica 3.

Aktivnost Sr 85 kontrolnih štakora, nedojilja, dojilja /i - njihovih legla/ 12. dan nakon intraperitonealne aplikacije - Sr 85 i Ca 45 na dan okećenja izraženo u broju impulsa u minuti /brojač za cijelo tijelo/

Grupa	Broj životinja	Sr 85 u tijelu štakora u imp/-min. 12 dana nakon i.p. aplikacije na dan okećenja
Kontrola	10	2402 ± 146
Nedojilje	11	1929 ± 110
Dojilje	10	1588 ± 84
Mladi /legla/ ⁺	10	435 ± 27

^x U svakom leglu 6 mladih

Rezultati ovog pokusa, koji prikazuju radioaktivnost cijelog tijela životinje u imp/min, pokazuju značajnu redukciju skeletne retencije radioaktivnog stroncija kod grupe dojilja u odnosu na kontrolnu grupu. Ovi podaci potvrđuju nalaze spomenutih autora o značajnoj redukciji skeletne retencije radiostroncija kod ženski štakora u laktaciji. Rezultati ovog pokusa pokazuju, međutim, i sniženu skeletnu retenciju radiostroncija i kod životinja koje su ostavljene u stanju puerperij a, a bez laktacije. Ako se aktivnostima dojilja pribroje radioaktivnosti njihovih mladih, dobiva se vrijednost sličn onoj koja je dobivena kod grupe nedojilja. Ovaj nalaz ukazuje na neke procese koji se zbivaju u organizmu ženke u puerperiju, koji neovisno o laktaciji utječu na sniženje skeletne retencije radioaktivnog stroncija.

Analiza mineraliziranih uzoraka skeleta potvrdila je nalaze koje smo dobili mjerenjem aktivnosti cijelog tijela pokusnih životinja. Aktivnost Sr 85 određivali smo u scintilacijskom brojaču. Ca 45 određivali smo GM brojačem s prozorom.

Rezultati ovih pokusa, koji su prikazani u tablici 4, potvrđili su nalaze o uticaju laktacije na sniženje skeletne retencije radionuklida kod ženki štakora u laktaciji, u uslovima jednokratne intraperitonealne aplikacije radionuklida na dan okećenja.

Ovim je pokusima takodjer potvrđen nalaz o uticaju puerperija na sniženje skeletne retencije radioaktivnog kalcija i stroncija. Razlika u skeletnoj retenciji između grupe dojilja i kontrolne grupe bila je statistički značajna, kako za kalcij $P < 0.001$, tako i za stroncij $P < 0.001$, kao i razlika između grupe nedojilja u usporedbi s kontrolnom grupom kalcij $P < 0.001$, kao i za stroncij $P < 0.01$.

Rezultati ovih pokusa pokazali su značajnu moć ženki štakora

Tablica 4.

Aktivnost Sr 85 i Ca 45 u skeletu kontrolnih štakora, nedojilja i dojilja 12 dana nakon okoćenja. Životinje su primile intraperitonealnu injekciju radionuklida na dan partusa

Grupa	Broj životinja	Skeletna retencija			
		% doze nakon 12 dana intraperitonealne aplikacije na dan okoćenja			
		Sr 85		Ca 45	
Kontrola	10	34.02 \pm 1.98	58.36 \pm 2.17	0.58 \pm 0.02	
Nedojilje	11	25.09 \pm 1.58	44.97 \pm 2.52	0.61 \pm 0.02	
Dojilje	10	21.47 \pm 1.06	35.30 \pm 2.69	0.66 \pm 0.02	

Rezultati su prikazani kao aritmetička sredina \pm standardna pogreška.

u laktaciji da reduciraju skeletnu retenciju radioaktivnog stroncija i kalcija, što je u skladu s nalazima ostalih autora. Manje, ali statistički značajno sniženje, skeletne retencije radiostroncija i radiokalcija primjetili smo kod životinja koje su se nalazile u stanju puerperija, što pokazuje da se u puerperiju neovisno o laktaciji zbivaju u organizmu neke promjene odgovorne za sniženje skeletne retencije radionuklida.

U pokusima u kojima su radioizotopi bili aplicirani u toku graviditeta ili na dan stavljanja životinja u rasplod i u kojima su radioizotopi imali mogućnost da se ugrade u duboke dijelove skeleta, u prvoj fazi laktacije nije došlo do mobilizacije radioaktivnog kalcija i stroncija iz skeleta.

Literatura:

1. Kulikova V.G. /1960/ Dokladi Akademii nauk SSSR, 131, - 1433;
2. Kriegel H., Neumann G.K. /1962/, Atompraxis, 8, 59;
3. Kollmer W.E., Krieger H. /1963a/, Internat. Journ. of Radiat. Biol., 7, 333;
4. Kollmer W.E., Kriegel H. /1963b/, Nature, 200, 187;
5. Kollmer W.E., Kriegel H. /1965/, Nature, 205, 196.

Uticaj kompleksana BAETA na eliminaciju Sr 90 iz organizma pacova

M. Jeremić

Eksperimentalni radovi pojedinih autora /1/ pokazali su da neki kompleksani, medju njima i 2:2-bis di-/karboximetil/ - amino-diethyl-etar ili BAETA, imaju znatan uticaj na smanjenje depozicije stroncijuma u koštanom tkivu, pri čemu se - ovo smanjenje u pojedinim eksperimentima kretalo i do 40%.-

Cilj našega eksperimenta bio je da ispitamo uticaj kompleksana BAETA na eliminaciju stroncijuma iz organizma i njegovo dejstvo u funkciji vremena proteklog od momenta kontaminacije.

Tok eksperimenta

Uzete su tri grupe od po sedam pacova roda Wistar, starih - pet mjeseci, tjelesne težine izmedju 310 i 425 grama, i sva kom pacovu ubrizgano je intramuskularno 50 mikrokirija Sr - 90 u formi stroncium -hlorida, bez nosača, u rastvoru HCl - 0,1 N. Stroncijum 90 i itrijum 90 u momentu ubrizgavanja bili su u stanju ravnoteže.

Prva grupa, kojoj je injiciran samo stroncijum, predstavlja la je kontrolnu grupu. Pacovima druge grupe injicirano je - intraperitonealno po 15 mg kompleksana BAETA 30 secundi poslije kontaminacije. Trećoj grupi BAETA je injiciran dva časa poslije kontaminacije. U toku eksperimenta sve tri grupe životinja bile su na normalnoj laboratorijskoj ishrani.

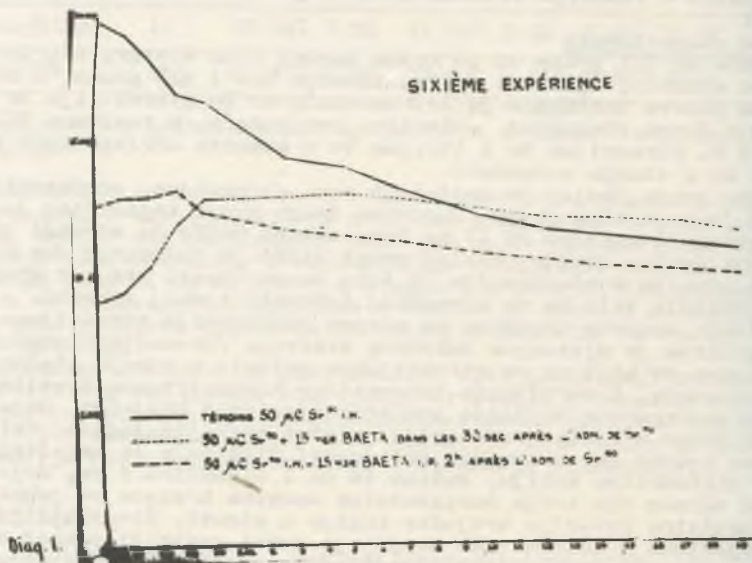
Efekat ovakvog tretmana na stepen eliminacije stroncijuma i spitivan je mjerenjem zakočnog zračenja /Bremsstrahlung/ it rijuma 90 koji se sa stroncijumom nalazio u stanju stalne - ravnoteže. U odredjenim intervalima kontaminirane životinje su podvrgavane brojanju pod scintilacionim brojačem, Detekt or ovoga brojača predstavlja kristal natrijum-jodida, velič ine 100x80 mm, aktiviran talijumom. Životinja je smještena - u cilindričnu kutiju, dužine 10 cm i dijametra 8 cm, koja - se okreće oko svoje horizontalne osovine brziinom od jedne - kompletne rotacije brojačke kutije u minuti. Životinja je - smještena u kutiju tako da joj je svaki znatniji pokret one mogućen. Na ovaj način su postignuta odredjena geometrijska zračenja koja u značajnoj mjeri smanjuje efekat varijacija - interne lokalizacije stroncijuma na tačnost mjerenja.

Prenošenjem na ordinatu milimetarske hartije vrijednosti ko je se zadržavaju u organizmu, a na apscisu vremena dobija - se kriva fiksacija stroncijuma u funkciji vremena.

Prednost ove metode nad klasičnom metodom je u tome što pru ža mogućnost preciznijeg praćenja evolucije kontaminacije - na živoj životinji, što klasičnom metodom nije bilo izvodl jivo. S druge strane, ova metoda je mnogo čistija, jer otpa - da potreba za svakodnevnim sakupljanjem urina i fecesa kon - taminiranih životinja.

Kod kontrolne grupe rezultati su, prema očekivanjima, pokazi vali konstantan pad radioaktivnosti, dok su se rezultati - kod tretiranih životinja bitno razlikovali od očekivanih. - Kod tretiranih životinja, naime, početni nivoi aktivnosti -

bili su za 54% odnosno 36% manji od kontrolne grupe, da bi zatim, u toku prva četiri dana, kod druge grupe došlo do naglog, a kod treće grupe do slabijeg porasta radioaktivnosti. Kod obje grupe između četvrtog i dvanaestog dana došlo je do postepenog neravnomjernog opadanja radioaktivnosti, da bi se zatim između sve tri posmatrane grupe uspostavio izvjestan paralelizam. Pad aktivnosti bio je najveći kod treće a najmanji kod druge grupe. Ovakva razlika u početnim aktivnostima između pojedinih grupama bila nam je nerazumljiva s obzirom da su stroncijum i itrijum, kao što smo naprijed naveli, prije kontaminacije bili u stanju ravnoteže.

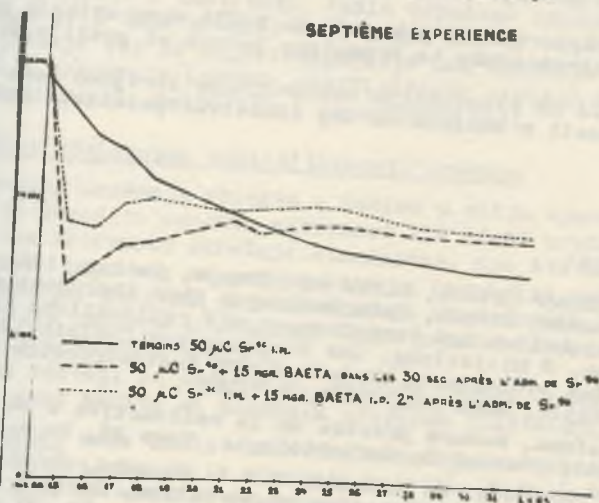


Naše objašnjenje za ovakvo ponašanje tretiranih životinja pretpostavljalo je mogućnost postojanja neke tehničke greške. Po našoj pretpostavci moglo je da dodje do prekida radioaktivne ravnoteže između stroncijuma i itrijuma uslijed vjerovatnog poremećaja pH hlorovodonične kiseline, što je omogućilo adsorpciju itrijuma za zidove suda u kome se nalazio rastvor stroncijum-hlorida kao i zidove "šprica" kojima je vršena aplikacija. Kao posljedica vezivanja itrijuma za zidove suda moglo je u početku da dodje do naglog pada aktivnosti injicirane solucije. Ovakvom pretpostavkom, međutim nije moguće objasniti zašto kod kontrolne grupe ne dolazi u opšte do prvobitnog naglog pada aktivnosti kao i zbog čega razlika u početnoj aktivnosti između druge i treće grupe iznosi blizu 17%.

Da bismo odgovorili na ovo pitanje, bilo je potrebno ponoviti prethodni eksperimentat pod istim uslovima. U izvodjenju-

- eksperimenta preduzete su sve potrebne mjere da bismo izbjegli mogućnost eventualne greške. Rastvor stroncijuma pripremljen je dva dana prije aplikacije, uz provjeru pH /pH=1/, dok je aktivnost svake životinje mjerena neposredno poslije kontaminacije. /U prethodnom eksperimentu razmak između kontaminacije i početka mjerenja iznosio je šest časova/. Dobijeni rezultati pokazali su slijedeće:
1. Početne aktivnosti sve tri grupe bile su jednake.
 2. Opadanje aktivnosti kod kontrolne grupe bilo je isto kao i u prethodnom eksperimentu i iznosilo je oko 7%.
 3. Kod druge grupe u toku prvog dana došlo je do naglog pada aktivnosti, što je iznosilo oko 53%, da bi zatim u toku slijedećih sedam dana došlo do postepenog porasta, a potom vrlo polaganog opadanja koje se odražavalo do kraja eksperimenta. Kod treće grupe situacija je bila gotovo ista, s tom razlikom što je opadanje aktivnosti kod ove grupe iznosilo oko 40% u odnosu na početnu aktivnost.
 4. Eliminacija stroncijuma bila je najizraženija kod kontrolne grupe.

SEPTIÈME EXPERIENCE



Diag 1.

Na osnovu izloženih činjenica može se zaključiti da su oba eksperimenta vodjena ispravno i da nastale promjene nisu bile uslovljene nekom tehničkom greškom, već su morale biti - uzrokovane sasvim drugim mehanizmom. Po našem mišljenju do poremećaja ravnoteže došlo je zbog vezivanja oslobodjenog itrijuma za BAETA, što je uslovalo nagli pad aktivnosti tretiranih životinja u toku prvog dana. Ponovni porast aktivnosti objašnjava se postepenim uspostavljanjem ravnoteže između stroncijuma i itrijuma. Poslije uspostavljanja ravnoteže dolazi do laganog pada kod sve tri grupe.

Zaključak

Naši eksperimentalni radovi koji se odnose na ispitivanje -stepena eliminacije radioaktivnog stroncijuma iz organizma-pacova poslije intraperitonealne aplikacije kompleksana BAETA pokazali su da ovo nema uticaja na eliminaciju stroncijuma, bilo da je sa tretmanom početo 30 sekundi poslije kontaminacije, bilo poslije dva časa.

Uticaj BAETA na eliminaciju oslobođenog itrijuma u slučaju kontaminacije stroncijumom nema praktične važnosti s obzirom na dug efektivni poluživot stroncijuma.

Rezime

U eksperimentu se prikazuje uticaj kompleksana BAETA /2:2 -bis di /karboximetil/-amino-dietyl-etar/ na eliminaciju stroncijuma 90 poslije parenteralne kontaminacije ovim izotopom.

Rezultati eksperimenta pokazuju da BAETA nema uticaja na eliminaciju stroncijuma iz organizma pacova ni poslije dva časa.

Uticaj BAETA na eliminaciju oslobođenog itrijuma nema praktične važnosti s obzirom na dug efektivni poluživot stroncijuma.

Literatura:

1. Aleksandar Catsch, Lično saopštenje, Saclay, 1962.,
2. Aleksandar Catsch, Untersuchungen über therapeutische -Moglichkeiten bei Vergiftungen mit radioaktiven Spaltprodukten, 5 Mitteilung: Der Einfluss von Chelatbildnern - auf das biologische Verhalten von Radiostrontium, Strahlentherapie, Band 108, Heft, 1, 1959.,
3. J. Lafuma, Mesure precise de la radioactive d un animal-vivant, Journal de Radiobiologie, Tome 43, No 6-7, 1962.,
4. G.E. Harrsson, E. Lumsden, W.H.A. Raymond, On the Mechanisms of Skeletal Fixation of Strontium, Parts I and II, - Archives of Biochemistry and Biophysics, 80, 97 - 113, 1 1959.
5. M.J. Guilloux et G. Michon, Etude de la cinetique de l - elimination du Strontium chez le rat, Rapport CEA, No - 767, fevrier, 1958.,
6. L.W. Tuttle, R.C. Baxter, M.Goldman, W.F. Bale, The Metabolism and Toxicology of Strontium 90 in the Rat., Rochester, New York, 1959, Unclassified.

Uređaj za mjerenje radioaktivnosti ljudskog tijela

Dj N Bek Źarav, Z. Đukić

Poznavanje cjelokupne radioaktivnosti sadržane u čovječjem tijelu ima danas najširi značaj. Dosadašnja izgradnja uređaja i razvoj metoda za mjerenja cjelokupne radioaktivnosti ljudskog tijela pokazuju da postoji već nekoliko smjerala: detekcija minimalnih količina radioaktivnosti, dijagnostika mjerenih dispozitiva, topografska mjerenja radioaktivnosti stanovništva i čitave grupe kontrolnih i rutinskih mjerenja.

Izgradnja ovog uređaja imala je vrlo određen cilj: dijagnostiku humane kontaminacije, koja je, s obzirom na profesionalne aktivnosti u Institutu, imala određene imperativne. - Zbog toga se u toku gradnje nije moglo ići na najbolje poznato rješenje već na najpristupačnije ono rješenje koje predstavlja kompromis između: osjetljivosti uređaja i postojedih kadrovskih, tehničkih i ekonomskih moći.

1. Analiza cjelokupne radioaktivnosti uređaja

Prije svakog unošenja objekta u kabinu u cilju mjerenja potrebno je odrediti osnovnu aktivnost ili "fon" uređaja. Ta se osnovna aktivnost određuje standardno, kao što se određuje i kod bilo kog drugog uređaja za detekciju radioaktivnog zračenja. Međutim, u ovom slučaju od interesa je da se porijeklo osnovne aktivnosti bliže proanalizira u zavisnosti od komponenata uređaja.

Uređaj se sastoji od detektora, vazduha između detektora i kabine i same kabine sa pomoćnim priborom (instalacije).

1.1. Detektor može imati visok fon zbog kontaminacije kristala ili materijala, koji okružuje kristal. Budući da je - detektor koji se koristi specijalno građen za ovu vrstu poslova, mora se pretpostaviti da je proizvođač o tome vodio računa. Detektor je, dakle, građen od materijala u kome je sadržana minimalna radioaktivnost. Stvarna, sopstvena radioaktivnost detektora ne može se kod nas odrediti ili mjeriti, već se određuje arbitrarno. No svakako, materijali od kojih se detektori izrađuju moraju biti mjereni. Njihova - radioaktivnost određuje poznatim metodama i tehnikama - mjerenja niskih aktivnosti.

Treba imati u vidu da je u pogledu čistoće cijelog uređaja najvažnija čistoća detektora, budući da se efikasnost detekcije, u zavisnosti od njegove kontaminacije, kreće od 50 pa skoro do 100%; dok se efikasnost detekcije objekata, koji se mjere kreće do oko 20%.

1.2. Vazduh u kabini mora biti osvježen, jer se pretpostavlja da boravak čovjeka u kabini pri mjerenju može trajati do pola časa. Količine prirodnih, a i vještačkih radioaktivnih izotopa u atmosferi su vrlo male. Prestankom nuklearnih eksplozija količine vještačkih radioaktivnih izotopa u atmosferi su zanemarljive. No, uprkos tome, predviđen je poseban ventilacioni sistem, koji filtrima zadržava najveći dio aerosola, koji donose radioaktivnost iz atmosfere. Sistem za ventilaciju snabdjeva svježim vazduhom dvije prostorije: onu sa kabinom i prostoriju do nje, onu u kojoj je smještena elektronska mjerna aparatura i komandni pult. Ovakvim sistemom ventilacije obezbjeđeni su optimalni uslovi čuvanja uređaja od kontaminacije iz atmosfere. Takvo rešenje ima još i to preimućstvo da može sačuvati uređaj i okolne prostorije od nagomilavanja radona, koga uvijek ima u podzemnim prostorijama, građevinskim materijalima, a naročito u nekim vrstama betona. Sistem za ventilaciju je takav, da bi se ugradnjom monitora mogao i automatski isključiti iz rada i zatvarati priliv vazduha u prostorije.

1.3. Kabina je građena od čelika sa zidovima i vratima debljine 200 mm, a ima slijedeće dimenzije: dužina 2420 mm, širina 1936 mm, visina 2400 mm. Dimenzije korisnog prostora kabine su: dužina 2020 mm, širina 1536 mm, visina 2000 mm.

Čelik od kojeg je kabina građena uzet je sa broda "Margaret" izgrađenog oko 1920. godine u Pensilvaniji (USA). Sa broda su isječene oplata gornje palube i komandnog mosta debljine od 10-15 mm raznih površina, od kojih su najveće bile preko 2500x2500 mm. Brod je dovučen iz grčkih teritorijalnih voda, gdje je ležao usidren u toku čitavog drugog svjetskog rata; a inače je malo korišćen zbog nekih kvarova na instalacijama. Ovi, kao i drugi podaci pribavljeni su iz "Lloyd"-ovog registra, u koji su, prema konvenciji, svi brodovi u svijetu registrovani. Odatle je takođe uzet i podatak, da je materijal od koga je brod građen porijeklom iz Pensilvanije. U konsultacijama sa geolozima (1) dobijen je podatak da ne postoji bojazan da je čelik prirodno kontaminiran. Kako brod nije trpio havarije ni popravke znači da čelične oplata nisu mjenjane. To je maksimalno povećalo vjerovatnoću da je čelik sa čitavog broda istorodan. Ipak je uzeto nekoliko proba radi kontrole i analize. Kontrola je vršena na komadima čeličnih ploča 100x100x10 mm, koji su stavljeni između dva scintilaciona detektora sa kristalima NaJ (Tl) dijametra 100 mm, a visine 60 mm. Relati

vni odnos nadenih specifičnih aktivnosti pokazao je da je radioaktivnost čelika sa broda u odnosu na uporedna mjerenja postojećih drugih čelika najniža. Time je i definitivno odlučena nabavka (oko 35 tona) čelika sa ovog broda. Iako su čelične ploče sječene prema našem zahtjevu, bilo je potrebno pristupiti i posebnoj adaptaciji pri konstrukciji kabine.

Osim posebnih zahtjeva za izradu konstrukcije kabine bio je pridodat još jedan zahtjev: kabina treba da bude tako konstruisana, da se relativno lako može rasklapati i transportovati na unaprijed određeno mjesto. Ovo je učinjeno da bi u slučaju eventualnih velikih nuklearnih akcidenata uređaj mogao poslužiti i van svoje stalne lokacije. Razumije se da bi se u takvim slučajevima uređaj morao locirati u nekom prirodnom zaklonu: pećine, rudnici, prokopi i sl. S druge strane, mogućnosti dobijanja jednog mobilnog uređaja za mjerenje radioaktivnosti ljudskog tijela izvanredno proširuju njegovu upotrebu i obogaćuju mogućnosti primjene. No to pitanje kao takvo ima poseban značaj, pa se mora odvojeno i tretirati.

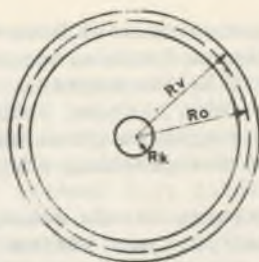
Radioaktivnost kabine je takođe faktor koji utiče na visinu fona, te se i njoj mora pokloniti odgovarajuća pažnja. Istina je da se radioaktivnost kabine detektuje sa najmanjim prostornim uglom, ali treba imati u vidu, da je količina korišćenog materijala nerazmjerno veća od svih ostalih ugadenih materijala (oko 35 tona), tako da i mali porast specifične aktivnosti materijala kabine (Ci/kg Fe) može znatno da poveća ukupnu osnovnu aktivnost - fon uređaja. Zbog toga je od interesa poznavanje totalne i specifične radioaktivnosti materijala kabine.

2. Proračuni geometrije kabine

Da bi se moglo doći do, makar i približnih rezultata totalne aktivnosti kabine, potrebno je obračunati približno geometriju kristal-kabina, čineći slijedeće aproksimacije:

- a) cjelokupne zapremine kristala i kabine aproksimiraju se na zapreminu sfera čiji su odnosi površina obrnuto proporcionalni sa prostornim uglom (zakon kvadrata rastojanja)
 - b) sopstvena radioaktivnost detektora kao i njegove okoline (vazduha) je toliko mala da se može zanemariti;
 - c) u izračunavanju radioaktivnosti kabine ići na maksimalnu vrijednost.
- Zamislimo da se cijela zapremina kabine smješta u sferu čiji je poluprečnik R_v .

Slika 1.



R_v — EKVALENTNI DIJAMETAR KABINE

R_0 — EKVALENTNI SREDNI DIJAMETAR KABINE

R_k — EKVALENTNI DIJAMETAR KRISTALA

Unutrašnji srednji poluprečnik te sfere neka je R_0 ; neka se kristal takode po svojoj zapremini može smjestiti u sferu čiji je poluprečnik R_k , onda se, kao što je poznato može napisati relacija:

$$\frac{R_k^2}{R_0^2} = k$$

koja karakteriše proporcionalnost sa prostornim uglom. U jednačini je za R_0 uzeto da je: $R_0 = R - \frac{d}{2}$ gdje je $\frac{d}{2}$ — poludebljina zida kabine. Ovi stavovi važe ako se ima u vidu da se pretpostavlja da se sva radioaktivnost kabine nalazi skoncentrisana u sredini — srednjem sloju u zidovima. Na kristal iz tog sloja pada samo 1/2 količine zračenja kabine, druga polovina odlazi na drugu stranu u prostor daleko od kristala. Zračenje se apsorbira na jednoj polovini-debljine zida prije nego što dospije do detektora. Kada se dva poluprečnika R_0 i R_k poklope, onda će zamišljeni sloj radioaktivnosti u potpunosti obaviti sferu detektora, pa bismo imali da je efikasnost (prostorna) detekcije 1/2 ili 2π . Za prostorni ugao u stereoradianima bismo mogli napisati slijedeći izraz:

$$\Omega \approx 2\pi k$$

Za relativnu prostornu efikasnost možemo pisati slijedeći izraz:

$$\epsilon_w \approx 0,5 k$$

Kod obračuna samoapsorpcije u materijalu kabine pogodno je uzeti da su srednje energije gama-kvanata najbliže radiju-

mu. Radium ostaje najvjerojatnije kontaminant materijala i okoline (zemlja, kamen, beton), pa i prirodnog čelika. Definitivno se dobija za debljinu ploče od 10 cm faktor - za apsorpciju (2) $f_{oa} = 20$.

Uzimajući u obzir sve što je rečeno, može se napisati da radioaktivnost kabine iznosi:

$$A_0 = 20 \cdot E_0 \cdot R_i$$

gdje je A_0 približna gama-radioaktivnost kabine mjerena integralno počev od energije "i", pri čemu je brzina brojanja $-R_i$.

Na ovaj način, može se reći, dobija se maksimizirana radioaktivnost kabine. Maksimiziranje je učinjeno još u obradnu geometrijske efikasnosti, a ono je još povećano i time što detektor ne detektuje gama-kvante samo iz zidova kabine, već i iz okolnih materijala. Glavni izvori zračenja koji povišavaju rezultate ovih mjerenja su: materijal detektora i sam detektor, vazduh, zemlja, zidovi i kosmičko zračenje.

Od svih faktora, koji povećavaju ovako mjerenu radioaktivnost kabine najuticajniji je faktor kontaminacije detektora, zatim faktori površinskih kontaminacija i kosmičko zračenje.

Izračunati podaci za ovu konstrukciju su slijedeći: poluprečnik ekvivalentne sfere kabine je

$$R_0 = 1292 \text{ cm}$$

- poluprečnik ekvivalentne sfere kristala je

$$R_k = 9,1 \text{ cm}$$

- srednja specifična aktivnost kabine je

$$A = 22 \text{ dez/e/kgFe.}$$

3. Mjerenje osnovnih parametara uređaja

3.1. Efekat zaštite korišćenog čelika. Sva mjerenja koja su ovdje izvedena izvršena su sa tehnikom jednokanalnog scintilacionog spektrometra. Korišćena je standardna domaća elektronska instrumentacija. Amplitudni analizator AA-3 dao je mogućnosti mjerenja diferencijalnih i integralnih spektara. Baždarenje spektrometra vršeno je u odnosu na foto-pik ¹³⁴Cs tako što je pojačavač na izlazu davao amplitude maksimalne energije na oko 80 V. Tako je na nivou od 12,1 V dobijen prag za detekciju od 100 keV-a, i te su vrijednosti gotovo redovno referisane. Gruba mjerenja integralnih spektara vršena su na nivoima 50, 100, 500 i -

3000 keV-a. Sve vrijednosti energetskih pragova diskriminacije date su približno. Ovo tim pre, što se sam scintilacioni detektor sastoji od 3 fotomultiplikatora, koji je dnovremeno gledaju kristal uslijed čega postoji rastura - nje vrijednosti.

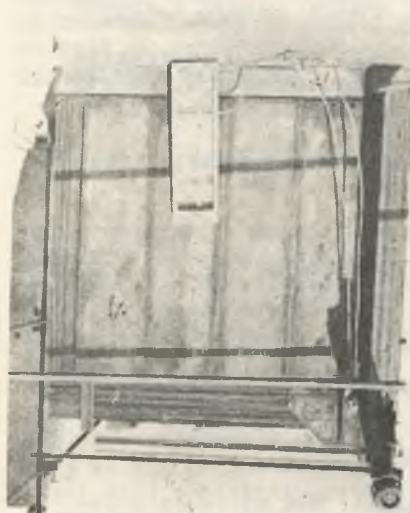
Za napajanje čitavog uređaja korišćen je mrežni stabilizator napona, čija je stabilnost bila bolja od 1%.

Bio je također korišćen 120-kanalni analizator sa kojim je snimljeno oko 25 spektara, od kojih će ovdje biti prikaza no samo dva.

Aparatura je bila unekoliko nestabilnija, naročito pri radu u otvorenoj atmosferi, što svakako dolazi od naglih temperaturskih promjena, koje su tu neminovne.

Montaža kabine bila je preliminarno izvršena na otvorenom prostoru kraj radionice Instituta (sl. 2 i sl.3).

Slika 2.



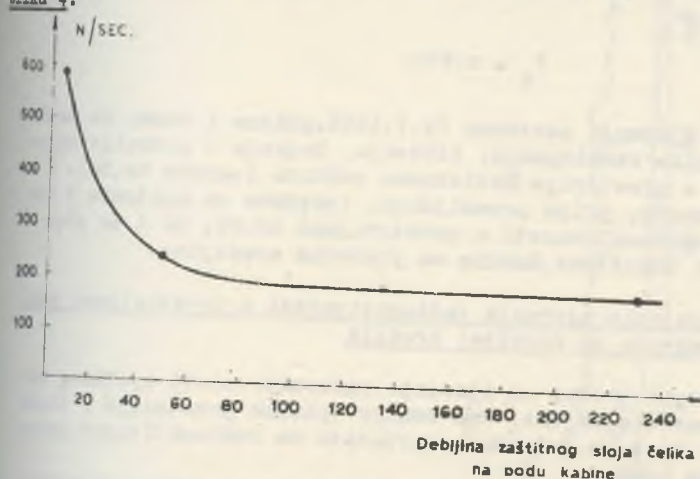
Slika 3.



Cjelokupna montaža izvedena je na čeličnoj ploči debljine 10 mm, tako da je kristal u kabini bio nezaštićen od radioaktivnosti iz zemlje. Primjećeno je da se fon detektora smanjuje kada se kristal podigne. Iz toga je zaključeno da kristal detektuje radioaktivnost, koja može biti deponovana samo na tlu ispod kabine. Odmah su učinjena gruba mjerenja potrebne debljine čeličnih ploča za zaštitu od zračenja iz tla. Promjena fona u zavisnosti od debljine čeličnog poda prikazana je na slici 4.

Vidi se da se debljina od 160 mm nalazi skoro na ravnom dijelu krive, tj. da dalje povećanje debljine poda ne doprinosi naročito opadanju fona uređaja.

Slika 4.



3.2. Mjerenja u toku montaže kabine. Sva mjerenja koja su, vratila da prethode definitivnom sklapanju kabine u području zgrade br.50 - Medicinska zaštita, bila su izvedena u otvorenom prostoru, gdje je kabina preliminarno bila sklopljena.

Rezultati, koji su dobijeni biće iskazani u brojevima impulsa u sekundi (brzina brojanja) i označavani sa - R. Po pravilu taj je broj korigirana brzina brojanja detektora.

Brzina brojanja u otvorenom prostoru u blizini kabine bila je

$$R_{iv} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ imp/s}$$

Brzina brojanja u kabini sa otvorenim vratima je

$$R_i = 3,10 \cdot 10^2 \text{ imp/s}$$

Brzina brojanja u kabini sa zatvorenim vratima je

$$R_{iz} = 2,10 \cdot 10^2 \text{ imp/s}$$

Da ove rezultate mjerenja statističke greške su bile manje od 1%. Međutim, nestabilna aparatura u otvorenom prostoru ne dopušta definisanje konačne greške, koja ipak ne može -

da bude (prema procjeni) veća od 5%.

Iz rezultata se vidi da zatvorena vrata imaju znatniji uticaj nego što se to na prvi pogled očekuje. Faktor korekcije koji se primjenjuje kod mjerenja sa otvorenim vratima kabine je

$$f_0 = 0,676$$

Ova su mjerenja završena 29.7.1965.godine i odmah se zatim pristupilo rasklapanju, čišćenju, bojenju i preseljavanju kabinine u prostorije Medicinske zaštite (zgrada br.50). U međuvremenu, prije preseljenja, izvršene su kontrole i mjerenja radioaktivnosti u prostorijama br.62, 61 i 60 gdje će biti smještena kabina sa pratećim uređajima.

3.3. Kontrola mjerenja radioaktivnosti u prostorijama namjenjenim za smještaj uređaja

Cjelokupni uređaj za mjerenje radioaktivnosti ljudskog tijela ima namjenjene, već ranije opisane prostorije i instalacije koje je potrebno provjeriti na radioaktivnost prije montaže kabine.

Kako je poznato postoje tri glavna izvora radioaktivnosti koji mogu da predstavljaju izvor smetnji:

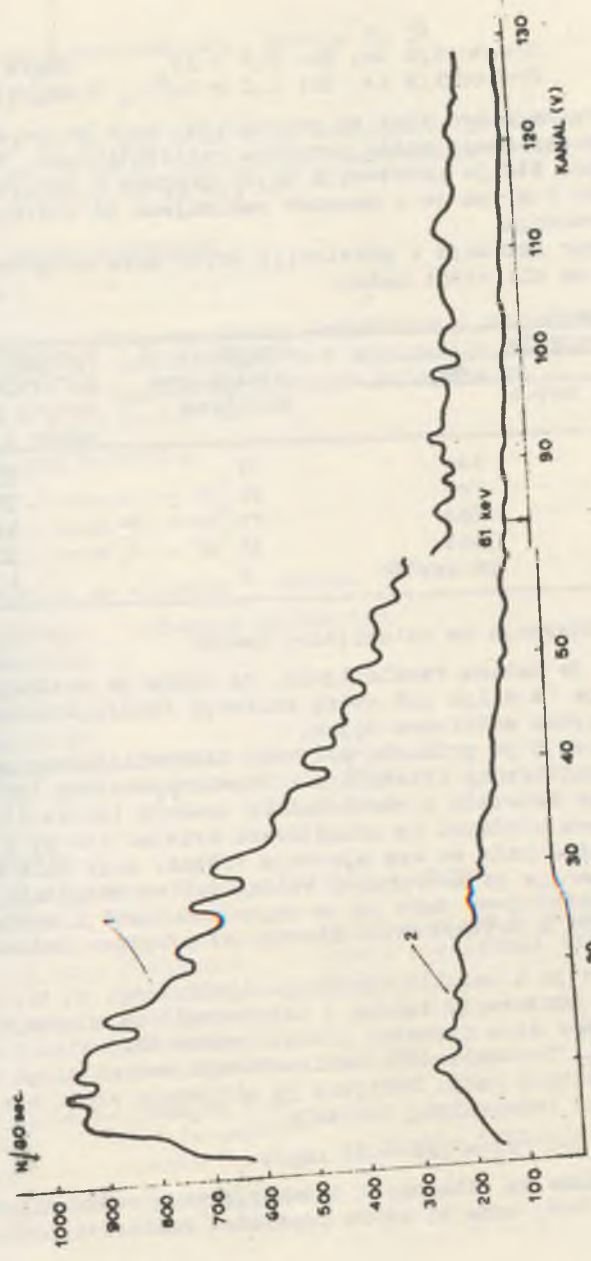
- radioaktivnost vazduha,
- radioaktivnost zidova i tla,
- spoljni izvori zračenja.

Radioaktivnost vazduha može da potiče od vještačkih radioizotopa iz atmosfere, o čemu je već bilo govora, i od gasnih produkata radijuma prisutnog u zemlji i betonu. Nešto veća količina radona mogla se očekivati iz betonske stope, koja je ukopana u zemlju prostorije br.62 kao nosač kabine. Nađeno je da je u prostoriji, koja je sedam dana bila zatvorena, bilo prisutno oko $0,45 \times 10^{-12}$ Ci/m alfa čestica. Ta količina se vrlo malo razlikuje od količina koje se takođe nalaze u okolnim prostorijama, pa zbog toga je i ona procijenjena kao prihvatljiva. Mjerenja su izvršena standardnom tehnikom: elektropozicije vazduha u protoku.

Radioaktivnost zidova i tla mjerena je opisanom scintilacionom sondom namjenjenom za uređaj za mjerenje radioaktivnosti ljudskog tijela. Kristal je postavljen u centar prostorije br.61, pa su nađene slijedeće vrijednosti za brzine brojanja gama-kvanata u opsegu od 100 keV-a do iznad 3 MeV-a

Prostorija br. 62: $8,5 \times 10^{-4}$ imp/e

Slika 5.



Prostorija br. 61: $9,2 \times 10^2$ imp/s
 Prostorija br. 60: $1,1 \times 10^3$ imp/s

Ođavde se dobro vidi da prostorije, koje se nalaze dalje - od kabine imaju nešto povećanu radioaktivnost. To se tumači time što je prostorija br.61 ukopana u zemlju na dubini od oko 2 m, pa je u mnogome zaklonjena od površinskih izvora zračenja.

Spektar zračenja u prostoriji br.62 može se grubo predstaviti na slijedeći način:

Tabela 1.

Energije		Procenat od cjelokupne količine	Integralna brzina brojanja od donjeg praga do preko 3 MeV-a
od	do		
keV-i			
50	100	7	835
100	200	28	770
200	600	27	536
600	3000	35	311
3000	pa naviše	1	6,5

3.4. Mjerenja na sklopljenoj kabini

Pošto je kabina rasklopljena, sa ploča je sastrugana brodska boja (u cilju još većeg sniženja fona), a zatim su ploče obojene zaštitnom bojom.

Na slici 5 je prikazan grafikon diferencijalnog gama-spektara nezaštićenog kristala u otvorenom prostoru (kriva 1), i spektar kristala u samoj kabini uređaja (kriva 2). Snižavanje fona u odnosu na nezaštićeni kristal ide do 9 puta.

U vremenu kada su ova mjerenja vršena, nije bila montirana instalacija za zatvaranje vrata, već se rezultati računaju ekstrapolacijom, tako da se mogu očekivati i nešto bolji rezultati u definitivnim mjerjenjima prilikom baždarenja uređaja.

Učinjeno je i nekoliko mjerjenja ljudi, koji su bili angažovani na montiranju kabine i učestvovali na mjerjenjima, a koji inače nisu direktno profesionalno eksponirani ozračivanju ili kontaminaciji radioaktivnim materijalima tokom svog redovnog rada. Dobijena je slijedeća srednja vrijednost brzine integralnog brojanja

$$R_1 = (26 \pm 2) \text{ imp/s}$$

Ako se uzme da efikasnost detekcije nema veću vrijednost - od $\xi_w = 20\%$, onda bi se za prosječnu radioaktivnost, sadrž

anu u tijelima mjerenih ljudi, dobilo da je

$$\bar{A}_x = 3,5 \text{ mCi}$$

Razumljivo je da se ovdje ne može definisati greška mjere nja sve dok se ne učini definitivno baždarenje uređaja, - no, može se procjeniti na oko 10%.

4. Osnovni podaci o uređaju

4.1. Metode

4.1.1. Tehnika: metoda sa jednim detektorom i stolicom

4.1.2. Geometrija: hod kristala duž kabine 1,9 m
podešavanje visine kristala od
10-100 cm

Ugao ose kristala:

sa z - osom $\alpha = 45^\circ$

sa y - osom $\beta = 45^\circ$

sa x - osom $\gamma = 90^\circ$

4.2. Prostorija za mjerenje - kabina

4.2.1. Smještaj: podzemna prostorija

4.2.2. Nadmorska
visina: 90 m

4.2.3. Unutrašnje
dimenzije
prostorije: dužina L = 4,42 m
širina W = 3,68 m
visina H = 3,00 m

4.2.4. Zaštita

4.2.4.1. Materijal: čelik i olovo

4.2.4.2. Oblik materijala:

4.2.4.3. Porijeklo materijala: čelične ploče i cigle.
stari - odležani brodski
čelik

4.2.4.4. Debljina zaštitnog materijala: 200 mm

4.2.4.5. Tehnika čišćenja materijala: mehaničko čišćenje

4.2.4.6. Specijalna zaštita: nema

4.2.4.7. Unutrašnja
obrada ka-
bine:

PVC tapeti

4.2.4.8. Ulaz u kabinu: dvokrilna viseća vrata

4.2.5. Druge vrste zaštite

4.2.5.1. Materijal: Zemlja i zidovi zgrade
(kabina je pod nivoom
zemlje 2 m)

4.2.6. Ventilacioni sistem: Sve prostorije uređaja
ventilirane su specijal-
nom ventilacijom

4.2.7. Grejni sistem: prirodna i vještačka cirkula
cija kroz ventilacioni sistem

4.2.8. Antiklaustrofobne
instalacije: privremeno nema

4.3. Detekcioni sistem

4.3.1. Broj detektora:

jedan

4.3.2. Materijal:

NaJ (Tl) 3,14 lit.

4.3.3. Oblik:

cilindar \varnothing 200x100 mm (upako-
van NaJ (Tl) monokristal)

4.3.4. Zaštita:

nema

4.3.5. Pakovanje:

originalno od proizvođača
(Harshow)

4.3.6. Fotomultiplikatori: tri - RCA

4.3.7. Magnetna zaštita:

Mu-metal originalno od proiz-
vođača

Zaključak

Iz naprijed iznjetih rezultata može se vidjeti da uređaj -
po svojim karakteristikama ima sve kvalitete, koje imaju i
odgovarajući uređaji u inostranstvu, s tim što kod ovog -
uređaja postoji i niz rješenja, koja pružaju specifična -
preimućstva. To su slijedeća:

- relativna mobilnost uređaja
- mogućnosti za mjerenje topografije zračenja ljudskog ti-
jela
- indikacija mjesta maksimalnog zračenja lociranog u ljuds
kom tijelu
- lake mogućnosti adaptacije uređaja za fizička mjerenja -
(mjerenja kosmičkih zračenja - teleskopski brojači i sl)

- do sada najniže poznata cijena gradnje uz maksimalnu upotrebu domaćeg materijala,
- relativno nizak integralni fon,
- Negativne strane ovog uređaja bi bile slijedeće:
- sporiji način manipulacije u prilazu kod mjerenja,
- nedostatak većeg broja kristala-detektora,
- neriješeno pitanje antiklaustrofobije

Literatura

1. S. Gojković, geolog, Institut za geološka istraživanja-SRS privatna informacija,
2. Gusev, N.G., Kovalsv, E.E., Nomogrami dija rasčlota od-gamma lučei Ra, Co , Cs i Ir .
3. Bek-Uzarov Dj., Djukić Z., Elaborat po ugovornom zadatku 24.3.116, IBK, Vinča, 1963.
4. I.A.E.A. Directory of Whole-Body Radioactivity Monitors Vienna, 1964.

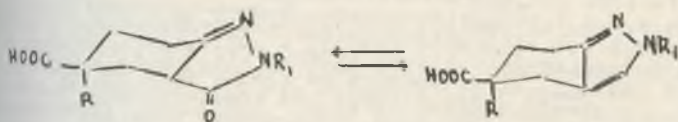
Višestruka primjena indazolon-karbonskih kiselina s posebnim osvrtom na sekvestiranje zemno-alkalijskih metala

V. Škarić, V. Turjak-Zebić, L. Stuhne, Đ. Škarić

Opisana su svojstva i sinteze indazolon-karbonskih kiselina I-VI. 4,5,6,7,-tetrahydroindazol-3-on-5,5-dikarbonska kiselina /IV, HIDA/ otkriva izvanredne sklonosti da stvara komplekse. Izložene su konstante disocijacije 2-fenil-4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-on-5,5-dikarbonske kiseline /III, FIDA/ i njihove konstante stabilnosti sa zemno-alkalijskim metalima. Vrlo slične vrijednosti za K_{ML} i $K_{ML}^{1/2}$ govore o vrlo značajnoj aspektu interakcije FIDA-e i zemno-alkalijskih metala. Dikarbonske kiseline FIDA i HIDA pokazuju izvanredna svojstva kao reagensi kod odvajanja barija od stroncija. Diamonijska sol HIDA-ove odvajanje pravi vrlo jednostavnim. FIDA je ujedno testirana na toksičnost, te daje povoljne vrijednosti za letalnošću. Time je primjena indazolona u farmaceutskoj industriji i sekvestiranju radionuklida iz bioloških materijala otvorena.

Da bi se ocjenili relativni efekti funkcionalnih grupa u molekulama indazolona karbonskih kiselina, pripravljena je 4,5,6,7,-tetrahydroindazol-3-on-4-karbonska IX i 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-on-7-karbonska XII. Isto tako se prišlo sterički kontroliranoj sintezi cikloheksilamina, posebno iz dietilnog estera FIDA-e. Kod toga je utvrđeno da cikloheksilamini supstituirani u prstenu imaju dvostruko značenje kao amino-kiseline, posebno kao sredstva za sekvestiranje metala i sinteze stereoizomernih N,N-dioctenih kiselina i 3-azabicykličkih nonana.

U nizu indazolona-karbonskih kiselina I-VI^{1,2,3} pripremljeni su u našem laboratoriju 2-fenil-4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-on-5,5-dikarbonska /III, FIDA/ i 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-on-5,5-dikarbonska kiselina /IV, HIDA/ zauzimaju posebno mjesto. Dosadašnje ispitivanje takovih kiselina indicira širu mogućnost primjene u separacijama radionuklida i sintezama mogućih farmaceutskih preparata, posebno kao sredstva za sekvestiranje.



- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| I. R = H, R ₁ = Ph | IV. R = COOH, R ₁ = H |
| II. R = R ₁ = H | V. R = CN, R ₁ = Ph |
| III. R = COOH, R ₁ = Ph | VI. R = CN, R ₁ = H |

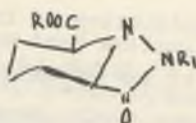
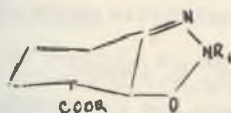
FIDA /III/ je ispitana kod separacije zemno-alkalijskih metala. Do sada dobiveni podaci pokazuju da je korištenjem FIDA moguća kvantitativna separacija barija u smjesi sa stroncijem i to taloženjem. Pored toga, FIDA u kompleksima sa kalijem

cijem, stroncijem i barijem daje konstante stabilneta isto g reda veličine /lo g K = 4.8; lo g K = 4.5; lo g K = 4.6/. S obzirom na određenu netoksičnost /LD = 3.48 ± 0.1 g/kg/, podaci o konstantama stabilneta daju FIDA niz predn osti kod sekvestiranja stroncija iz fizioloških sistema. Ka o što je poznato, etilendiamintetraoctena kiselina /EDTA/ - sa stostrukom jačinom kompleksira kalcij u odnosu na stronc ij, što kod separacije stroncija iz bioloških sistema donos i vrlo nepovoljan tok, a ponekad i nepoželjno potpuno uklan janje kalcija.

U daljnjem studiju indazolon-karbonskih kiselina pogodnih - za stvaranje kompleksa sa zemno-alkalijskim metalima prired jena je HIDA /IV/. Takva tvar bez fenilne skupine ima bolju topivost i prema očekivanju mnogo manju toksičnost. Sama pr eparacija, međjutim, zahtijeva niz zahvata posebno kod izol acije. Nadjen je način da takva preparacija i izolacija sli jedi u vrlo dobrom iskorištenju preko diamonijske soli. Sam a diamonijska sol pokazuje izvanredna svojstva kod taloženj a i separacije barija u smjesi sa stroncijem. Dok upotreba- FIDA zahtijeva podešavanje pH i to u određenoj smjesi otap ala, diamonijska sol HIDA omogućava direktno taloženje i iz olaciju barija.

Kemija i stereokemija indazolon-karbonskih kiselina svraća- pozornost cikličkom strukturom i određenim konformacijama. Kod takvih smo molekula, naime, mogli predvidjeti konformac iju pojedinih funkcionalnih grupa, kao i njihove međusobne udaljenosti. Ista predviđanja i izračunavanja udaljenosti- nisu, međjutim, moguća kod EDTA koja se pruža u lancu i daj e vrlo fleksibilne odnose funkcija unutar molekule. Kod ind azolona i njegovih derivata smo u stanju da moguće dvojbeno sti u poredjenju funkcionalnih grupa konformacijskom analiz om riješimo i utvrdimo njihovo mjesto u prostoru. Sve je to pak služilo razradi naše postavke da veličine jonskih radij usa zemno-alkalijskih metala, s jedne strane, i podešavanje stereokemijskih značajki indazolon-karbonskih kiselina, s d ruge strane, otvara mogućnosti kod kvantitativnih separacij a kalcija i stroncija. Priprava indazolon-karbonskih kiselina i derivata cikloheksilamina slijedi tu liniju.

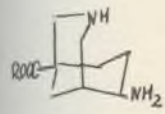
Naročitu pažnju smo obratili rasporedu karboksilnih skupina kao i njihovom uticaju na ostali dio molekule, a posebno na- heterociklički dio tetrahidroindazolona. U tu svrhu priprav ljena je 4,5,6,7-tetrahidroindazol-3-on-4-karbonska kiselina /IX/ i 4,5,6,7-tetrahidroindazol-3-on-7-karbonska kiselina /XII/, odgovarajući etilni esteri VIII i XI, te 2-fenil-derivati VII i X. Takvi spojevi su ujedno dali određeniji- odgovor o značenju enolnih formi kod kompleksiranja zemno -alkalijskih metala indazolona. Dikarbonske kiseline FIDA /I /III/ i HIDA /IV/ sa aksialnom skupinom omogućava kompleksi ranje kod pH kojeg imamo u fiziološkim sistemima. Indazolon -monokarbonske kiseline IX i XII u tom području ne kompleks iraju, da bi kod viših pH pokazali jednoznačnu kompleksibil nost, a predvidio i selektivnost. Naime, proučavanje selek tivnosti upotrijebljenih sredstava pod određenim uvjetima, a kod separacije smjese metala, daljnja je svrha našeg rada



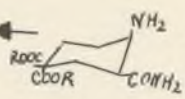
- VII: R = Et, R₁ = Ph X. R = Et, R₁ = Ph
 VIII. R = Et, R₁ = H XI. R = Et, R₁ = H
 IX. R = R₁ = H XII. R = R₁ = H

◊ selektivnosti indazolon-karbonskih kiselina prema raznim metalima već sada možemo kazati da se prema pojedinim metalima kod određenih pH jednoznačnije odnose nego što je to slučaj kod EDTA. Tako, na primjer preliminarno proučavanje mogućnosti selektivnog uklanjanja cinka /Zn 65 / iz morske vode pomoću dinatrijske soli HIDA otkriva stvaranje kompleksa. Pod istim okolnostima dinatrijska sol EDTA ne kompleksira. Eksperimenti su bili povezani pokušajem sekvestiranja metala u bezkralježnjacima. Potrebna mjerenja su vršena na pulenom polarografu.

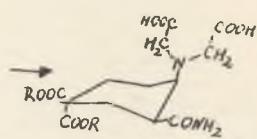
Derivati cikloheksilamina, dobiveni reduktivnim otvaranjem heterocikličkog dijela indazolona 1,3, dozvoljavaju daljnje studije oko uticaja konformacije na selektivno kompleksiranje metala. Konformacijskom analizom 2-karboksamid-4,4-dikarbetski-cikloheksilamina /XIII, R = Et/ određene su međusobne udaljenosti funkcionalnih grupa, pa je i tu moguće pratiti uticaj veličine prstena helatnih sistema na selekciju i konsekventnu separaciju metala. Cikloheksilamin, pored toga, služi kako kod priprava stereoisomernih N,N -diocetnih kiselina XIV, tako i sinteze 3-azabicyklo /3,3,1/-nonana XV.



XV.



XIII.



XIV.

Mogućnost priprave azabicykličkih sistema iz indazolona otvara dodatne perspektive u širokoj primjeni ovih spojeva. Tako priprava dozvoljava pristup sintezi određenih klasa alkaloida, a posebno njihovim esencijalnim fragmentima. Netoksičnost indazolona, pored gore navedenih podataka, dozvoljava njihovu primjenu kao farmaceutskih preparata, posebno kod separacije radionuklida iz morske vode i bioloških materijala.

Manifold Application of Indazolone Carboxylic Acids. Sequestration of Alkaline Earth Metals

V. Škarić, V. Turjak-Zebić, L. Stuhne, D. Škarić

2-Phenyl-4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-one-5,5-dicarboxylic acid /III, FIDA/ and 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-one-5,5-dicarboxylic acid /IV, HIDA/ showed exceptional properties that indicated complexing tendencies of these compounds. The dissociation constants of FIDA /III/ and its stability constants with alkaline earth ions /K / are reported. Very close values of the K and K are the most striking aspects of FIDA alkaline earth metal interactions. In addition FIDA /III/ and HIDA /IV/ were shown to be excellent reagents for the separation of barium from strontium.

The "up and down" method was adopted to test the toxicity of FIDA. The lethal dose /LD = 3.48 ± 0.1 g/kg/, indicated the significance and possible biological application of these compounds for sequestering of metals.

In order to estimate the relative effects of functional groups in the molecule of indazolone carboxylic acids it was convenient to prepare 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-one-4-carboxylic acid IX and 4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-one-7-carboxylic acid XII.

The indazolone carboxylic acids were shown to be useful for sterically controlled synthesis of cyclohexylamines. The conformational analysis of 2-carboxamide-4,4-dicarbethoxy-cyclohexylamine /XIII/ provided the evidence for the stereospecific reductive opening of diethyl-4,5,6,7-tetrahydroindazol-1-3-one-5,5-dicarboxylate. Ring substituted cyclohexylamine so obtained has twofold significance as amino acid.

It adds to the searching of metal sequestering reagents having deduced conformational feature and at the same time serve for syntheses of stereoisomeric N,N-diacetic acid of cyclohexylamine XIV and 3-azabicyclo-nonane XV.

Literatura:

1. D. Škarić, V. Škarić, V. Turjak-Zebić, Z. Veksli, 2-Phenyl-4,5,6,7-tetrahydroindazol-3-one-carboxylic Acids. I. Synthesis and Properties, Croat. Chem. Acta 34, /1962/, -75:
2. D. Škarić, V. Škarić, V. Turjak-Zebić, 4.5.6.7-Tetrahydroindazol-3-one Carboxylic Acids.II. Reductive Cleavage - to Ring Substituted 2-Carboxamide Cyclohexylamine, Croat Chem. Acta, 35 /1963/, 143:
3. D. Škarić, V. Škarić, V. Turjak-Zebić, 4,5,6,7-Tetrahydroindazol-3-one Carboxylic Acids. III. Reductive Cleavage-Related to Conformational Analysis of 2-Carboxamide-4,4-dicarbethoxy-cyclohexylamine, Croat. Chem. Acta, 35, - /1963/, 267:
4. V. Škarić, V. Turjak-Zebić, M. Branica, D. Škarić, 4,5,6 7-Tetrahydroindazol-3-one Carboxylic Acids.IV. Acid Dissociation Constants and Complex Formation with Calcium, Strontium and Barium, Croat. Chem. Acta, 36, /1964/, 221.

Kontaminacija radijumom, radonom i njegovim potomcima u rudnicima urana

M. Međedović, D. Panov, M. Vukotić, P. Raičević, D. Hajduković

U rudnicima urana najznačajniji faktori kontaminacije su radon i njegovi potomci Ra 226 i uran.

Kontaminacija radne okoline radonom, njegovim potomcima i - radioaktivnom prašinom zavisi od mnogo faktora: prije svega od bogastva rude uranom, zatim geološkog sastava zemljišta, načina eksploatacije rude /vodeno bušenje ili suvo/, ventilacije, atmosferskih prilika i dr.

Kontaminacija radne okoline

U našim rudnicima urana koncentracije pojedinih kontaminanata prikazane su na grafikonima /1, 1a, 2, 2a/ i u tabeli 1/



Radon i dugoživeći radionukleidi određivani su metodom J.-Pradela. Na grafikonu 1 možemo vidjeti da se koncentracije radona kreću i do 10^{-9} Ci/l vazduha, dok su koncentracije dugoživećih radionukleida u prašini bile samo na tri otkopa iznad MDK /graf. 2, 2a/. Iz tabele 1 se vidi da su se koncentracije radijuma 226 kretale do $2,1 \times 10^{-10}$ Ci/g prašine.-

Kontaminacija radnika

Radnici u rudnicima urana izloženi su radioaktivnoj kontaminaciji i to kako eksternoj /koja je u našim uslovima zanemarljiva/, tako i internoj.

Eksterna kontaminacija

Eksterna kontaminacija kože ima značaja samo ako se radi sa bogatom rudom i u uslovima visoke koncentracije radona, kada se javljaju ogromne količine raspadnih produkata koji kontaminiraju odjeću i kožu.

Pri sadržaju u rudi 1% urana u ravnoteži sa svim njegovim produktima raspada u mg rude svakog minuta dešavaju se 60 alfa i 30 beta-raspada /2/. U ovim uslovima već pri koncentraciji od 2,5 mg rude na 150 cm² na površini ruku prešle bi se MDK za alfa-čestice, dok su za beta-čestice potrebne 100-133 puta veće količine rudnog materijala.

U slučajevima loših sanitarno-higijenskih uslova kontaminacija površina kože može i do 20 puta prelaziti MDK.

U našim uslovima, gdje je bogatstvo rude ispod 1% urana u rudi, zanemarljiva je kontaminacija odjeće i kože radnika - /tabela 2/, ali s obzirom na znatne koncentracije radona, koje se kreću i do 10⁻⁸ Ci/l /graf.1,1a/, kontaminacija produktima raspada radona je znatna.



Prve rezultate adsorpcije produkata radona kod radnika radi ološkog zavoda na površini ruku dala je Z.V. Eršova /1936/-/3/. Na osnovu ovih rezultata "nanesena aktivnost" se teško spira sa ruku, a snižava se efektivnim periodom poluraspada od oko 30 minuta.

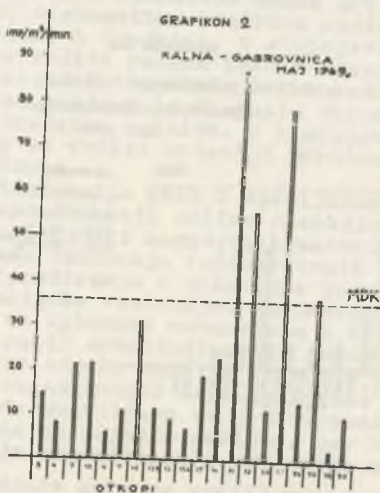
Interna kontaminacija

Velike količine radona, njegovih produkata raspada i prašine ulaze putem inhalacije u disajne organe radnika. Poslije inhalacije radon iz respiratornog sistema prelazi u krv i distribuira se u razne organe. Najveća količina radona rastvara se u masnom tkivu. Poslije 30-60 minuta uspostavlja se ravnoteža između radona u vazduhu i tječu. Schraub i sa

radnici /4,5/ našli su da se radon zadržava u organizmu u količini između 14 i 51%, dok je Lafuma /6/ našao da oko 30% radona ulazi u organizam i da se od toga odo 80% rastvara u masnom tkivu. Najnoviji radovi o dejstvu radona na respiratorni sistem ukazuju da radon u rudničkoj atmosferi, gdje postoji i silikogena prašina, izaziva ubrzanje fibroznih promena na plućima, /7,8,/ dok dejstvo radonovih potomaka zavisi od njihovog poluraspada. Prema izvjesnim autorima /9/ najveću opasnost za respiratorni sistem predstavljaju - kratkoživeći radionukleidi, a prema drugima /1/ dugoživeći.

Radonovi potomci bivaju adsorbovani na sitnim česticama prašine i tako inhalirani. Njihova retencija u respiratornom - traktu zavisi od veličine čestica na koje su naljepljene. - Jech /10/ je ustanovio da se oko 50% potomaka radona pri normalnom disanju zadržava u respiratornom sistemu, a kod dubokog disanja oko 70%.

Koncentracije Ra 226 u rudničkoj prašini mogu da dostignu - znatne vrijednosti. U našim rudnicima one su iznosile /tabele 1/ do $2,1 \times 10^{-10}$ Ci/g prašine. U uslovima znatne zaprašnosti, kontaminacija radijumom može biti od značaja, Njegove resorpcije u respiratornom sistemu zavise prije svega od veličine čestica. Znatna dio radijumove prašine ostaje u plućima gdje u toku niza godina može izazvati patološka stanja, a jedan dio resorbovanog radijuma deponovan u kostima - predstavlja znatnu opasnost za hematopoetski sistem.



DUGOŽIVEĆI RADIONUKLIDI U PRAŠINI

Ukupni tjelesni depo kod radnika u uranskim rudnicima prema Hurchu /11/ iznosi 10^{-2} g Ra. Ove koncentracije su desetputa veće nego kod neekspoziranih osoba. Pri ovim uslovima radnici bi izlučivali mokraću oko 2×10^{-11} Ci/Ra 226 u toku 24 časa. Kod naših radnika koncentracije radijuma u urinu prikazane su u tabeli 3, gdje maksimalne vrijednosti iznose 4 pCi/l urina. Na osnovu periodičnog kontrolnog pregleda radnika za sada nismo konstatovali efekte povećane kontaminacije Ra 226, kako na nivou pluća, tako i na nivou hematopoeetskog sistema.

Sredstva individualne zaštite respiratornih organa

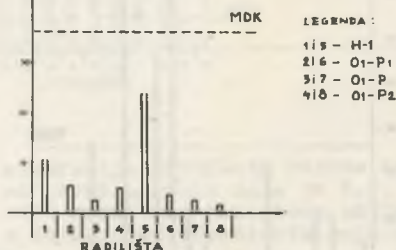
Primjena sredstava individualne zaštite neophodna je u onim slučajevima kada je iz bilo kojih razloga efikasnost opštih zaštitnih mjera nedovoljna za obezbjedjenje radne atmosfere u rudnicima. Takve prilike nastaju u slučaju prinudnog prestanka rada ventilacije i sredstava za obesprašivanje pri remontu, obilasku napuštenih radilišta i dr.

Do nedavno je među higijeničarima bilo rasprostranjeno mišljenje da sredstva individualne zaštite nisu dovoljno efikasna.

U toku posljednjih godina u nizu novih grana proizvodnje nikle su krajnje ozbiljne tehničke poteškoće u odnosu na obezbjedjivanje efikasne opšte zaštite, zbog čega je posebna pažnja poklonjena sredstvima individualne zaštite, što je doprinijelo usavršavanju ovih sredstava.

GRAFIKON 2 A

DUGOŽIVEĆI RADIONUKLIDI U PRAŠINI
GORENJA VAS - ŽIROVSKI VRH
JULI 1965.



Uslovi rada sa odredjenim radioaktivnim izotopima zahtijevaju naročito strohu primjenu sredstava individualne zaštite - u prvom redu za efikasnu zaštitu organa za disanje a isto-

tako i zbog toga što radioaktivni izotopi imaju sposobnost da se adsorbuju na površinama, što zahtijeva specijalnu razradu materijala koji se lako čiste.

U rudnicima urana najveći procenat radioaktivnosti potiče od kratkoživećih produkata raspada radona, koja praktično - nastaje u roku 3-4 časa, a procenat dugoživećih radionukleida je relativno mali. Radioaktivna kontaminacija koja potiče od potomaka radona u atmosferi može se uspješno otkloniti sredstvima individualne zaštite. Međutim, ova sredstva su izvanredno neefikasna za zaštitu od čistog radona, jer - radon kao inertni gas pri običnim uslovima ne stupa u hemijske reakcije.

S.S. Gorodinski /12/ je ispitivao efikasnost samospasilaca i konstatovao da u prvom minutu efikasnost iznosi 92%, poslije 5 minuta pada na 50%, a poslije 15 minuta praktično su neefikasni, tj. nezadržavaju radon. Prema podacima Caduda - /13/ ako se kao adsorber upotrijebi aktivni uglj, kod slabog protoka od 0,1 l/min. kroz masku koja sadrži 200 cm³ uglja procenat adsorpcije je 100%, ali veći pri protoku od 1 l/min. adsorpcija radona pada na 80%, a kod 5 l/min. na 50%. Za sada ne postoje filtri koji bi se mogli preporučiti kao sredstvo individualne zaštite od radona. U izuzetnim slučajevima treba se snabdjeti aparatima sa posebnim dovodom čistog vazduha.

Preventivne mjere i mjere radioaktivne dekontaminacije

U cilju zaštite radnika u rudnicima urana prije svega je potrebno organizovati sistematsku kontrolu radioaktivne kontaminacije radne okoline i ljudstva. U slučajevima rada sa bogatom rudom mora se voditi računa kako o eksternoj, tako o internoj kontaminaciji. U tim slučajevima radnici pri manipulaciji sa rudom ne smiju da rade golim rukama i moraju nositi individualna sredstva zaštite. U slučajevima povećanja MDK za 10 puta mora se vršiti rotacija personala imajući u vidu sve vrste zračenja.

Radioaktivna dekontaminacija kože i specijalne odjeće izvodi se primjenjivanjem efikasnih načina razradjenih za uslove visoke specifične aktivnosti zagađenih materija.

Postoje tri mehanizma vezivanja radioaktivnih izotopa na površini: mehaničko /prodiranje u mikropore površina/, fizičko /adsorbicija/ i hemijsko vezivanje. Kontaminacija rudnim materijalom dešava se uglavnom mehaničkim i fizičkim vezivanjem, zbog čega je način dekontaminacije znatno lakši.

Pri pranju specijalne odjeće mora se izvršiti prethodno sortiranje po stepenu zagađenosti alfa-emiterima i po vrsti specijalne odjeće. Ne dozvoljava se jednovremeno pranje goruće specijalne odjeće sa bijelim rubljem, jer bi se u tom slučaju bijelo rublje kontaminiralo više nego prije pranja.

Pranje specijalne odjeće mora se vršiti najmanje jedanput u tjedan dana, ali ako ustanovimo kontaminaciju iznad MDK, i prije ovog roka.

Pranje ruku i tijela vrši se običnim sredstvima za pranje,-

ali u nizu slučajeva treba primjeniti neki deterdžent čiji rastvor povećava efikasnost pranja.

Tabela 1.

Aktivnost radijuma u prašini rudnika Kalna 1965.

Redni broj	Broj otkopa	Ra Ci/h
1	12	$5,2 \times 10^{-11}$
2	9	$3,0 \times 10^{-11}$
3	10	$2,8 \times 10^{-11}$
4	12 aS	$7,1 \times 10^{-11}$
5	4	$9,4 \times 10^{-11}$
6	6	$7,5 \times 10^{-11}$
7	3	$9,0 \times 10^{-11}$
8	9a	$2,3 \times 10^{-11}$
9	13a	$5,2 \times 10^{-11}$
10	32	$3,3 \times 10^{-11}$
11	31	$2,1 \times 10^{-11}$

Efikasnost metode mjerenja ^{60}Co
 Osjetljivost metode do 10^{-13}Ci

Tabela 2.

Redni broj	Radnik	Radno mjesto	Poellje											
			lice		kosa		izlaska		ruke		jame		obuca	
			d	d/g	d	d/g	d	d	d	d/g	d	d/g	d	d/g
1	S.D.	Odrza- vanje IV nof. pumpa	Ø	1,5	Ø	1,5	Ø	1,5	Ø	1,5	Ø	1,5	Ø	1,5
2	Ž.D.		3	2	Ø	1,5	2	2	2	1,5	2	Ø	2	
3	P.T.	0t.13	0,5	2	0,5	2	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	
4	G.Č.	0t.7	1,5	2,5	Ø	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
5	M.Dj.	-	2	2	1,5	2	1	1,5	2,5	2	1,5	2		
6	R.S.	-	3	2	1	2	1	1,5	3	2,5	1,5	2,5		
7	O.M.	-	3	2,5		2	1	1	2,5	2	2	2		
8	V.B.	-	2	2	1,5	2	1	1,5	2	2	2	3	2	
9	I.V.	-	1,5	2,5	1	2	1,5	2	3	3	1,5	3		
10	R.T.	-	1,5	1,5	0,5	1,5	1	1,5	2	1,5	2	1,5		

Spontana aktivnost $\beta + \gamma = 1$ imp/sec.

$\beta = 0,1$ imp/sec.

Kontrola monitorom inter-technique alfa, beta, gama-sonda imp/sec. 21. IX 1965

Nastavak Tabele 2.

Redni broj	Radnik	Radno mjesto	Posiđe lice		dekontaminacije		Ruke		
			d	$\beta + \gamma$	d	$\beta + \gamma$	d	$\beta + \gamma$	
1	S.D.	Održavanje	Ø	1	Ø	1	Ø	Ø	0,8
2	Ž.D.	IV.hor.pumpa	Ø	1,5	Ø	Ø	Ø	0,5	1,2
3	P.T.	Ot.13	Ø	1,1	Ø	1,1	Ø	Ø	1,1
4	G.Č.	Ot.7.	0,1	1,2	0,1	1	0,1	0,1	1,2
5	M.Dj.	-	0,5	1,1		0,8	Ø	Ø	1,1
6	R.S.	-	Ø	1	Ø	1	Ø	Ø	1
7	O.M.	-	Ø	1,5	Ø	1,5	Ø	Ø	1,5
8	V.B.	-	0,1	1,3	Ø	1	Ø	Ø	1,2
9	I.V.	-	0,5	1,2	Ø	1,2	Ø	Ø	1
10	R.T.	-							

Spontana aktivnost $\beta + \gamma$ - 1 imp/sec.

" " " " - 0,1 imp/sec.

Kontrola monitorom inter-technique alfa, beta, gama-sonda imp/sec.
21.IC 1965.

Tabela 3.
Rezultati analize Ra²²⁶ u urinu rudnika radilišta Gorenja Vas

Redni broj	Broj lica	Aktivnost u C/litar	%
1	11	10^{-12}	78,7
2	2	$1 - 2 \times 10^{-12}$	14,2
3	1	$2 - 3 \times 10^{-12}$	7,1
Ukupno	14		100%

Rezultati analize Ra²²⁶ u urinu radnika iz Kalne

Redni broj	Broj lica	Aktivnost u C/litar	%
1	84	10^{-12}	44,52
2	56	$1 - 2 \times 10^{-12}$	29,68
3	23	$2 - 3 \times 10^{-12}$	12,59
4	4	$3 - 4 \times 10^{-12}$	2,12
5	5	4×10^{-2}	2,56
Ukupno	188		100%

Literatura:

1. J. Pradel, P/1238, 1958, Geneve,
2. A.B. Bihovskij, Gigieniĉeskie voprosi pri podzemnoj razrabotke uranovih rud, Moskva, Medgiz, 1963, str.103-292,
3. Ž.V. Eršova, op.cit. pod 2,
4. K. Aurand, W. Jacobi and A. Schraub, Radioactive izotope in klinik und Forschung, band II P.226 urban and Schwarz enberg, München und Berlin, 1956,
5. A. Schraub, K. Aurand and W. Jacobi, Arch. phys. Ther.,7 437, 1955,
6. Lafuma, C.E.A., Paris, liĉno saopštenje,
7. V.S. Kušneva, Characteristic developement of experimental silicosis during Rn inhalation, Radiological Health - and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials. - Vol. I, Vienna, 1964, str.317-333,
8. D. Karajović, D. Panov, M. Kilibarda, M. Medjedović, M. Jeremić, S.Savić, M.Jovanović, D. Cvetković, S. Dodić, - Analyse de l'etat de sante des ouvriers de la mine d'uranium en Yugoslavie, Radiological Health and Savety in Mining and Milling of Nuclear Materials, vol.II, Vienna, 1964, str.385-397,
9. D.A. Holaday, Control of radon and daughters in uranium-mines and calculations on biologic effects, Public Health Service Publication, No 494, 1957, str.79,
10. J. Harley, Samling and Measurement of airborne daughter-products of radon, Nucleonics, 11, 12, 1953,
11. J.B. Hursh, The limitation of urinary radium as a measure of radium body load, University of Rochester AEP, report, UR-522, 1958, str.12,
12. S.M. Gordinskij, op.cit. pod 2,
13. Cadudal, op.cit. pod 2.

Kontaminacija uranom i uranovim jedinjenjima u rudnicima urana i tehnologiji prirodnog urana.

D. Panov, M. Kilibarda, D. Đurić, Lj. Moračić, M. Kačarević, Lj. Pantelić

Kontaminacija radne atmosfere u rudnicima urana i postrojenjima za tehnologiju prirodnog urana zavisi od više faktora. Ona prije svega stoji u vezi sa bogatstvom rude uranom i načinom eksploatacije, kao i tehnološkim procesom prerade prirodnog urana /sve do dobijanja metalnog urana/.
Koncentracija urana u atmosferi radne okoline je vrlo varijabilna i u našim rudnicima urana ona se kreće do 403 gama urana po gramu prašine /tabela 1/, a u atmosferi postrojenja i do preko 1.000 gama po m³ /tabela 2/.
Iznjeti podaci ukazuju na to da je kontaminacija radnika u ovim pogonima moguća i da u tom cilju treba sistematski kontrolisati radnu atmosferu i količinu radionukleida u ekstremitetima radnika radi dobijanja potrebnih podataka o internoj kontaminaciji ovim jedinjenjima.

Profesionalna ekspozicija uranovim jedinjenjima

Na osnovu mnogobrojnih eksperimentalnih radova danas se smatra da je uran nefrotoksin reda toksičnosti poput žive, arsena i olova.
Uprkos profesionalne ekspozicije uranska jedinjenja se unos u organizam inhalacijom kroz pluća. Pošto su uranska jedinjenja uglavnom slabo rastvorljiva, to će se samo jedan dio deponovati u plućima brzo rastvoriti i resorbirati, dok se ostatak raštvara i resorbuje lagano.
Resorpcija u plućima zavisi ne samo od rastvorljivosti uranovih jedinjenja već i od veličine čestica. Po Lippmannu /1/ koeficijent resorpcije nerastvorljivih jedinjenja u plućima u slučaju vrlo malih čestica je jako visok. Jedan dio neapsorbovanih čestica iz gornjih disajnih puteva dopijeva pomoću cilijarne akcije u gastro-intestinalni trakt i tako se izlučuje fecesom. Resorbovani uran se u prva 24 časa, po Wodkiewicz-u i Newmanu, izlučuje oko 70% urinom /2,3/, dok se drugi dio deponuje u kostima i bubrezima. Prema S.R. Bernardu /4/ oko 33,3% urana deponuje se kod ljudi u svakom od ovih organa, a kod eksperimentalnih životinja oko 80% u kostima. Biološki poluživot urana u kostima i bubrezima iznosi 300 dana.
Uran koji se izlučuje urinom može da bude indikator ekspozicije i tjelesnog depoa. Osim toga, relativno najjednostavnije je dobiti uzorak urina, a analiza nije komplikovana, zato se danas velika pažnja obraća analizi uzoraka urina na uran.
U našem Institutu i Zavodu već godinama se prati izlučivanje urana u urinu radnika u rudnicima urana /5/.
U svjetskoj literaturi postoje mnogobrojni radovi u kojima se iznose rezultati određivanja urana u urinu eksponiranih radnika. Međutim, malobrojni su radovi koji kritički prikazuju mogućnost korišćenja ovih rezultata za proučavanje tjelesnog depoa u uslovima hronične ekspozicije.
Lippmann i saradnici /1/ su statistički obradili veliki broj

analiza urana u urinu eksponiranih osoba. Ovi autori su radili i opšti model izlučivanja urana poslije jednokratne i višekratne ekspozicije. Izlučivanje se prema njima /slika 1/ vrši u tri faze, za koje važe slijedeći matematički izrazi:

$$I \quad Y = \alpha t^{-1,5} \pm 0,2$$

$$II \quad Y = \delta t^{-0,3} \pm 0,1$$

$$III \quad Y = \gamma t^{-1,5} \pm 0,2$$

Konstante alfa, gama i delta zavise od veličine i dužine ekspozicije. Poslije jednokratne ekspozicije način izlučivanja urana pratimo isključivo duž prve faze, dok poslije prestanka višekratne ekspozicije duž sve tri faze.

Scott /6/ je također pratio izlučivanje urana u urinu poslije završetka ekspozicije i utvrdio da se ona vrši eksponencijalnom funkcijom u dvije faze. Autor smatra da se u prvoj fazi islučuje rastvorljivi dio materijala koji se resorbuje iz pluća u krv. Poluvrijeme izlučivanja ovog dijela urana iznosi 2,8 dana. U drugoj fazi se izlučuje nerastvorljivi dio materijala, sa poluvremenom izlučivanja 118 dana.

Tok ekskrecije urana u urinu

Poslije jednokratne kontaminacije inhalacijom uranovim jedinjenjima u obliku para u slučajevima akcidenta ili namjerne ekspozicije praćene od Lippmanna i saradnika /1/ količina urana u urinu može se izraziti matematičkom formulom: $Y = \alpha t^{-3/2}$. Kod hronične ekspozicije problem je znatno težji. Poslije višekratne ekspozicije moguće je procijeniti veličinu ove ekspozicije jedino ako se uzorci uzimaju na jednu do dvije nedelje poslije prestanka posljednje ekspozicije. Za radnike rudnika urana i u tehnologiji prirodnog urana moguće je procjenjivati ekspoziciju uranovim jedinjenjima prema Lippmannu samouzorcima koji su uzimani poslije vikenda ili poslije godišnjeg odmora. Procjena ekspozicije na osnovu uzoraka u toku rada bez podataka koncentracije urana u radnoj atmosferi je vrlo teška i nesigurna.

Diskusija o našim rezultatima praćenja ekskrecije urana u urinu

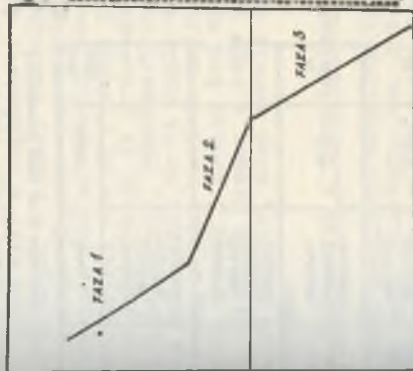
U Institutu za medicinu rada i Zavodu za nuklearne sirovine-rutinski se prati ekskrecija urana u urinu radnika u rudnicima urana i tehnologiji prirodnog urana. Uzorci se uzimaju povremeno u toku rada poslije godišnjeg odmora. Ovi rezultati su dati u tabelama /3, 3a, 4 i 5/.

U tabelama 3 i 3a iznjeti su rezultati rutinske kontrole urana u urinu kod radnika u rudniku Kalna i Gorenja Vas. Ove vrijednosti su se kretale od 5 do 25 gama urana po litru urina. U tabelama 4 i 5 iznjeti su rezultati akcidentalne kontaminacije uranovim jedinjenjima. U ovim slučajevima koncentracije su se kretale od 5 do 152 gama urana u litru urina. Vrijednosti urana u radnoj atmosferi date su u tabelama 2 i 4a.

SI.1.

Tabela 1

MONITORINGI U ZEM. U FIA. IJE RUDAR. KAZEM-1965. GOD.



Red. br.	Broj otkoja	U /GR
1.	12	97,3
2.	9	70,6
3.	10	90,3
4.	120,3	160,3
5.	4	280,5
6.	6	264,3
7.	3	230,1
8.	50	50,5
9.	1,30	42,3
10.	32	250,5
11.	31	403,5

LOG DANA POSLE EKSPOZICIJE

LOG DANA POSLE EKSPOZICIJE

Tabela 4
REZULTATI ANALIZE URANA U URINU-ACIDITETNI SINDROM

Red. br.	Služaj	U / l
1.	A-6	19,0
2.	B-14	23,0
3.	C-23	19,0
4.	D-32	54,0
5.	E-29	19,0
6.	F-20	42,0
7.	G-8	19,0
8.	H-2	23,0
9.	I-3	23,0
10.	K-19	19,0
11.	L-39	15,0
12.	M-35	12,0
13.	P-17	19,0
14.	O-11	30,0

Akcident 25. IV. 1965.
 Ura: u oost 26 i 27. IV. 1965.

Tabela 4a
KONCENTRACIJA URANA U RADNOJ ATMOSFERI
 25. IV. 1965.

Red. br.	Radna operacija	g/m ³
1.	Vadjenje grejača niklenih šipki	35
2.	Vadjenje U ₂	75
3.	Vadivanje šipki grejača	25a
4.	Vadjenje U ₂ i šipki	35
5.	Pa svazatku rado	35

Tabela 5
KONCENTRACIJA URANA KOD 4 AKCIDENTNEGA SLUČAJA

Red. broj	Služaj	Datum	U / l
1.	O.H.	12. X. 1961.	91,5
		13. X. 1961.	60
		20. X. 1961.	59
		2. XI. 1961.	39
2.	O.H.	13. 2. 1962.	73
		17. 2. 1962.	37
		24. 2. 1962.	47
		3. 3. 1962.	45
3.	Z.V.	19. 7. 1965.	130
		20. 7. 1965.	33
		28. 7. 1965.	5
4.	Z.V.	28. 7. 1965.	152
		29. 7. 1965.	131
		31. 7. 1965.	10

Tabela 7
KONCENTRACIJA RADNE PUVRSINE I UBIJANJA

Broj operacija	Si izm 4 DK (5.10 ⁻³ / uO/am ²)	Period operacije
34	85,30	april 1961.
137	10,95	21. 7. do 31. 8. 1964.
55	33,73	11. do 23. 9. 1964.

Tabela 6
REZULTATI ANALIZE URANA U URINU-ACIDITETNI SINDROM

Operacija	Datum operacije	Broj šastien po m ³ Ukupan broj šastien 5 mit.	Isprizaj U gosa/m ³	
Vadjenje urana u U ₂	14. 1. 65.	3.872	3.799	675
Vadjenje urana u U ₂	22. 1. 65.	0	0	56
Vadjenje U metalu i urana	28. 1. 65.	389	247	830
Vadjenje U šipki	1. 3. 65.	0	0	25
10' posle vadjenje U ₂	16. 7. 65.	0	0	95
Vadjenje U ₂	17. 7. 65.	1.561	1.515	5,5
Vadjenje U ₂	30. 8. 65.	0	0	1,11

Tabela 7a
KONCENTRACIJA ZA TIPO: OPELIR I OSOBLJA

Broj operacija	Si izm 4 DK (5.10 ⁻³ / uO/am ²)	Period operacije	Vrsta opreme
13	69,23	april 1963.	gumene rukavice pantolama,
33	3,03	25. 7-31. 8. 64.	zračna blaga rukavice
336	29,29	11. do 23. 9. 64.	štima anake
307	36,80	22-30. 4. 65.	obuća nožice

Iz podataka o koncentraciji urana u atmosferi i istovremenog praćenja koncentracija urana u mokraći eksponiranih osoba ni smo mogli ukazati na izvjesnu korelaciju urana u radnoj atmosferi i ekskreciji urana u urinu eksponiranih osoba. Prije svega nismo bili u mogućnosti da kontinuirano mjerimo koncentracije urana u radnoj atmosferi i sistematski uzimamo uzorke u rina u određenim vremenskim intervalima poslije ekspozicije. Zbog toga što su radnici nosili maske, nije bilo mogućnosti procijeniti što su radnici nosili maske, nije bilo mogućnosti procijeniti koji je procenat urana iz radne atmosfere unijet u disajne organe. Posebno treba istaći da je broj naših slučajeva nedovoljan da bi mogli dati određene zaključke. Za sada možemo reći da vrijednosti urana u urinu, koje smo pritali u toku 3 godine kod radnika u rudniku urana i tehnologiji prirodnog urana, a koje su prelazile i više od 150 gama u litru mokraće, nisu doveli do manifestacija patoloških stanja bubrega.

Kontaminacija i dekontaminacija u tehnologiji urana

Proces dobijanja metalnog urana počinje mljevenjem i drobljenjem rude, rastvaranjem, sušenjem, redukcijom, žarenjem, kalcinacijom i dr. U toku svih ovih operacija aktivni aerosoli mogu dospjeti u radnu atmosferu i tako kontaminirati radne površine, površine i ljude.

Iako je veliki broj operacija do te mjere mehanizovan i hermetizovan da pruža bezbjednost pri radu, ipak u toku nekih operacija /naprimjer, u procesu ekstrakcije i pražnjenja redukcionih kolona/, može da dodje do kontaminacije sa UO_2 . Mi smo u prethodnom poglavlju naveli da su koncentracije urana u radnoj atmosferi dostizale i do 1000 gama po m^3 .

U tabeli 6 iznjeti su rezultati mjerenja prašine na sadržaj urana, broj i veličinu čestica. Iz ovih podataka se vidi da su pri šaržiranju bombe sa UF₆ više od 90% čestica manje od 5 mikrona, a kod vadjanja UF₆ samo 50%. Ovo se objašnjava konglomeracijom čestica kod vodjenja zbog postupka vlaženja.

U tabelama 7 i 7a iznjeti su rezultati kontaminacije radne površine, opreme i osoblja, iz kojih se vidi da je skoro 50% iz mjenjenih uzoraka prelazilo MDK za date površine i opreme.

Dekontaminacija površine i osoblja

Kada i pored svih mjera predostrožnosti dodje do kontaminacije radne okoline, površine, opreme i osoblja uranom i uranovim jedinjenjima, neophodno je pristupiti postupcima dekontaminacije.

U svrhu dekontaminacije radnih površina primjenjuje se u prvom redu ispiranje jakim mlazom vode, a zatim izvjesnim deterdžentima i na kraju hemijskim sredstvima. U najvećem broju slučajeva samo ispiranje vodom i primjenom deterdženata daje zadovoljavajuće rezultate dekontaminacije.

U slučajevima kada se radi o dekontaminaciji lične opreme i osoblja u izvanrednim prilikama, kao što je slučaj pražnjenjokolona sa UF₆, osoblje i oprema se prvo podvrgavaju kontrolisanim površinske kontaminacije, a poslije ovih mjerenja pristupa se dekontaminaciji, i to uglavnom pranjem opreme i kupa-

nju osoblja. Ako poslije prvog postupka dekontaminacije aktivnost prelazi MDK, postupak se obnavlja, uz dodavanje izvjesnih deterdženata, te se na ovaj način uglavnom izvrši skoro potpuna dekontaminacija.

U cilju ubrzanja eliminacije urana iz organizma kontaminiranih osoba mogu se primjenjivati sredstva koja povećavaju izlučivanje U_6 iz organizma, kao što su bikarbonati, koji stvaraju komplekse sa uranil-jonom, kao i podesna ishrana koja povećava pH urina. Uklanjanje osoba sa radnog mjesta kao i primjena bikarbonata i podesne ishrane uglavnom dovode do zadovoljavajuće dekontaminacije.

Literatura:

1. M. Lippmann, L.D.Y. Ong. W.B. Harris: The significance of urine uranium excretion data, Am. Ind. Hyg. Ass. J., 25, -1964, 43:
2. L. Wodkiewicz: Fluorometric Determination of uranium in urine, Report No 234/VIII, may 1961, Warsaw:
3. W.F. Newman: Urinary uranium as a Measure of Exposure, Hezard /unpublished/ University of Rochester, Rochester, New York /citirano L. Robert pod 8/:
4. S.R. Bernard: Maximum permissible Amounts of Natural uranium in the body, air and Drinking water based on human experimental data, Health Physics, Vol I, 1958, pp 288-305:
5. D. Karajović, M. Kliibarda, D. Panov, D. Djurić, M. Medjedović, P. Kaičević, V. Delić: Uranium in the urine of miners exposed to uranium compounds. Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, IAEA, Vienna, 1964, vol. II, str.443:
6. L.M. Scott: Excretion of uranium from mixed exposure under Industrial Conditions, Health Physics, 10, 1964, 479:
7. D. Djurić: Mehanizam toksičnog djelovanja urana, Med.pregled, 14, 1961, 621:
8. L. Robert, Fischhoff: The Relationship Between the Importance of the Dimensions of uranium Particles Dispersed in Air and the Excretion of Uranium in the Urine, American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 26, January-February 1965, st. 26-33.

Kontaminacija radioaktivnim bojama i potreba veće bezbjednosti pri radu

M. Kalibarda, S. Ignjatović, M. Jeremić, D. Petrović

Opasnost od klasičnih radioaktivnih emitera fluorescentne - smješe zabilježena je tek 1928. godine u New Jersey-u. Schu bert i Lapp /1/ navode da je dr Martland zabilježio 14 smrtnih slučajeva kao posljedicu upotrebe radijum-sulfata pri - premazivanju brojčanika satova. Opterećenje radijumom kod - žena koje su umrle bilo je 10 - 180 μ gr. Kod preživjelih - utvrđeni nivo bio je 2 - 10 μ gr. Zapaženi su destrukcija i kancer kosti, kao i promjene u krvi, sve do aplastične anemije.

Dalja posmatranja i iskustva potvrdila su ove nalaze. Behrens /2/ je iznio otko i zadebljanje periosta koje, prema Watsonu i Scarborough-u /3/, ide uporedo sa hijalinizacijom i promjenama na krvnim sudovima. Mandibula je, po Stewartu i Lawrenceu /4/ više podložna nekrozi od maksile.

Umjerena anizocitoza i pojkilocitoza eritrocita prema Hasterliku /5/ su govoto stalni nalaz kod osoba sa opterećenjem radijumom.

Glenn i saradnici /6/ navode slučaj žene koja je poslije 14 mjeseci rada sa radijumom i mezotorijumom umrla od raka sfenoidalnog sinusa poslije 39 godina.

Müller /7/ je pri praćenju 103 radnika u industriji svjetlećih boja /1961/ procijenio opterećenje tijela stroncijumom 90 na desetine mikrokirija, a radijumom na 0,01 μ gr i manje, pri čemu hematološka ispitivanja pokazuju znake iritacije eritroblastične lože u koštanoj srži.

Hurs /8/ je 1950. godine našao da opterećenje tijela kod li ca profesionalno izloženih iznosi 1,2 - 1,6 $\times 10^{-7}$ gr Ra 226.

Wagner i Müller /9/, mjereći ukupnu gama aktivnost tijela i količinu radona u izdahnutom vazduhu, procjenjivali su opterećenje tijela radijumom kod sedamdeset švajcarskih radnika koji su radili sa radioaktivnim bojama kod kuće i u industriji. Prema njihovim rezultatima opterećenje tijela radijumom iznosilo je 0,01 do 1 μ Ci, pri čemu je primjećeno da su više bili kontaminirani radnici u industrijskoj proizvodnji.

Uslovi rada i stepen kontaminacije i preduzimanje mjera za bezbjedniji rad

Industrija precizne mehanike u Beogradu pri izradi satova i specijalnih mjernih instrumenata koristi radioaktivnu svjetleću masu za premazivanje brojeva i kazaljki na brojčanicima.

U toku posljednjih godina u Zavodu za radiološku zaštitu Instituta za medicinu rada SR Srbije kontrolisani su uslovi rada i vršena sistematska medicinska kontrola radnika izloženih mogućnosti unutarnje radioaktivne kontaminacije pri po menutom radu sa radioaktivnim bojama.

U ranijem saopštenju /10/ iznjeti su detalji o radnim uslov

ima. Tom prilikom je konstatovano da je u industriji satova najveća kontaminacija zapažena na radnim mantilima i cipelama /12 MDK za alfa i 3 MDK za beta-emitere/, a naročito narukama radnica/ i do 450 MDK za alfa i 100 MDK za beta-emit ere/. Pri tome je doza ekspozicije na raznim radnim mjestim a varirala od 1 mr/f do 50 mr/h.

Poslije donošenja novog Zakona o radiološkoj zaštiti /sredi nom 1965. godine/ izvršen je detaljan pregled uslova rada u industriji precizne mehanike, koja, osim industrije satova, najviše radi sa radioaktivnim bojama. Karakteristični podac i iz ovog nalaza govore da su, i pored raznih upozorenja i intervencije inspeksijskih organa, uslovi rada ostali ispod svakog standardnog minimuma.

Skladište svjetleće mase bila je jedna limena kutija koja - je sadržavala 600 grama ove mase. Na razdaljini od jednog - metra registrovali smo dozu od 15 mr/h. Ova limena kutija - stajala je u uglu radionice, udaljena dva metra od radnog - mjesta. Posuda za radioaktivne otpatke nije postojala. Otpa ci su bacani u korpu za smeće.

Kapelica za rad sa smješom takodje nije postojala.

Premazivanje se vršilo na drvenom stolu preko koga je bio - postavljen pakpapier. Na stolu se istovremeno nalazilo 30-40 ispisanih brojčanika, kao i tacna sa pripremljenom svjetleć om smješom. U visini glave radnice koja premazuje brojčanik e registrovana je doza od 2,4 mr/h.

Nije postojala garderoba ni poseban plakar za promjenu doma ćeg odijela, već su radni mantil i svakodnevno odijelo vješ ani na isti ekser u samoj radnoj prostoriji, iza vrata.

Radnica nije imala mogućnosti da opere ruke u samoj radnoj- prostoriji. Najbliži lavabo bio je u četvrtoj hali, tj. iza četvora vrata, koja je svaki put kontaminiranim rukama otva rala i zatvarala. Istim prolazom koristi se i 47 radnika iz ovih i susjednih prostorija.

U radionici nije postojao detektor za kontrolu kontaminacij e.

Rad je obavljan primitivno: Ujutro bi radnica uzimala kutij u sa svjetlećom masom, stavljala je na sto, zatim bi, digav ši poklopac običnom kašikom, izvadila proizvoljnu količinu- mase i rastvarala bezbojnim lepkom. Za to vrijeme /10 do 15 minuta/ čitava količina svjetleće mase /oko 1/2 kg/ stajala je na rastojanju od 40 cm od grudnog koša radnice. Pošto bi kutiju vratila u ugao radne prostorije, radnica bi vršila - premazivanje 30 do 40 brojčanika i tako premazane brojčanik e redjala na dasci ispred sebe. U početku premazivanja radn ica je imala povoljniju geometriju, jer je pred sobom imala samo jedan aktivirani brojčanik i rastvor, nešto udaljen i koncentrisan. Poslije jednog časa većina brojčanika na tabl i bila je premazana i radnica je bila u žiži snopa zračenja koji je dolazio sa površine od 1 m² i sa rastojanja ne veće g od 40 cm.

U lo časova, na znak pauze za doručak, radnica bi prekidala posao, uzimala donijetu užinu i jela na samom radnom mjestu ne opravši prethodno ruke i ne mijenjajući mantil. Posao bi se zatim nastavljao do kraja radnog vremena. Radnice izjavl juju da je na ovaj način radjeno godinama. Pojedine radnice

izjavljuju da im u toku noći ponekad ruke svjetlucaju sve do lakata.

Stvrdjeni stepen kontaminacije može se ilustrovati slijedećim podacima:

1. površina stola	$4,6 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
2. stalaža	$9 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
3. kod po ivici kraj zida	$7,3 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
4. ivica praga	$3,4 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
5. ram prozora	$2,2 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
6. radni mantil	$2,4 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
7. dlanovi ruku	$3,8 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$
8. kvaka na vratima	$1,6 \times 10^{-2} \text{ uCi/cm}^2$

Stepen kontaminacije je dobijen određivanjem broja impulsa po cm^2 na površini od 8 cm^2 i preračunavanjem u mikrokirije na cm^2 .

Napominjemo, da je ista radioaktivna svjetleća masa korišćena, svakako, na sličan način čitavih 20 godina, a da pri tome niko nije obučavan za rad sa radioaktivnim materijalom. - Niko nije znao tačan hemijski sastav i stepen zračenja, nitko nije bio upozoravani na mogućnosti štetnog dejstva sa poljnog zračenja i unutrašnje kontaminacije.

Na osnovu novog Zakona o zaštiti od jonizujućeg zračenja da ovaj rad je zabranjen i preduzete su slijedeće mjere za osposobljavanje radionice za normalan rad:

- sav drveni namještaj je stavljen na betonski plato i spaljen, a pepeo uklonjen,

- podignut je cio pod i podloga od šteta, sve dok broj otkucanja nije sveden na normalan,

- istrugana su kontaminirana mjesta na zidu i zidovi ponovo-prefarbani,

- uveden je slivnik na podu, novi umivaonik i specijalna metalna kapela za rad sa radioaktivnim materijalom, kao i novi metalni sto sa plastičnom površinom,

- izgrađeno je skladište rezervne svjetleće mase, van radne prostorije,

- postavljen je odgovarajući plakar za smještaj radnog odijela,

- donijet je unutrašnji pravilnik o bezbjednosti rada sa radioaktivnim bojama,

- novi radnici se određuju na posao pošto se prvo podvrgnu obuci i medicanskom pregledu i četveromjesečnoj obuci.

U cilju stvrdjivanja kontaminacije tijela radionuklida pri upotrebi ubičajenih svjetlećih boja koristi se i određivanje količine Ra 226 i Po 210 u urinu, te smo i mi pratili ove vrijednosti.

Do 50% Ra nastalog raspadom Ra 226 u kostima izbacuje se i izlučuje u vazduhom, a ostatak se u tijelu dezintegriše preko kratkoživećih produkata do Pb 210 , Po 210 i stabilnog olova. Po 210 se izlučuje i može se mjeriti u urinu. Količina Ra 226 u 24-satnom uzorku urina sa maksimalnim opterećenjem

Tabela 1.

Vrijednost polonijuma u urinu /1964 do 1965/.

Po 2lo /pCi/l	Broj osoba
0,5	16 /51,5%/
0,5 - 1	3 /9%/
1 - 5	6 /19,4%/
5	6 /19,4%/
Ukupno	31 /100%/

tijela od 1×10^{-7} g iznosi oko 2×10^{-11} g Ra 226 /11/. Hursh na vodi da nije moguće određivati opterećenje tijela sa Ra - 226 samo mjerenjem sadržaja Ra 226 u urinu, jer glavni dio Ra 226 u urinu većinom ne potiče od deponovanog Ra 226 u tijelu, već je direktna posljedica nedavne kontaminacije. Naši rezultati su potvrdili ovu pretpostavku Hurscha. Količina polonijuma je zanemarljiva /12/.

Ra 226 u urinu smo određivali emanometrijskom metodom, a Ra 226 metodom elektrodepozicije na srebrnim folijama /13/. Količine Ra 226 u urinu iznosile su 1963. godine preko 57% slučajeva više od 1 pCi/l, dok je u 1964. godini bilo u 15% slučajeva više od 1 pCi/l /10/.

Vrijednosti Po 2lo u urinu djelimično su prašene i tokom 1965. godine. Skoro kod svih ispitivanih radnika uzorci urina uzeti su u dva maha. Iz tabele 1 vidi se da je u pomenutom periodu kod 38,8% radnika količina Po 2lo u urinu iznosila preko 1 pCi/l, kod 6 osoba /19,4%/ prelazila je 5 pCi/l, dok je u dva slučaja iznosila od 70 do 80 pCi/l urina. Kod 6 osoba nisu nadjene mjerljive količine polonijuma.

Medicinska zapažanja

U toku pomenutih nekoliko godina 31 osoba ženskog pola, angažovana ranije ili sada na radu sa svjetlećim bojama na cifarnicima, praćena je putem višekratnog sistematskog medicinskog pregleda u toku godine.

Posebna pažnja posvećena je radnoj anamnezi, promjenama u krvnoj slici i izmjenama u strukturi mandibule.

Pored opštih tegoba, slabosti, glavobolje i malaksalosti, nađeno je kod 31-dne praćene radnice /tabela 2/ u 12,9% slučajeva prisustvo anemije, u 3,2% leukocitoze, u 9,7% leukopenije, zatim u 16,2% limfocitoze i 6,4% limfopenije.

Radiografski pregledi kosti donje vilice kod 28 radnica 1963 do 1964. godine nisu dali pozitivan patološki nalaz.

Zaključak

Rad na korišćenju radioaktivnih svjetlećih boja u beogradskoj industriji precizne mehanike odvija se u toku niza godina ispod svakog higijenskog minimuma.

Tabela 2.

Rezultati hematoloških ispitivanja

Radni staz /godine/	Anemija /ispod 3,5. m/	Leukocitoza /iznad 9.000/	Leukopeni /ispod 4.000/
0-5	1/3,2%/	1/3,2%/	2/6,5%/
6-10	2/6,5%/	-	1/3,2%/
11-15	1/3,2%/	-	-
Ukupno	4/12,9%/	1/3,2%/	3/9,7%/

Ja limfocitoza limfopenija Normalni Ukupno		
/ iznad 40% / ispod 20% / nalez		
1/3,2%/	-	12/38,7%/ 17/54,8%
2/6,5%/	1/3,2%/	4/12,9%/ 10/32,3%
2/6,5%/	1/3,2%/	4/12,9%/ 10/32,3%
2/6,5%/	-	4/12,9%
5/16,2%/	2/6,5%/	16/51,6%/ 31/100%/

Analizirani uslovi rada su pokazali da se ta aktivnost odvijala u uslovima znatne kontaminacije radnih površina, radne prostorije, alata i radnog odijela. Pri tome je dolazilo do višestrukog prekoračivanja maksimalno dopuštenih koncentracija. Rezultati radiotoksikoloških analiza za Ra 226 i Po 210 u urinu pokazali su znatnu radioaktivnu kontaminaciju radnica koje su radile sa svjetlećim bojama.

Za sada nisu zapažene značajne promjene zdravstvenog stanja zaposlenih radnica. Međutim, i dalje treba pratiti lica stavljenaa pod medicinski nadzor. Ove preglede treba proširiti i na osobe koje su radile u njihovoj okolini. Proširenje laboratorijske i kliničke analize koje su u toku omogućit će sigurniji uvid u eventualna početna oštećenja, u prvom redu krvotvornih organa i kostiju. Medicinske preglede treba dopuniti i određivanjem radioaktivnog depoa u tijelu radnica kako preko mjerenja gama aktivnosti tijela, tako i preko utvrđivanja Ra 226 preko radona u izdahnutom vazduhu.

Posebna pažnja mora se pokloniti radikalnijoj izmjeni higijensko tehničkih uslova rada pri korišćenju radioaktivnih svjetlećih boja, uključujući i zamjenu postojeće svjetleće mase opasnih radionuklida manje opasnim radionuklidima /tricijumom i dr./, sa čime se već započelo u industriji.

Literatura:

1. Schubert J. et Lapp R.E., Le grand peril des radiations Payot, Paris, 1958, 101 do 125,
2. Behrens C.F., Atomic Medicine, Baltimore, 1959, 632-634
3. Watson W.L. and Scarborough J.E., Osteoradionecrosis in intraoral cancer, Am. J. Roentgenol. and Rad Therapy, 40:524, 1938,
4. Lawrence E.A., Osteoradionecrosis of the mandibule, Am. J. Roentgen and Rad. Therapy, 55:733, 1946,
5. Hasterlik R.J., Proc. UN Int. Conf, PUAE, 11, 1956, 149-155,
6. Glenn I.A., Galindo I. and Lawrence E.E., Amer. J. Roentgenol., 83, 1960, 465,
7. Müller I., The Lancet, 15 July 1961, 129 do 131,
8. Hursh I.B., and Gates A.A., Nucleosiss, 46, 1950.
9. Wegner P. and Müller C.E., Helv. chim. Acta, 49, 1963, -467
10. Kilibarda M., Medjedović M., Jeremić M., Djurić D., Gvozdanović S., The effects of internal contamination with radionuclides contained in luminous paint, Symposium, "Assesment of radioactivity in man", Vienna, 1964, 307-IAEA
11. Hursh I.B., The limitation of urinary radium as a measure of radium body load, University of Rochester, AEP Report, UR 522, 1958, 12

12. Sultzer M. and Hursh I.B., Arch. Ind. Hyg. occup. Med., 9, 1954, 89 do 100,
13. Chemical Methods for Routine Bioassay, USAFEC, AECU - 4024, 1958.

Apsorpcija Cs-137 iz raznih segmenata želudčano crijevnog kanala

M. Trajković, V. Stepanov

Postoji čitav niz nedovoljno proučenih fenomena i ponašanja ¹³⁷Cs u biološkim sistemima. Među ove spada i apsorpcija izotopa iz pojedinih funkcionalno različitih, segmenata želudčano-crijevnog kanala.

U našim eksperimentima ispitivali smo uticaj prisustva - ili odsustva hrane u crijevnom kanalu kao i rentgenskog - ozračivanja cijelog tijela ili lokalnog ozračivanja želudčano-crijevnog kanala dozama od 200, 600 i 1000 R na apsorpciju ¹³⁷CsCl iz želudca, dvanaestopalačnog crijeva, tankog crijeva, slijepog crijeva i debelog crijeva. ¹³⁷Cs iz Dobijeni rezultati ukazuju da brzina apsorpcije iz raznih segmenata želudčano-crijevnog kanala nije ista. Najbrža je iz dvanaestopalačnog i tankog crijeva, a nešto sporija iz debelog crijeva. Apsorpcija iz slijepog crijeva i debelog crijeva je znatno sporija. Ovo navodi na zaključak da je glavno mjesto apsorpcije radiocezijuma dvanaestopalačno i tanko crijevo. U debelom crijevu najvjerovatnije se vrši samo resorpcija izotopa koji je u crijevnolumen dospio endogenom sekrecijom.

Rentgensko ozračivanje cijelog tijela ili lokalno ozračivanje želudčano-crijevnog kanala dozama od 600 ili 1000 R utiče na povećanje brzine apsorpcije iz svih segmenata crijevnog kanala izuzev debelog crijeva. Razlog koji uslovljava povećanje brzine apsorpcije izotopa iz želudčano-crijevnog kanala nakon ozračivanja, nalazi se u promjenama koje se dešavaju u samom želudčano-crijevnom kanalu.

Odsustvo hrane pokazuje uticaj na povećanje brzine apsorpcije izotopa iz svih dijelova crijevnog kanala osim debelog crijeva.

Za sada postoji čitav niz nedovoljno proučenih fenomena i ponašanja ¹³⁷Cs u biološkim sistemima. Stoga, sadašnjivo znanja o ovom izotopu nije u mogućnosti da pruži pouzdane odgovore na mnoga pitanja.

Među ove spada i problem apsorpcije ¹³⁷Cs iz želudčano-crijevnog kanala (u daljem tekstu ZCK). Autori koji u svojim radovima razmatraju apsorpciju ¹³⁷Cs iz ZCK zaključuju da je ista "dosta brza" (1,2,3), ili "potpuna" (4,5,6,7). Drugi, bez dovoljno dokaza, pretpostavljaju da se apsorpcija obavlja "pretežno u tankom crijevu" ili da "počinje već u želudcu" (8,9,10,11). Konstatovano je da se pod raznim uslovima (glad, varenje, razni oblici dijeta, prisustvo nosača i sl.) javljaju izvjesna odstupanja u smislu

povećanja ili smanjenja apsorpcije radiocezijuma (11,12,-13,14,15). U nama dostupnoj literaturi našli smo samo tri rada koji obrađuju problem apsorpcije ^{137}Cs iz raznih segmenata ŽCK, od kojih su dva u uslovima in vitro eksperimenta (16,17,18). Iz ovih radova se vidi da se apsorpcija - obavlja veoma brzo i potpuno iz dvanaestopalačnog i tankog crijeva, dok je iz ostalih segmenata ŽCK znatno sporija.

Nismo našli podatke o brzini apsorpcije radiocezijuma iz ŽCK u prethodno ozračenom organizmu. Podaci o apsorpciji - pod ovim uslovima vjerovatno bi korisno poslužili obzirom da je poznato da praktično svaki nuklearni akcident povezan i sa mogućnošću opšteg ili lokalnog ozračivanja. U našem eksperimentalnom radu razmatramo problem apsorpcije ^{137}Cs iz ŽCK pri čemu želimo da provjerimo da li postoji razlika u brzini apsorpcije izotopa iz pojedinih, funkcionalno različitih, dijelova ŽCK i kolika je ova. Zatim da li opšte ili lokalno ozračivanje organizma može da utiče i koliko na brzinu apsorpcije iz pojedinih dijelova ŽCK. Udgovor na ova pitanja vjerovatno će pružiti izvjesne korisne informacije koje se mogu upotrijebiti u prevenciji unutrašnje kontaminacije ovim izotopom kao i u cilju smanjenja njegovog prodiranja iz ŽCK.

Materijal i metod rada

Eksperiment je izvođen na bijelim pacovima, muškog pola, tjelesne težine 100 + 20 gr. kao izotop korišćen je ^{137}Cs Cl, bez nosača, pH rastvora 2-3. Administrativna količina po životinji iznosila je 5 $\mu\text{Ci}/0.1\text{ ml}$. U narkozi sa uretanom izotop je ubrizgavan tuberkulinskim špricom direktno u odgovarajući dio ŽCK i to: u želudac, početni dio dvanaestopalačnog crijeva, srednji dio tankog crijeva, slijepo crijevo i početni dio debelog crijeva. Pri ubrizgavanju izotopa u želudac, izvršeno je prethodno podvezivanje njegovog izlaznog dijela kako bi se onemogućila paaaza izotopa u niže dijelove ŽCK. Podvezivanje na istom mjestu - je izvršeno i pri ubrizgavanju izotopa u početni dio dvanaestopalačnog crijeva. Pri ubrizgavanju izotopa u slijepo crijevo podvezivano je i ileocekalno ušće, i izlazni dio slijepog crijeva. Pri ubrizgavanju izotopa u početni dio debelog crijeva podvezan je samo izlazni dio slijepog crijeva. Pri ubrizgavanju izotopa u srednji dio tankog - crijeva nije vršeno prethodno podvezivanje, obzirom da izotop, zbog dužine tankog crijeva a također i brzine kojom se apsorbuje iz ovog segmenta, praktično ne dopijeva

do sljedećeg segmenta ZCK koji smo ispitivali.

Procjena brzine apsorpcije ^{137}Cs iz raznih segmenata ZCK-
vršena je određivanjem deponovane količine izotopa u mišićno tkivo za 360 min. od momenta ubrizgavanja. Stoga je -
nakon ovog vremenskog intervala uziman isječak mišićnog -
tkiva sa lijevog zadnjeg uda. Radioaktivno mjerenje mišićnog tkiva izvođeno je u jamastom scintilacionom kristalujednokanalnog gama spektrometra na fotovrhu za ^{137}Cs .

Cjelokupni eksperimentalni rad podijeljen je u dvije grupe: prva grupa - ispitivan je uticaj prisustva grane u ZCK na apsorpciju izotopa iz naprijed navedenih segmenata. Izvršene su tri serije eksperimenata:

1. Životinje kojima je omogućeno konzumiranje hrane do samog početka eksperimenta (u daljem tekstu "site"),
2. Životinje koje su 24h prije eksperimenta ostavljene bez hrane (u daljem tekstu "kontrolna grupa"),
3. Životinje koje su 48 h prije eksperimenta ostavljene bez hrane (u daljem tekstu "gladne").

Druga grupa - ispitivan je uticaj općteg ili lokalnog rentgen ozračivanja na apsorpciju izotopa iz istih segmenata ZCK. Vršeno je rentgen ozračivanje cijelog tijela sa 200, 600 i 1000 R, ili lokalno rentgen ozračivanje ZCK sa 600, ili 1000 R. Životinje su 24h prije eksperimenta ostavljene bez hrane. Ozračivanje životinja vršeno je na rentgenaparatu marke "Simens-Stabilipan" pod sljedećim uslovima: 16 mA, 200 kV, Cu filter 0,5 mm, D=44 cm. Pod ovim uslovima brzina apsorbovane doze, pri ozračivanju cijelog tijela iznosila je 110 R/min., a pri lokalnom ozračivanju ZCK 0,3 R/min. Ubrižgavanje izotopa u jedan od ranije spomenutih segmenata ZCK vršeno je između 30-60 min. od ozračivanja.

Rezultati o deponovanoj količini ^{137}Cs u mišićno tkivo prikazani su na tabelama, kao srednje vrijednosti sa standardnom devijacijom pojedinačnog mjerenja. Rezultati su obrađeni i po t - kriterijumu kako bi dobili pouzdaniju sliku, da li je i koliko brzina apsorpcije radiocezijuma iz istog segmenta ZCK, pod raznim eksperimentalnim uslovima, stvarno statistički pouzdana ili ne.

Rezultati i diskusija

Poznato je da postoje određeni međudopisi za svaki izotop u pogledu brzine apsorpcije - visine nivoa u cirkulaciji i brzine deponovanja u razna tjelesna tkiva. To se može primjeniti i na ^{137}Cs . Naime, može se pretpostaviti ukoliko je apsorpcija brža iz jednog segmenta ZCK pod određenim uslovima, u toliko će nivo izotopa u cirkulaciji biti

viši, a time će se i veći procenat deponovati u tkivne depoe. U našem eksperimentu procjena brzine apsorpcije ^{137}Cs iz raznih segmenata ŽCK vršena je, kao što je već rečeno, indirektno, tj. preko količine izotopa koja se za određeni vremenski interval (360 min.) deponuje u mišićno tkivo. Podaci od depozicije ^{137}Cs u mišićno tkivo pri njegovoj - apsorpciji iz želudca pod raznim eksperimentalnim uslovima dati su na tabeli 1.

Tabela 1.

Depozicija ^{137}Cs u toku 360 min. u mišićno tkivo pri apsorpciji iz želudca - izražena u % od ukupno ubrizgane količine/gr.mišićnog tkiva

Eksperimentalni uslovi	Srednje vrijednosti		P
	\pm	σ	
Kontrolna grupa	.060	.012	
Životinje "site"	.075	.045	P
Životinje "gladne"	.080	.011	.05 P .02
Ozračivanje cijelog tijela sa 200 R	.078	.006	.2 P .1
Ozračivanje cijelog tijela sa 600 R	.090	.003	.01 P .001
Ozračivanje cijelog tijela sa 1000 R	.108	.012	.001 P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 600 R	.112	.014	.001 P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 1000 R	.108	.017	.01 0 .001

Svaka grupa sačinjena je od 5 eksperimentalnih životinja

Na ovoj tabeli se vidi da se u mišićno tkivo životinja kontrolne grupe u toku 360 min. deponuje $0,060 \pm 0,002\%$ ^{137}Cs po gramu tkiva, u odnosu na apliciranu količinu izotopa, dok se kod ozračenih životinja ta vrijednost kreće u rasponu od $0,090 \pm 0,003$ do $0,112 \pm 0,014\%$ u zavisnosti od uslova ozračivanja i primljene doze. Obrada rezultata po t-kriterijumu ukazuje da između kontrolne grupe i životinja ozračenih (opšte ili lokalno) sa 600 R ili 1000 R postoje -

statistički pouzdano povećanje deponovane količine izotopa. Ovi podaci nas navode na zaključak da rentgen ozračivanje - uslovljava povećanje brzine apsorpcije ^{137}Cs iz želuca. Pri ozračivanju cijelog tijela životinja sa 200 R ne dobija se statistički pouzdano povećanje deponovane količine - izotopa u mišićno tkivo. Ovo se isto odnosi i na grupu sitih životinja. Rezultat za grupu gladnih životinja sugerira da se pri odsustvu hrane u želudcu radiocezijum brže apsorбира.

Tabela 2.

Depozicija ^{137}Cs u toku 360 min. u mišićno tkivo pri apsorpciji iz dvanaestopalačnog crijeva - izražena u % od ukupno ubrizgane količine/gr.mišićnog tkiva

Ekperimentalni uslovi	Srednja vrijednost ±	P	P	P
Kontrolna grupa	.249 ± .038			
Životinje "site"	.244 ± .017		P	
Životinje "gladne"	.351 ± .030	.001	P	
Ozračivanje cijelog tijela sa 200 R	.357 ± .004	.01	P	.001
Ozračivanje cijelog tijela sa 600 R	.410 ± .047	.01	P	.001
Ozračivanje cijelog tijela sa 1000 R	.379 ± .048	.001	P	
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 600 R	.327 ± .066	.05	P	.02
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 1000 R	.411 ± .049	.001	P	

Na tabeli 2 prikazani su rezultati o depoziciji ^{137}Cs u mišićno tkivo pri njegovoj apsorpciji iz dvanaestopalačnog - crijeva pod raznim eksperimentalnim uslovima. Kod zračenih životinja zapaža se povećanje deponovane količine izotopa - u mišićno tkivo. Ovo povećanje je statistički pouzdano. U grupi "gladne životinje" postoji takođe etatistički pouzdan o povećanje deponovane količine izotopa u mišićno tkivo u odnosu na kontrolnu grupu. U grupi "site" životinje nije zapažena ova razlika. Pri upoređenju rezultata tabele 1 sa rezultatima tabele 2

uočava se da su na posljednjoj vrijednosti o deponovanoj količini izotopa u mišićno tkivo skoro četiri puta veća. Ovaj podatak sugerira da se za isti vremenski interval iz dvanaestopalačnog crijeva apsorbuje približno četiri puta veća količina izotopa nego iz želudca, odnosno, da je apsorpcija iz dvanaestopalačnog crijeva brža.

Tabela 3.

Depozicija ^{137}Cs u toku 360 min. u mišićno tkivo pri apsorpciji iz tankog crijeva - izražena u % od ukupno ubrizgane količine/gr.mišićnog tkiva

Eksperimentalni uslovi	Srednja vrijednost		P
	\pm	σ	
Kontrolna grupa	.239	\pm .045	
Životinje "site"	.295	\pm 0.48	P
Životinje "gladne"	.338	\pm 0.32	.001 P
Ozračivanje cijelog tijela sa 200 R	.313	\pm .045	.1 P .05
Ozračivanje cijelog tijela sa 600 R	.313	\pm .050	.1 P .05
Ozračivanje cijelog tijela sa 1000 R	.423	\pm .038	.001 P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 600 R	.344	\pm .069	.05 P .02
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 1000 R	.407	\pm 0.40	.001 P

Svaka grupa sačinjena je od 5 eksperimentalnih životinja

Tabela 3 prikazuje rezultate o deponovanoj količini ^{137}Cs u mišićno tkivo pri apsorpciji izotopa iz tankog crijeva. Rezultati i komentar praktično su isti sa onima koji su iznjeti za dvanaestopalačno crijevo. Jedino bi napomenuli da rezultati za grupe životinja kod kojih je cijelo tijelo ozračivano sa 200 R i 600 R nisu statistički dovoljno pouzdani, i pored povećane depozicije radiocezijuma u mišićno tkivo u odnosu na kontrolnu grupu, zbog dosta velike standardne devijacije.

Tabela 4.

Depozicija ^{137}Cs u toku 360 minuta u mišićno tkivo pri apsorpciji iz slijepog crijeva - izražena u % od ukupno ubrizgane količine/gr.mišićnog tkiva

Eksperimentalni uslovi	Srednja vrijednost ±	P
Kontrolna grupa	.089 ±.003	
Životinje "gladne"	.118 ±.015	.02 P .01
Ozračivanje cijelog tijela sa 200 R	.157 ±.009	.001 P
Ozračivanje cijelog tijela sa 600 R	.193 ±.045	.02 P .01
Ozračivanje cijelog tijela sa 1000 R	.110 ±.013	.05 P .02
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 600 R	.105 ±1.301	P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 1000 R	.115 ±.003	.001 P

Svaka grupa sačinjena je od 4 eksperimentalne životinje

Na ovoj tabeli takođe se zapaža statistički pouzdano povećanje deponovane količine izotopa u mišićno tkivo kako kod gladnih tako i kod ozračenih životinja. Izuzetak predstavlja grupa kod koje je lokalno ozračen ŽCK sa 600 R. Ovdje je srednja vrijednost veća nego u kontrolnoj, ali je standardna devijacija dosta visoka, te uslovljava statistički nepouzdan rezultat.

Ako uporedimo vrijednosti deponovane količine ^{137}Cs po gramu mišićnog tkiva pri njegovoj apsorpciji iz želudca i slijepog crijeva zapaža se da su ove približno iste, odnosno, za slijepo crijevo su dobijene nešto veće vrijednosti. To nam sugerira da je brzina apsorpcije izotopa iz slijepog crijeva vjerovatno neznatno brža u odnosu na apsorpciju iz želudca.

Napominjemo, da iz ovog segmenta ŽCK kao i debelog crijeva nije ispitivana apsorpcija izotopa kod "sitih" životinja, obzirom da u ovim partijama crijevnog kanala ne postoji jasna razlika u količini crijevnog sadržaja između životinja ozračenih kao "site" i životinja "kontrolne grupe".

Tabela 5.

Depozicija ^{137}Cs u toku 360 min. u mišićno tkivo pri apsorpciji iz debelog crijeva - izražena u % od ukupno ubrizgane količine/gr.mišićnog tkiva

Eksperimentalni uslovi	Srednja vrijednost ±	P
Kontrolna grupa	.283 ± .019	
Životinje "gladne"	.269 ± .035	P
Ozračivanje cijelog tijela sa 200 R	.274 ± .002	P
Ozračivanje cijelog tijela sa 600 R	.287 ± .045	P
Ozračivanje cijelog tijela sa 1000 R	.300 ± .040	P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 600 R	.232 ± .013	P
Ozračivanje lokalnog ŽCK sa 1000 R	.353 ± .032	P

Svaka grupa sačinjena je od 6 eksperimentalnih životinja

Na tabeli 5 dati su rezultati o deponovanoj količini ^{137}Cs u mišićno tkivo pri apsorpciji izotopa iz debelog crijeva. Bez obzira na eksperimentalne uslove nema statistički pouzdanog povećanja deponovane količine izotopa u odnosu na kontrolnu grupu.

Poređenje rezultata iz tabele 1 i 5 pokazuje da su posljednji prosječno 3 puta veći.

Polazeći od pretpostavke koju smo iznijeli na početku izlaganja rezultata, da je količina izotopa deponovanog u tjelesna tkiva u jednom stalnom i određenom odnosu prema njegovoj količini u cirkulaciji, a ova sa brzinom apsorpcije-pokušaćemo da međusobno uporedimo dobijene vrijednosti - (prikazanog u tabeli 1-5), za ukupno deponovanu količinu ^{137}Cs u mišićno tkivo pri apsorpciji iz želudca, dvanaesto palcašnjog crijeva, tankog crijeva, slijepog crijeva i debelog crijeva. Na ovaj način dobićemo relativni odnos brzina apsorpcije izotopa iz pojedinih segmenata ŽCK. Ako prihvatimo da je količina deponovanog radiocezijuma u mišićno tki

vo pri njegovoj apsorpciji iz želudca kontrolne grupe jedi- nična vrijednost za brzinu apsorpcije, tada se pri poređe- nju sa kontrolnim grupama ostalih segmenata ŽCK dobija sli- jeđeći odnos brzina apsorpcije: želudac 1; dvanaestopalač- no crijevo 4,15; tanko crijevo 3.98; slijepo crijevo 0,48; debelo crijevo 4,22.

Sličan odnos se dobija i pri poređenju srednjih vrijednos- ti svakog segmenta: 1:3.90:3.80:0.45:3.27. To znači, da je apsorpcija iz dvanaestopalačnog crijeva, tankog i debelog- crijeva 3-4 puta brža nego iz želudca. Određenije rečeno, - apsorpcija se najbrže obavlja u dvanaestopalačnom i tankom crijevu, zatim slijedi debelo crijevo. U slijepom crijevu- apsorpcija je znatno sporija, a na kraju se nalazi želudac

Osnovno tumačenje prikazanih rezultata o brzini apsorpcije

Cs iz raznih dijelova ŽCK najvjerojatnije se nalazi u - anatomsko-histološkoj građi i fiziološkoj ulozi raznih di- jelova ŽCK. Poznato je da apsorpciona površina po jedinici dužine opada u ŽCK slijedećim redoslijedom: dvanaestopalač- no crijevo, tanko crijevo i na kraju debelo crijevo (19,20 Ovome se mora dodati i specifičnost histološke strukture - pokrovnog epitela crijevnog kanala, naime, enterocita, koji svojim prugastim pokrovom na slobodnoj površini ostvaruju- visoko apsorpcionu površinu. Nađeno je da enterocita ima najviše u dvanaestopalačnom crijevu i ostalom dijelu tan- kog crijeva, a najmanje u slijepom i debelom crijevu. Među tim, enterociti ili ćelije histološki, a vjerovatno i funk- cionalno slične njima su otkrivene u malom broju i u želud- čanom epitelu (21).

Zapažene promjene u brzini apsorpcije ^{137}Cs iz raznih dije- lova ŽCK u uslovima prethodnog opšteg ili lokalnog ozrači- vanja povezane su najvjerojatnije sa pojavom morfoloških - ili funkcionalnih lezija na crijevnom kanalu kao posljedica dejstva jonizujućeg zračenja. Kada bi se osnovni razlog povećane apsorpcije nalazio izvan nivoa ŽCK, tada bi imali povećanje depozicije ^{137}Cs u mišićno tkivo i pri apsorpci- ji iz debelog crijeva, što u našim rezultatima nije zapaže- no.

Poznato je da se morfološke lezije kod pacova javljaju već pri dozi od 400 R. Promjene su najjače izražene na epitel- nim ćelijama i imaju karakter degenerativno-destruktivnih- alteracija. Ove promjene se zapažaju već 30-60 min. nakon- ozračivanja (22). U pogledu ŽCK kao cjeline, na ozračiva- nje je najosjetljivije dvanaestopalačno crijevo, zatim sli- jedi tanko crijevo, pa želudac i na kraju se nalazi debelo - crijevo (23, 24). Dokazano je da rentgen ozračivanje ima -

uticaja i na tonus i motilitet ŽCK (25).

Po pitanju apsorpcije svi autori se slažu da se javljaju izvjesne promjene u procesu apsorpcije kako poslije opšteg tako i poslije lokalnog ozračivanja (26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36). Na osnovu izloženog može se pretpostaviti da je pojava povećane apsorpcije iz svih se gmenata ŽCK izuzev debelog crijeva, nakon opšteg ili lokalnog ozračivanja tijela životinja dozama od 600 R ili 1000 R, uslovljena promjenama morfološkog karaktera. Među tim, smatramo da se ne smije isključiti i uticaj funkcionalnih promjena na brzinu apsorpcije.

U vezi gore rečenog, može se pretpostaviti da vjerovatno postoji neka "prag" doza nakon koje se javljaju "promjene koje uslovljavaju bržu apsorpciju izotopa. Doza koja uslovljava bržu apsorpciju po našim podacima nalazi se između 200 R i 600 R, obzirom da ozračivanje sa 200 R ne daje statistički pouzdano povećanje deponovane količine izotopa u odnosu na kontrolnu grupu.

Neznatno povećanje apsorpcije odnosno depozicije izotopa u mišićno tkivo zapaženo je, kao što smo ranije spomenuli poslije 48 h intervala gladovanja eksperimentalnih životinja. Osnovni razlog vjerovatno leži u intimnijem kontaktu izotopa sa sluzokožom crijevnog kanala, obzirom da je poslije ovog intervala gladovanja crijevni kanal gotovo oslobođen hrane.

Na kraju htjeli bi da povežemo naše rezultate o intenzivnoj apsorpciji iz dvanaestopalačnog crijeva, tankog i debelog crijeva sa podacima iz literature o dosta intenzivnoj endogenoj sekreciji izotopa duž čitavog crijevnog kanala (17). Naime, ovi podaci govore da se eliminisana količina izotopa preko crijevnog kanala (endogena sekrecija ponovo apsorbuje sugerirajući postojanje višekratnog cikličnog kretanja izotopa. Ovo kretanje vjerovatno da ima slijedeći oblik: apsorpcija iz lumena crijevnog kanala — krvotok → (eventualno tkivni depoi) → krvotok → endogena sekrecija u lumen crijevnog kanala. Postojanje intenzivne apsorpcije izotopa iz debelog crijeva može da objasni pojavu relativno malih količina izotopa u stolici što je u mnogim eksperimentima dokazano i pored postojanja a izražene endogene sekrecije.

Zaključak

Na osnovu naših rezultata može se zaključiti:

1. brzina apsorpcije ^{137}Cs iz raznih dijelova ŽCK nije ista;

2. glavno mjesto apsorpcije izotopa je dvanaestopalačno - i tanko crijevo;
3. redosljed brzina apsorpcije po dijelovima ŽCK je slijedeći: apsorpcija je najbrža iz dvanaestopalačnog i tankog crijeva, iz debelog crijeva je nešto sporija i slijepo crijevo imaju nekoliko puta sporiju apsorpciju u odnosu na gore spomenute segmente;
4. u debelom crijevu se najvjerojatnije vrši samo reapsorpcija izotopa koji je u crijevni lumen dospio endogenom - sekrecijom;
5. brzina apsorpcije izotopa iz debelog crijeva se ne mijenja bez obzira na eksperimentalne uslove,
6. ozračivanje cijelog tijela ili lokalno ozračivanje ŽCK sa 600 R ili 1000 R utiče na povećanje brzine apsorpcije iz svih segmenata izuzev debelog crijeva;
7. Osnovni razlog koji uslovljava povećanje brzine apsorpcije izotopa iz ŽCK (izuzev debelog crijeva) nakon rentgenozračivanja nalazi se u promjenama koje se dešavaju u samom ŽCK, - i
8. odsustvo hrane u ŽCK pokazuje uticaj na povećanje brzine apsorpcije izotopa iz svih dijelova crijevnog kanala - osim debelog crijeva.

ABSORPTION OF ^{137}Cs FROM DIFFERENT SEGMENTS OF THE GASTRO-INTESTINAL TRACTS

There is a series of insufficiently studied phenomena and behaviours of ^{137}Cs in biological systems. These involve the absorption of isotopes from functionally different segments of the gastrointestinal canal.

On our experiments we studied the effect of the presence or absence of food in the intestinal canal the X-ray whole body irradiation or local irradiation of the gastrointestinal canal with doses of 200, 600 and 1000 R on the absorption of $^{137}\text{CsCl}$ from the stomach, duodenum, small intestines, caecum, and the colon.

The results indicate that the absorption rate of ^{137}Cs from different segments of the gastrointestinal canal is not the same. Absorption is fastest from the duodenum and the small intestine, while from the colon is slightly slower. Absorption from the caecum and the large intestines is considerably slower. This implies that the main place of ^{137}Cs absorption is the duodenum and the small intestines. It is most probable that in the colon the isotope which arrived in the intestinal lumen by endogenous secretion has only been reabsorbed.

Whole-body X-irradiation or local irradiation of the gastrointestinal canal with doses of 600 or 1000 R affect the increase in the absorption rate from all segments of the gastrointestinal canal except for the colon. The factor upon which depend the increase in the absorption rate of isotopes from the gastrointestinal canal after irradiation are the changes which occur in the gastrointestinal canal. Absence of food shows the effect on the increase in the absorption rate of isotopes from all section of the intestinal canal except the colon.

Literatura

1. E.B. Kurljandskaja, Materijali po toksikologii radioaktivnih vešćestv, Vipusk I. pod red. A.A. Letaveta i E.B.-Kurljandskaja, Medgiz, 1957, Moskva, str. 3-10;
2. E.B. Kurljandskaja, N.L. Belobarodova i E.F. Baranova, Materijali po toksikologii radioaktivnih vešćestv. Vipusk I. pod red. A.A. Letaveta i E.B. Kurljandskaja, Medgiz, - 1957, Moskva, str. 31-40;
3. J.E. Balou, R.C. Thompson, Health Physics, 1, 85-90 - (1958);
4. J. Rudno, Brit. J. Radiology, 37, 108-114 (1964);
5. J.G. Hamilton, Radiology, 49, 325-343 (1949);
6. S.M. Hood and C.L. Comar, Arch. Biochem. Biophys. 45, - 423-433 (1953);
7. S. Suguri, S. Ohtavi, J. Akaiahi and N. Makind, Health Physics, 10, 469-472 (1964);
8. Ju. I. Moskaljev, Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedin kogo i Ju. I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str.5-19;
9. Ju. I. Moskaljev, Aktualnije voprosi raspredelenija i - kinetiki vivedenija radioaktivnih izotopov, Diagnosis an- Treatment of Radioaktive Poisoning, IAEA 1963, Vienna, - str. 287-306;
10. A.I. Buldakov, Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie- i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedinskogo i Ju. I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str.82-87
11. Ju.I. Moskaljev: Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedinskogo i Ju. I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str. 141 -, 145;
12. Ju.I. Moskaljev: Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie- i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedinskogo i Ju.I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str.135-141;
13. Ju.I. Moskaljev: Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedinskogo i Ju.I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str.10-117;
14. C.A. Robačeva, Raspredelenie, Biologičeskoe dejstvie i migracija radioaktivnih izotopov, pod red. A.V. Lebedinskogo i Ju.I. Moskaljeva, Medgiz, 1961, Moskva, str. 123-129
15. R.H. Wasserman, C.L. Comar, D.N. Tapper, Proc. Soc. - Exptl. Biol. Med. 113, 305-307 (1963);
16. W. Moore and C.L. Comar, Intern. J. Radiation Biology 2, 247-254 (1962);

17. W. Moore, C.L. Comar and R.H. Wasserman, Use of Radioisotopes in Animal and Medical Sciences, Proceedings of a Conf. Held on Mexico City, 21.nov. - 1.december 1961, Vol. 2, str. 117-137, Academic Press, 1962, London;
18. W. Moore and C.L. Comar, Intern. J. Radiation Biol. 6 507, (1963);
19. A.B. Kostić, Osnovi normalne histologije, str. 312-404. Med. knjiga, Beograd, 1963;
20. A.A. Maximow and W. Bloom, Textbook of Histology, str. 363-401. Sanders Company, London 1957;
21. C.L. Comar, and F. Browner, Mineral Metabolism, 1, - part A. Academic Press, New York, 1960, str.249;
22. W. Bloom, Histopatology of Irradiation from External- and Internal Sources, NES, Div. IV. 22-I. McGraw-Hill Book Comp. 1948, New York, str.502;
23. M. Errera and A. Forsberg, Mechanisms in Radiobiology, Vol. II, Academic Press, 1960, New York, str. 156;
24. E. De Coursey, J. American, Med. Ass., 151. 904 (1953)
25. R.A. Conard, American J. Physiol. 165, 375 (1951);
26. R. De Goodman, A.E. Lewis and Schuck E.A., American - J. Physiol. 169, 242 (1952);
27. E.S.G, Barron, W. Wolkowitz at col., Biological Effect of External X and Gamma Radiation, Part I. Ed. R.E. Zirkle McGraw-Hill Book Company, 1954, New York;
28. S.R. Perepelkin, Narušenije sekretornoj funkciji želez želudka i tonkoj kiški pri otrovleniju radioaktivnim vešče stvaši, Medgiz, 1960, Moskva;
29. J.T. Ferra and M.B. Small, Am. J. Physiol. 186. 549 - (1956);
30. L.E. Detrick, H.C. Upham, and col., Radiat. Res. 21, - 186 (1964);
31. T.K. Fedorova, Trudi Veesojuznoj konf. po med. radiologii, str.103, Moskva (195);
32. Morehouse and R.L. Searcy, Science, 123, 1032 (1956);-
33. F.V. Lengemann, Radiat, Res. 13, 892 (1960);
34. P.F. Curan, W.E. Webster, and Hovesepian J.A., Radiat. Res. 13, 369 (1960);
35. C.J. Godner, and T.E. Moore, Am. J. Physiol. 183, 475; (1955);
36. H. Foreman, J. Post. and C. Finnegan. Radiat. Res. 7, 267 (1957);

IV. DEKONTAMINACIJA VODE

Problemi kontaminacije vode za piće u Jugoslaviji radioaktivnim materijama u slučaju nuklearnog rata

G. Žarković

Da li bi jedan nuklearni rat, popraćen sa ogromnim povećanjem radioaktivnih taloga iz atmosfere nastalih prilikom eksplozija doveo na teritoriji Jugoslavije do ozbiljnije kontaminacije vode za piće i da li bi zbog toga kontaminacija vode e nuklearnim talozima predstavljala ozbiljan problem u odnosu na ostale opasnosti do kojih bi doveo jedan nuklearni rat. To su osnovna pitanja na koje će ovaj referat pokušati - da daje odgovor.

Procjena opasnosti koje bi proizašle iz kontaminacije vode za piće radioaktivnim talozima je kompleksan postupak pri - kom se mora u najmanju ruku računati sa slijedećim elementima: gornjim granicama kontaminacije vode iz atmosfere koje se mogu očekivati; procjenom maksimalno dozvoljenih koncentracija radioizotopa u vodi u periodu iza nuklearnog napada; izvorima i kvalitetom javnog i kućnog sistema snabdjevanja vodom i napokon efikasnosti instalacija ili procesa koji se upotrebljavaju ili bi se upotrebljavali u slučaju potrebe - za kondicioniranje vode za piće.

Gornje granice kontaminacije vode iz atmosfere

U slučaju nuklearnog rata kontaminacija zemljišta i površinskih voda bi ovisila o mnogobrojnim faktorima kao što su brzina i snaga nuklearnih oružja koja bi eksplodirala nad našom teritorijom ili van nje, a unutar dosega vazдушnih strujanja koja bi mogla donijeti oblake radioaktivne prašine na našu zemlju. Visina iznad tla na kojoj su eksplozije izvršene - bi bila također od velikog značaja. Po Morganu i Straubu - /1/ bi samo eksplozije izvršene pod vodom i pod zemljom odn. na nivou zemlje izazvale znatniju kontaminaciju površina. Izvjesni nepovoljni meteorološki uslovi bi također mogli dovesti do većeg obrazovanja radioaktivnih taloga koji se inače dižu sa vatreom kuglom nuklearne eksplozije na veliku visinu i distribuiraju se u troposferi odn. u slučaju megatonskih eksplozija široko u stratosferi. Topivost radioaktivnih taloga je također od značaja za procjenu kontaminacije vode. Prema Lindstednu i koautorima /2/ topivost radioaktivnih taloga bi mogla biti i do pedeset posto. Vrsta zemljišta na kom odn. nad kojim je izvršena eksplozija bi imala izvjesnog značaja za topivost nuklearnih taloga. Clark i saradnici /3/ su studirali opasnost od vode za piće i mlijeka iz nekog nuklearnog napada i došli su do zaključka da bi bilo moguće izračunati intenzitet zračenja iz radioaktivnih taloga, na različitim nivoima i pod različitim uslovima nuklearnih napada.

Hawkins /4/ je proučavao utpliv karakteristika rezervoara vode na dozu internog zračenja koja bi uslijedila zbog upotrebe kontaminirane vode. Po njemu je vjerovatno da postoji mogućnost da bi bilo kojim vjerovatnim uslovima nuklearnog napada neka godina zranica zračenja, što znači da bi bilo moguće izračuna

ti i maksimalni vjerovatni stepen kontaminacije vodnih reze rvoara, a iz toga opet izvesti doze zračenja koje bi pojedini organi primili od /za rani period iza eksplozije/ najvažnijih radioizotopa u produktima zračenja /I 131, I 132, Sr-89, Ba 140/. Hawkins je izveo doze koje bi se primile u toku upotrebe kontaminirane vode kroz 90 dana izražene kao funkcije vremena u odnosu na početak upotrebe ove vode od momenta napada/. Progutani beta emiteri bi dali najveće doze zračenja na donje debelo crijevo i štitnjaču, a manje na krvotvorne organe. Primljena doza će biti to manja što kasnije nastupi početak korištenja kontaminirane vode iza eksplozije.

U ovom referatu nije moguće ulaziti u zakonitosti širenja - nuklearnih taloga kroz atmosferu, niti u problem smanjivanja ukupne doze, te posebno doze od gama zračenja kao funkcije vremena, udaljenosti od nulte tačke eksplozije, te pravca i brzine kretanja vazduha. Zainteresovani čitalac može ove informacije dobiti u svakom pouzdanijem priručniku, kao npr u Glasstonovoj knjizi o efektima nuklearnog oružja /5/. Završne svrhe ovog referata dovoljno je pretpostaviti da u slučaju nuklearnog rata svaka tačka naše teritorije može biti pokrivena radioaktivnim talozima iz atmosfere do te mjere da sva ki izvor vode koji je u kontaktu sa površinom zemlje ili vazduhom može biti kontaminiran.

Najviše dozvoljene koncentracije radionuklida u slučaju nužde

Za ocjenu da li je neka voda za piće kontaminirana radionuklidima mi ćemo i u slučaju nužde nadjenu radioaktivnost uspoređivati sa preporukama koje je Međunarodna komisija za radiološku zaštitu dala za trajnu upotrebu vode kod lica profesionalno izloženih zračenjima. Kako doze radioaktivnosti kojima se izlaže stanovništvo u cjelini moraju biti za deset /6/ puta manje, a u slučaju da nije vršena analiza vode, to znači da bi radioaktivnost u 1 cm³ vode morala iznositi 10⁻⁸ mikrokirija, odn. kad nisu prisutni Ra²²⁶ niti Ra²²⁸ onda 10⁻⁷ mikrokirija. Ovakav stepen čistoće vode u nuklearnom ratu se vjerovatno neće moći postići. Radi toga je svogvremeno Atomska komisija SAD /7/ izdala orijentacione granice dozvoljene radioaktivnosti za vodu koja bi se koristila za vrijeme desetodnevnog perioda iza neke nuklearne eksplozije. Granice su išle do 9 x 10⁻⁴ mikrokirija na kubni centimetar za beta i gama radioaktivnost i 5 x 10⁻⁵ mikrokirija na kubni centimetar za alfa aktivnost. Ako bi se kontaminirana voda koristila u toku mjesec dana, gornje vrijednosti bi trebalo reducirati za tri puta, faktor redukcije od 3. Mogran i Straub /1/ su objavili jednu jednadžbu za izračunavanje maksimalne dozvoljene koncentracije radionuklida u vodi koja bi došla u obzir da se primjeni za period od 8 sati pa do 10⁻³ dana iza nuklearne energije. Maksimalna dozvoljena koncentracija /MDK/ je izražena u mikrokirijama na kubni centimetar, a vrijeme t u danima iza eksplozije, te glasi

$$\text{MDK} = 10^{-3} t^{-1.2}$$

Mi još nemamo naših propisa niti usvojenih normi u ovom pogledu iako bi oni bili neophodno potrebni organima civilne zaštite, kao i organizacijama odgovornim za snabdjevanje vodom radi odredjivanja i sprovođenja odredjenih postupaka - u prečišćavanju kontaminirane vode.

3. Izvori snabdjevanja vodom

Za procjenu opasnosti od kontaminacije vode od strane nuklearnih taloga iz atmosfere u svakom slučaju je najvažnije znati u kojoj mjeri su izvorišta vode izložena kontaminaciji - spolja i koliko se ljudi služi tim izvorištima. Kontaminaciji putem vode bilo bi najviše izloženo stanovništvo koje koristi vodu koja komunicira sa zemljinom površinom na koju se talože radioaktivne padavine i talozi. U znatno manjoj mjeri bi bila kontaminirana voda, odn. manje bi bilo ugroženo stanovništvo, koje koristi podzemnu vodu. U Jugoslaviji nije bilo posebno proučavano stanje izvorišta vode za piće - sa stanovništa mogućnosti kontaminacije radioaktivnim talozima iz atmosfere. Postojeće statistike nam međutim dozvoljavaju da o tom dobijemo izvjesnu grubu pretpostavku.

Prvi i jedini opće jugoslovenski popis snabdjevanja stanovništva vodom za piće je proveo Savezni sanitarni inspektorat 1949 g. /8/. Poriijeklo vode za piće koju je stanovništvo u to doba koristilo prikazana je na Tab.1.

Tabela 1.

Postotci stanovništva Jugoslavije koje se služilo odredjenim izvorištima vode za piće 1949 g.

Način snabdjevanja	Stanovništvo koje je koristilo izvorišta	
	%	broj
Lokve	0,63	98.523
Cisterne	5,66	892.000
Vodotoci	1,97	310.000
Kopani bunari	39,12	6.160.000
Cijevni bunari	9,78	1.537.500
Izvori	21,45	3.378.500
Vodovodi	21,32	3.360.700

Unutar posljednjih 15 godina stanje snabdjevanja vodom /naravno u gradovima/ se znatno popravilo, ali je istovremeno i znatno porastao broj stanovnika u zemlji, tako da se odnosi s obzirom na izvorišta nisu bitno izmijenila.

Sa stanovništa kontaminacije radioaktivnim talozima najviše je ugroženo stanovništvo koje se snabdjeva iz lokava, cisterni i vodotoka, tj. nešto preko 8% stanovništva odn. oko 1.5 milijun stanovnika. Međutim, snabdjevanje vodom iz cis-

terni ne mora biti bezuslovno opasno pod pretpostavkom da - su one bile prethodno napunjene nekontaminiranom vodom i da se rezervoari cisterni zaštite od kontaminacije nakon nuklearnog napada.

Stanovništvo koje koristi podzemnu vodu bi u slučaju napada bilo znatno manje ugroženo. Kopani bunari su izloženi u većoj mjeri kontaminaciji spolja od cijevnih bunara. Da bi poboljšali njihovu bezbjednost bilo bi potrebno da se njihovi otvori što bolje pokriju i voda iz njih da se crpe pumpama. Cijevni bunari u tom smislu imaju prednost, a arteški bunari su dakako još daleko bezbjedniji.

Jedna neobjavljena anketa o stanju snabdjevanja vodom na selu koja potiče iz 1955. godine sadrži podatke o udaljenosti vodoopskrbnih objekata od seoskih domaćinstava. Ti podatci su prikazani na Tabeli 2.

Tabela 2.

Udaljenost vodoopskrbnih objekata od stambenih zgrada stanovništva koje živi na selu, prema stanju 1955.g.

Republika	Broj seoskog stanovništva 1955	Postotak stanovništva koje se koristi vodom za piće lociranim u sljedećoj udaljenosti							
		u zg radi	u dvo rištu	100 m	101-300 m	301-500 m	501-1000 m	1000 m	
SFRJ	13.215.000	2.6	33.4	30.7	20.7	6.8	4.3	1.5	
SR Srbija	5.498.000	0.1	36.1	32.0	20.1	6.7	3.3	0.7	
SR Hrvatska	2.844.000	3.6	46.6	21.0	13.4	6.8	5.8	2.8	
SR Slovenija	1.139.000	18.5	43.1	23.3	9.7	3.8	1.2	0.4	
SR Bosna i Hercegovina	2.472.000	0.7	15.9	40.4	29.0	7.7	4.5	1.8	
SR Makedonija	910.000	0.3	20.7	37.3	27.7	7.1	6.6	0.3	
SR Crna Gora	353.000	2.1	9.4	28.2	31.8	11.8	9.7	7.0	

Iz ove ankete proizlazi da prosječno na selu u Jugoslaviji svega 2.6 posto seoskih domaćinstava ima vodu u kući, a svega 36 posto u kući ili u dvorištu. Ostali su prisiljeni da idu po vodu na dužu ili kraću udaljenost. 63 posto seoskih domaćinstava je prisiljeno da ide po vodu na udaljenost već u od 100 m. Situacija je vrlo različita u pojedinim republikama. Najpovoljnija je situacija u Sloveniji gdje 61.6% domaćinstava ima vodu u kući ili u dvorištu. Najnepovoljnija situacija je u Crnoj Gori gdje u ovu kategoriju spada svega 11.5% domaćinstava, u Bosni i Hercegovini /16.6%/ i u Makedoniji /21%/.

Faktor udaljenosti vodoopskrbnih objekata od kuće moramo dati naročiti značaj. Poznato je da izgledi na preživljenje stanovništva koje će se naći na pravcu širenja oblaka radio

aktivne prašine ovise o tome da li će ljudi naći koliko toliko povoljan zaklon i da li će u njemu ostati disciplinovan o makar jednu nedjelju nakon nailaska opasnosti. Disciplinovan boravak u bilo kakvom podrumu ili čvršćoj prostoriji u nekoj stambenoj zgradi može biti presudan za smanjivanje izlaganja zračenju i smanjivanje interne kontaminacije. Pod pretpostavkom da će stanovništvo na pravcima kretanja radioaktivnih padavina biti dobro i dovoljno obavješteno o tom da u prvim danima iza eksplozije ne treba da napušta skloništa odn. objekte u kojima se zateklo, postavlja se pitanje šta može ljude nagnati da se ne pridržavaju tih mjera. To su žeđ i glad. Oni koji nemaju vodu u kući biće prisiljeni da je traže u okolici i pri tom će se izlagati zračenju, a i prenijeti kontaminaciju i među ostala lica u skloništu. Prema tome neriješeno snabdjevanje vodom za većinu socijalnog stanovništva predstavlja smrtnu opasnost čak i u slučaju da vodovodni objekti ne budu kontaminirani. Rješenje problema može biti dvostruko i to: /1/ sistematsko investiranje u poboljšanje snabdjevanja vodom na selu i /2/ sistematski odgoj stanovništva da u slučaju opasnosti održava sedmodnevne zalihne hrane i vode unutar svojih stambenih zgrada.

Gornja situacija može biti pogibeljna i za gradsko stanovništvo. Svaka razumna politika civilne zaštite mora predvidjeti raseljavanje gradskog stanovništva u sela. Smještavanje gradskog stanovništva u selima gdje nisu u kućama dostupne dovoljne količine vode za piće može međutim teško ugroziti izbjeglice i izložiti ih opasnostima zračenja i interne kontaminacije koje su malo prije opisane.

Najnoviji raspoloživi podatci o snabdjevanju gradova vodom za piće odnose se na 1963 g. i prikazani su na Tabeli 3.

Tabela 3.

Broj gradskih naselja sa vodovodom u SFR Jugoslaviji u 1963

Republika	Broj urbaniziranih naselja	Broj urbani - ziranih naselja sa vodovodom	Postotak urbaniziranih naselja sa vodovodom
SFR Jugoslavija	253	204	80
SR Srbija	83	63	75
uža Srbija	49	45	91
Vojvodina	24	12	50
Bosno i Hercegovina	8	6	75
SR Hrvatska	55	39	70
SR Slovenija	37	32	86
SR Bosna i Hercegovina	47	41	87
SR Makedonija	22	20	90
SR Crna Gora	9	9	100

Iz Tabele 3 vidimo da u Jugoslaviji još 20 posto gradskih naselja nema svoje vodovode i da taj broj naselja sa vodovodom

dom varira po republikama između 70% /Hrvatska/ do 100% - /Crna Gora/. Najlošije svakako stoje gradska naselja u AP- Vojvodini koja imaju vodovode samo u 50% slučajeva. Kad bi sve gradsko stanovništvo imalo u svojim stanovima od kontaminacije zaštićenu tekuću vodu, onda u njima ne bi postavljao problem vode u slučaju nuklearnog rata. Na žalost, kako stvari danas stoje, i u naseljima koja imaju vodovode- radiološka bezbjednost stanovništva se smanjuje iz slijedećih razloga:

/1/ Korištenje vodovoda: u gradovima sa vodovodom uvijek postoji izvjestan procenat stanovništva koje nije u mogućnosti i da koristi gradski vodovod. U 1963 oko 28% stanovnika u gradovima sa vodovodom nije koristilo vodu iz vodovodne mreže.

/2/ Funkcionisanje gradskih vodovoda u uslovima nuklearnog rata. U slučajevima napada nuklearnim oružjem na pojedine gradove postoje mogućnosti da u izvjesnim gradovima budu uništene neke vodovodne instalacije ili da budu odrezane od snabdjevanja električnom energijom. U naročito nepovoljnom položaju bi se našli vodovodi u kojima se doturanje vode vrši potiskivanjem pomoću električnih pumpa. Na Tabeli 4 je prikazano stanje vodovoda u 1962 g. prema načinu konstrukcije. Iz tabele se vidi da je u to doba u SFRJ bilo samo 60 vodovoda odn. 28.4% koji su bili čisto gravitacionog tipa i kojima vjerovatno nuklearni napad ne bi mnogo naškodilo. Ostali vodovodi su bili potisni ili gravitaciono-potisni, tj. koristili su pumpe i električnu energiju za doturanje vode, te za njih moramo pretpostaviti da bi u slučaju nuklearnog napada na odgovarajući grad ili područje mogli biti pokvareni, a stanovništvo u kritičkim danima iza napada ostavljeno bez vode.

/3/ Uredjaji za kondicioniranje vode. Sva vodovodna poduzeća koja uzimaju vodu iz otvorenih rezervoara, jezera ili vodotoka morali bi prije doturanja vode da je na neki način podvrgnu prečišćavanju. Preduslov za ovu operaciju je u najmanju ruku postojanje normalnih uredjaja za kondicioniranje - /sedimentacija, koagulacija, filtracija/. Nažalost ne postoje statistike o tome koliko vodovoda u našoj zemlji ima instalacije za kondicioniranje vode, ali je poznato da je broj takvih vodovoda minimalan. Upotreba neprečišćene kontaminirane vode iza nuklearnog napada u ovakvim slučajevima se ne bi smjela dozvoliti, te bi se nepripremljeno stanovništvo sa područja snabdjevanja takvih vodovoda našlo u posebno ugroženom položaju. Sedmodnevne zalihe vode za piće bi zato u mnogim našim gradovima bile rješenje koje bi donijelo spas života mnogim gradskim stanovnicima.

Efikasnost postupaka za radiološku dekontaminaciju vode za piće, ukoliko se mora koristiti kontaminirano izvorište vode, je također faktor o kom se mora voditi računa u procjenjivanju opasnosti odn. u planiranju mjera zaštite za slučaj kontaminacije vode radioaktivnim proizvodima nuklearnih eksplozija. Taj problem se razmatra u većem broju ostalih referata na ovom simpozijumu, pa se on neće posebno razmatra

Tabela 4.

Vodovodi u Jugoslaviji 1962, prema načinu dopreme vode

Republika	Način gradnje				
	gravita- cioni	potis- ni	gravita- cioni-po- tisni	nepozna- to	svega
SFR Jugoslavija	60	62	85	4	211
SR Srbija	15	26	19	1	61
uža Srbija	11	21	12	1	45
Vojvodina	2	5	4	-	11
Kosmet i Me- tohija	2	-	3	-	5
SR Hrvatska	7	15	19	3	44
SR Slovenija	8	10	17	-	35
SR Bosna i Her- cegovina	15	8	19	-	42
SR Makedonija	13	2	5	-	20
SR Crna Gora	2	1	6	-	9

ti u ovom referatu.

Zaključak

Kontaminacija vode za piće u nuklearnom ratu je mogućnost - sa kojom treba računati, a interna kontaminacija koja bi nastupila unošenjem radionuklida u organizam putem vode može znatno doprinjeti razvoju akutne bolesti zračenja kao i kasnim posljedicama.

Kod izrade lokalnih planova civilne zaštite obavezno treba razmotriti kako bi u slučaju atomskog rata funkcionisalo snabdjevanje stanovništva vodom za piće. U svim situacijama gdje postoji mogućnost kontaminacije vode za piće treba u mirdopskim pripremama izvršiti radove koji će pružiti veći stepen zaštite vodoopskrbnih objekata, ili makar obezbjediti uslove za dekontaminaciju vode.

Posebna problem u nuklearnom ratu bi u prvim danima izo pro-laska radioaktivnih oblaka predstavljalo snabdjevanje vodom seoskog stanovništva koje se snabdjeva vodom iz objekata udaljenih od stambenih zgrada, kao i izbjeglica iz gradova koje bi se nalazilo po selima ili u logorima i zbjegovima. Sistematsko asaniranje vodoopskrbnih objekata po selima bi znatno poboljšalo radiološku bezbjednost kako seoskog tako i gradskog stanovništva, pored mnogobrojnih drugih prednosti koje bi dalo u predohrani hidričnih infekcija, u poboljšanje u opće čistoće i u uštedi vremena koje se danas gubi u depremanju vode za piće i domaćinstvo. Stvaranje sedmodnevnih zaliha vode i hrane u domaćinstvima, skloništima, mjestima javnog rizika u poduzećima itd. znatno bi smanjilo rizik od kontaminacije putem nezaštićene hrane i vode do koga - bi neminovno doveo nuklearni rat.

Literatura:

/1/ Morgan K.Z., Straub C.P.: External and Internal Exposure to Ionising Radiation and Maximum Permissible Concentration of Radioactive Concentration in Air and Water Following an Atomic Explosion, AECU - 2332 /1952/:

/2/ Lindsten D.C., Prnet P.B., Smitt R.P., Lacy W.J.: J.Amer. Water Works Assn. /1961/ 53, 256:

/3/ Clark E.T., Kaplan A.L., Callakan E.D.: The Potential - Radiation Hazard from Water Supplies and Milk after a Nuclear Attack, Techn. oper. Inc. To-B6o27 /196o/:

/4/ Wawkins M.B.: The Influence of Reservoir Characteristics on the Internal Radiation Dose Resulting from the Consumption of Fallout-Contaminated Water, Univ. of California, Civil Defense Research Project, Ser. 2, In.32 /196o/:

/5/ Glasstone S.: The Effects of Nuclear Weapons, U.S.A.E.C Washington D.C. /1957/:

/6/ Izvještaj Komiteta II Medjunarodne komisije za radiološku zaštitu o dozvoljenim dozama za interna zračenja /1959/, Health Physics 3, str.86, 196o:

/7/ USA AEC /1951/: AEC Contract Policy and Operations, Ninth Semiannual Report to the Congress, Washington, D.C.:

/8/ Savezni sanitarni inspektorat: Stanje snabdjevanja vodom i uklanjanja otpadnih tvari u FNRJ, Bilten SSI, 2/51:

Efikasnost različitih postupaka za dekontaminaciju vode za piće

G. Žarković, A. Leovac-Mitrinović

Predmet ovog referata je da izloži osnovne pojmove o efikasnosti prečišćavanja vode za piće od radioaktivnog zagađenja, rezultate koji nam se čine najvažnijim za ovaj problem, a koji su dati u stranoj literaturi i rezultate eksperimenata koji su izvedeni u našoj laboratoriji.

Voda za piće je jedan od mogućih medija preko kojih u ljudi i organizam mogu biti uneseni radioaktivni produkti nastali poslije nuklearne eksplozije. Obezbeđivanje vode koja se može upotrijebiti za piće mora biti dio mjera predviđenih u planovima civilne zaštite.

Za život i zdravlje ljudi nije važna samo ukupna radioaktivnost nego i učestalost pojedinih radioaktivnih elemenata, jer se oni u organima različito ponašaju i imaju različite kritične organe na koje djeluju. Kod proizvoda fisije starih do mjesec dana problem predstavlja telur, stroncijum, itrijum-barijum, niob, ksenon, cer, rodijum, praeodijum i jod. Pretpostavlja se da se svi elementi nastali neutronsom fisijom urana mogu naći u vodi, mada se neki gasovi ili jako volatilne čestice ne mogu zadržati niti kondenzovati na česticama iz taloga.

Efikasnost procesa za prečišćavanje vode

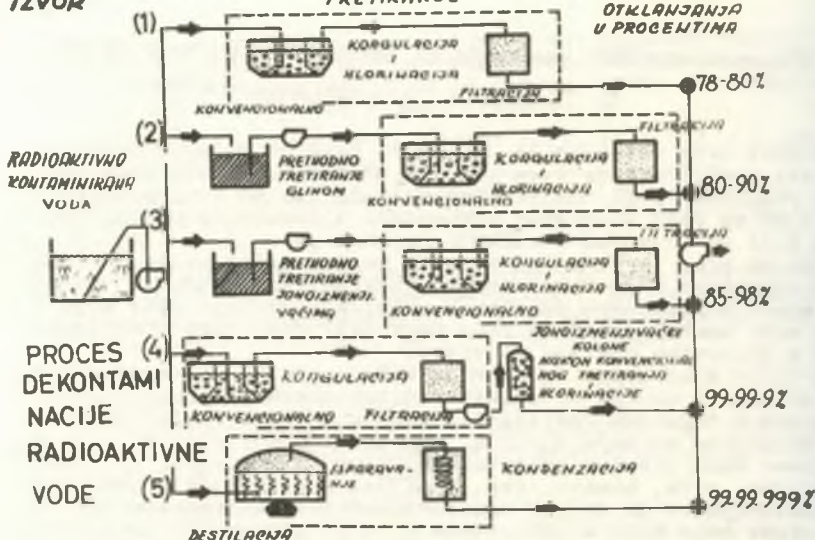
Gradska naselja kao i individualna domaćinstva treba pripremiti tako da bi prikladnim postupcima prečišćavanja eventualno mogli smanjiti opasnost od upotrebe radioaktivno-kontaminirane vode. Uklanjanje radioizotopa moguće je samo njihovim izdvajanjem iz disperznih sistema u kojima se nalaze. Pri tome je hemijski oblik radioaktivnog elementa od najveće važnosti za uspjeh upotrijebljenog procesa. Efikasnost klasičnih i novih načina prečišćavanja vode ispitivana je u posljednjih 15 godina u mnogim zemljama, a naročito u SAD. Odjeljenje za zdravstvenu fiziku Nacionalne laboratorije u Oak Ridge-u, zajedno sa centrom za sanitarnu tehniku "Robert Taft" instituta, dalo je zajednički program u kojem su zastupljene laboratorijske i pilotske studije kao i ispitivanja jedinica za obradu vode u slučaju opasnosti. Rezultati njihovih istraživanja, zajedno sa podacima iz drugih izvora, publikovani su u jednom dobro poznatom izvještaju (1) Lacy i Stangler su sakupili rezultate raznih eksperimenata u dijagramu koji pokazuje efikasnost ispitivanih procesa za radioaktivnu dekontaminaciju vode. Mi smo pozajmili ovaj dijagram kao uvod za daljnju diskusiju po ovom problemu (2).

Uobičajeni načini koji se upotrebljavaju pri gradskim vodovodima za prečišćavanje pijaće vode, kod radioaktivno kontaminirane vode imaju efikasnost 78-80% odstranjivanja. Ukoliko se voda prije ulaska u proces obradjuje glinom, postiže se efikasnost od 80 do 90%. Prethodna obrada jonoizmjenjivama ima kao rezultat 85 do 99% uklanjanja, a naknadno prop

IZVOR

TRETIRANJE

EFIKASNOST
OTKLANJANJA
U PROCENTIMA



uštanje kroz jonoizmjenjivačke kolone 99 do 99,9%. Destilacijom se uklanja 99,9%.

Vidimo da se dodavanje gline vodi prije ulaska u proces koagulacije pokazalo kao vrlo efikasno ako postoje određeni uslovi za sigurnu dispoziciju radioaktivnog mulja. Vrlo su efikasne jonoizmjenjivačke smole, naročito upotrebljene nakon konvencionalne obrade, ako postoje određeni uslovi za njihovu dekontaminaciju i dispoziciju. Jedan od najefikasnijih načina dekontaminacije je destilacija. U slučaju potrebe ova procedura se može uspješno primjeniti u domaćinstvima a ako postoje dostupni izvori energije, i za gradska naselja.

Lacy i Stranglerove brojke, koje u procentima daju efikasnost uklanjanja radioaktivnosti različitim metodama, moraju se smatrati samo kao orijentacione, jer razni procesi prečišćavanja imaju različitu efikasnost za pojedine izotope, što zavisi od njihovih hemijskih karakteristika. Za civilnu zaštitu, kao i za druge potrebe uklanjanja radioaktivnih otpadaka, neophodno je da se zna relativna efikasnost procesa dekontaminacije za pojedine radioizotope.

U našem Institutu sakupili smo izvjesna iskustva o postupku dekontaminacije pod uslovima laboratorijskog rada i ispitivali smo efikasnost raznih materijala prema 11 različitih radioizotopa i jednoj grupi radioizotopa koja je simulirala mješavinu starih gisionih produkata. Rezultati naših eksperimenata već su objavljeni u publikaciji /broj 10/ našeg Instituta. Na dvjema tabelama predstavljeni su najvažniji rezultati naših ispitivanja. (3)

U tabeli 1. sumirane su efikasnosti raznih procesa koagulacije

Tabela 1.

EFIKASNOST RAZNIH PROCESA KOAGULACIJE NA ODSTRA-
NIVANJE RADIOIZOTOPA IZ KONTAMINIRANIH VODA

KOAGULANT u p.m.	RADIOIZOTOP I PROCENAT ODSTRANJIVANJA											
	P-32 <i>Na₂PO₄</i>	S-35 <i>Na₂SO₄</i>	Cr-51 <i>Na₂CO₃</i>	Zn-65 <i>Zn(NO₃)₂</i>	Sr-85 <i>SrCO₃</i>	Sr-89 <i>SrCO₃</i>	Nb-95 <i>Nb₂O₅</i>	Ru-106 <i>RuCl₃</i>	J-131 <i>Na₂S₂O₃</i>	Cs-137 <i>Na₂CO₃</i>	Ba-140 <i>BaCl₂</i>	Sm-147 <i>Na₂CO₃</i>
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	666599	20-3	6721	1-64	2-62	4-00	326371	566872	0-6...	578	313-29	14-28
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	656889	10-2	231210	852	85-13	019	368792	722,78	--27	263032	616059	3642
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	67-99	023	27-11	16923	333	000	828890	889091	--18	51621	35-36	37-2937
<i>Fe₂(SO₄)₃</i>	797883	1-0-1	1-9-7	163150	1-1-1	1-0-0	788786	566771	0-1-	112024	323631	2632
<i>Fe₂(SO₄)₃</i>	689196	1-1-1	12-7-25	263351	1-1-1	0-2-0	839092	389191	-15-	7-12-5	383635	38-44
<i>FeCl₃</i>	809088	27-0	1-5-7	03-1	1-2-2	0-1-1	274347	295666	1-6-6	3--	33627	30-35
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	85	1	7	98	1	1	58	27	1	13	42	20
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	80	1	18	98	0	1	1	26	5	27	46	4
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	16	0	1	5	1	1	6	11	5	12	25	1

Ije za uklanjanje pojedinih radioizotopa kao i saješe izoto-
pa. Iskustva većine autora sa solima aluminija i gvoždja po-
kazuju da one nisu dovoljno efikasne za uklanjanje radioakt-
ivnih materijala iz vode, izuzev većine 3,4, i 5-valentnih-
kationa. (4)

Naša iskustva su u saglasnosti sa publikovanim podacima dru-
gih autora.

Postigli smo dobre rezultate sa fosforom 32, Nb 95 i Ru 106
Dodavanje glina i aktivnog ulja redovno bi povećavalo efika-
snost procesa koagulacije. Mali uspjeh u našim eksperimenti
na postigli smo sa J 131, Sr 85, Sr 89, S 35, Vr 51 i Zn -
65. Objavljeno je da dodavanje malih količina bakar-sulfata
ili srebrnog nitrata povećava uklanjanje I 131 do oko 96%.

Upotrebljavajući različite količine ferohlorida i vapnenca-
lii aluminijuma i vapnenca, Lacy je postigao sasvim dobre
rezultate u uklanjanju J 131, Zn 65, Nb 95 i Ba 140. Mi smo
upotrijebili natrijev karbonat sa istim koagulantima, ali -
rezultati nisu zadovoljavajući, naročito ne za J 131.
Uzevši u obzir da mnogi polivalentni kationi čine skoro ner-
astvorljive veze sa fosfatima u rastvorima sa visokim pH,
Lauderdale je za koagulaciju upotrijebio kalijum-dihidrofos-
fat, trinatrium-fosfat i kalcijum-hidroksid. On saopštava -
da je uspjeh bio preko 99% za Zn 65, Y 91, Nb 95, Cs 144. Mi
smo upotrijebili tri razne soli natrijuma i fosfata sa doda

tkom natrijevog karbonata i postigli smo sa trinatrium-fosfatom 98% odstranjivanja Zn 65, a 58% za Nb 95.

Tabela 2.

EFIKASNOST FILTRACIJE KROZ KOLONE PUNJENE RAZNIM MATERIJALIMA I EFIKASNOST DESTILACIJE NA OTKLANJANJE RADIOIZOTOPA IZ KONTAMINIRANIH VODA

KOLONE PUNJENE SA	Procenat otklanjanja radioizotopa											
	P-32	S-35	Cr-51	Zn-66	Sr-85	Sr-89	Nb-95	Rz-106	J-131	Cs-137	Ba-140 La-140	SMJEŠA IZOTOPA
BENTONIT	99	47	70	100	91	98	99	91	8	99	100	71
LOMLIHA CIGLA	52	0	1	1	19	40	55	20	0	21	96	86
BOROVA PILOVINA	13	11	7	95	18	33	20	2	0	19	76	16
BUKOVA PILOVINA	5	6	3	97	45	52	1	4	0	35	93	36
DRVENI UGALJ	39	11	5	97	12	47	34	23	6	43	87	40
LIGNIT	50	14	2	99	88	-	38	18	1	23	96	31
HUMUS	90	18	19	99	90	96	40	54	0	97	99	72
PEPEO OD DRVEIA	98	14	30	100	99	-	99	96	0	43	99	51
SMJEŠA IZOTOPA	93	100	97	98	-	100	99	100	97	100	99	99
SMJEŠA IZOTOPA	-	100	99	100	-	100	98	100	95	100	-	99

Na tabeli 2. sabrani su naši rezultati u dekontaminaciji kontaminirane vode propuštanjem kroz kolone punjene raznim materijalima za koje je objavljeno ili od kojih smo očekivali sposobnost dekontaminacije. Prema literaturi, gline su vrlo efikasne za odstranjivanje radioaktivnih zagađenja. Jonoizmjenjivački kapaciteti svih glina nisu jednaki. Mi smo upotrijebili bentonitsku glinu. Procenat uklanjanja radioizotopa koje smo mi upotrebljavali bio je sa bentonitom oko 90%, izuzev za J 131 /8%/, S 35 /47%/, Cr 51 /70%/, a za našu smještu elemenata iznosio je 71%.

Granulirana pečena cigla pokazala se efikasnom za Ba 140 i za našu smještu izotopa. Cigla dodana bentonitu znatno je povećala efikasnost procedure. Dobar efekat dekontaminacije - za Zn 65, Ba 140 dala je piljevina bora i bukve, a za Sr 85 Sr 89 i za izotopnu smještu srednje procenat vrijednosti. Isti drveni uglji i lignit daju visoku efikasnost uklanjanja za Zn 65, Ba 140 i La 140, a lignit je naročito bio efikasan i za Sr 85.

Humus daje čak i bolje rezultate dekontaminacije za spomenute radioizotope, kao i za P 32, Sr 85, Sr 89 i Cs 137. Drveni pepeo u kolonama uklanja P 32 do 98%, Zn 65 do 100%, Sr-85, Sr 89 i Ba 140 do 99% i Rz 106 do 96%.

Jonoizmjenjivačke smole u našim eksperimentima daju procenat uklanjanja od 93 do 100%, što je u saglasnosti sa nalazima

a drugih autora. (10,11).

Eksperimenti sa destilacijom daju redukciju radioaktivnosti od 95 do 100% za sve ispitivane radionukleide.

Ispitivanje dekontaminacione sposobnosti navedenih materija imalo je svrhu da pruži stanovništvu koje nije snabdjevano vodovodnom vodom mogućnost izvodjenja jednostavnih i lako izvodljivih improvizacija.

Literature

1. Report of the Joint Program of Studies on the Decontamination of Radioactive Waters, ORNL, 2557;
2. Lacy W.J., Stangler M.J., The Postattack Water Contamination Problem, Health Physics, 8, 1962, pp. 423-427;
3. Žarković G., Knežević Z., Leovac A., Efikasnost različitih postupaka za dekontaminaciju vode, 1963, Publ.br.10, Institut za higijenu i socijalnu medicinu, Sarajevo;
4. Health Physics Division Semiannual Progress for Period - , Ending July 1, 1953, ORNL, 1956;
5. Straub P., Morton R.J., Placak O.R., Studies on the Removal of Radioactive Contaminants from Water, J. Am. Water Works Assn., 1951, 43, 773;
6. Eden G.E., Downing A.L., Wheatland A.B.; Observations on the Removal of Radioisotopes During Purification of Domestic Water Supplies: 1. Radioiodine, J. Inst. Water Eng. Vol. 6, 1952, 511;
7. Lacy W.J., Removing Radioactive Material from Water by Coagulation, Water and Sewage Works, Vol. 100, 1953, p. 410;
8. Landerdale R.A. Jr, Studies on the Removal of Radioisotopes from Liquid Wastes by Coagulation, ORNL, 932, 1951;
9. Lacy W.J., Lindsten D.C., Removal of Radioactive Substances from Water by Ion Exchange Processes, Salty Dog I, ERDL, 1357, 1954;
10. Lacy W.J., Decontamination of Radioactivity Contaminated Water by slurrying With Clay, ind. Eng. Chem., 1954, Vol. 46, 1061;
11. Lindsten D.C., et al., Ion Exchange for Removal of Radioisotopes from Water, Salty Dog, IX, ERDL, 492, 1957.

Uklanjanje radioaktivnosti radioaktivnih padavina iz Dunavske vode na vodovodu Instituta za nuklearne nauke »Boris Kidrič«

R. Radosavljević

Uvod

Svrha dekontaminacije na vodovodima je dobijanje radiološki čiste vode koja kvalitetom treba da odgovara normama o MDK-radioaktivnosti u vodi. Brojni radovi tretiraju ove i druge probleme uklanjanja radioaktivnosti iz vode. Cilj tih radova je bio otkrivanje opštih zakonitosti dekontaminacije i objašnjenje mehanizma uklanjanja, pod uslovima da na kontaminante, bez obzira na porijeklo i vrstu kontaminacije, djeluju pojedinačno ili istovremeno razni fizički, hemijski, fiziko-hemijski, radiohemijski, biološki, hidrološki i drugi činioci. Iz ovoga se vidi koliko je problem kompleksan i sa koliko pažnje mu treba prilaziti u praktičnoj realizaciji.

Bell, Thomas, Lauderdal i dr. su prvi ukazali da se iz kontaminiranih površinskih voda na vodovodima /pri normalnim uslovima njihovog rada/ postižu znatno manji efekti uklanjanja radioaktivnosti nego sa sintetičkim rastvorima u laboratorijskim i poluindustrijskim optima. Ovim je još jedanput potvrđena činjenica da parametri laboratorijskih i poluindustrijskih opta ne moraju biti i parametri industrijskih procesa. Objasnjeno je tih fenomena u ovom slučaju bi trebalo potražiti u specifičnoj distribuciji fisionih i dr. radioaktivnih materijala u sintetičkim i prirodnim rastvorima i u uslovima tretiranja te vode s obzirom na nivo radioaktivne kontaminacije i dr.

Međutim, u praksi je ostvaren znatan broj mogućnosti intenzifikacije procesa dekontaminacije, ali mehanizmi većine faktora do danas nisu objašnjeni. Na kinetiku procesa prečišćavanja vode koagulacijom na pr. u velikoj mjeri utiču jonski sastav vode, koncentracija vodoničnih jona, prisustvo viševaleantnih kationa, temperatura vode, miješanje vode, uvođenje ovih reagensa u vodu, biološki sastav vode, karakteristike vodovoda i sl. Izučavanje veze između pojedinih i svih parametara istovremeno pomoću običnih funkcionalnih zavisnosti očigledno je nemoguće. U takvim slučajevima se izučavastatistička priroda fenomena pomoću metoda matematičke statistike.

Podaci o svim ovim problemima u našoj literaturi su vrlo oskudni. Objavljeni radovi su dijelom kompilacije ili predstavljaju provjeravanje i adaptiranje poznatih postupaka uklanjanja radioaktivnosti na specifične probleme, i to na nivou laboratorijskih opta.

Cilj ovog rada je da prikaže neka iskustva stečena u radu na dekontaminaciji vode u normalnim uslovima rada vodovoda u IBK, koja je praćena sistematskim mjerenjima globalne beta-radioaktivnosti sirove i prerađene vode i periodu od 1961 do 1964. god. za vrijeme intenzivnog eksperimentisanja sa nuklearnim oružjem.

Prerada vode na vodovodu IBK, uzimanje uzoraka za analizu, pripremanje uzoraka za analizu i mjerenje radioaktivnosti

Vodovod IBK u Vinči, sa crpnom stanicom lociranom na Dunavu prečišćava vodu postupkom aluminatne koagulacije, taloženjem, filtriranjem preko pijeska i hlorsisanjem. Dnevni kapacitet vodovoda iznosi preko 2.000 m³. Vrijeme retencije preradjene vode je minimalno, pošto se voda direktno transportuje u mrežu do potrošača.

Na crpnoj stanici vodovoda, gdje se voda za preradu izvlači sa oko 70 m od obale, 1,5 - 2 m ispod površine Dunava, - sva kodnevno se uzima za kontrolu 24 h kompozitni uzorak sirove vode. Uzorak preradjene vode se uzima iz vodovodske mreže.

Uzorak sirove vode se najprije filtrira radi izdvajanja suspendovanih čestica. Profiltrirana sirova voda i uzorak preradjene vode /po 400 ml/ evaporacijom se redukuje do suvog ostatka. Dobijeni suvi ostatak se žari na 500-550°, a zatim kao mineralni ostatak prenosi u planšete za mjerenje na brojaču. Kod uzoraka sirove vode odvojeno se mjeri mineralni ostatak suspendovanih čestica u vodi i mineralni ostatak dobijen redukcijom uzoraka vode uparavanjem i žarenjem.

Kao mjerni instrumenti se koriste 2 pi proporcionalni protični metanski brojač i antikoincidentna aparatura za mjerenje niskih nivoa beta - zračenja, konstruisana u IBK, koji su kalibrisani prema Tl-204 i prema K-40 u KCl /K 40 se koristi kao kalibracioni izvor od januara 1964. god./. Svi uzorci se mjere tri dana nakon uzimanja. Rezultati mjerenja se koriste u iznos gubitaka zračenja uslijed samoapsorpcije - u uzorku i u vazduhu i prozoru brojača. Donja granica detekcije kreće se u rutinskom radu oko 10⁻¹² Ci.

Rezultati

Podaci o mjerenjima globalne beta-radioaktivnosti u dunavskoj vodi i vodi za piće objavljeni su ranije. Registrovani nivoi aktivnosti u sirovoj vodi su prelazili MDK najviše do 8 puta, dok su u preradjenoj vodi bili uvijek u granicama MDK. /MDK je uzeta prema ICRP za šire stanovništvo. Našim propisima ovo nije definisano/.

Radioaktivnost dunavske vode tokom čitavog perioda ispitivanja je poticala uglavnom od radioaktivnih padavina, o čemu svjedoče i korelacioni odnosi totalno deponovane beta-radioaktivnosti iz atmosfere mjerene na nivou tla i specifične beta-radioaktivnosti sirove dunavske vode. Koeficijenti korelacije su se kretali od 0.53 do 0.96. S obzirom na specifičnost Dunava u pogledu veličine, protoka i dr. hidrohemijskih i hidroloških karakteristika i činjenicu da je deponovana aktivnost iz atmosfere mjerena samo u rejonu Vinče, veoma je teško govoriti o kvantitativnim odnosima ovih veličina, odnosno o faktoru tzv. prirodne dekontaminacije na zelenom - pokrivaču i tlu, i o stepenu redukcije aktivnosti zbog samo prečišćavanja u vodotoku.

Međutim, svakodnevnim frakcionisanjem aktiviteta iz sirove

vode izdvajanjem suspendovanih čestica filtriranjem mogao - se dobiti jedan globalan uvid u distribuciju prisutne radio aktivnosti u njoj. Na dijagramu br.1 prikazan je odnos akti vnosti u rastvoru i suspendovanim česticama. /Pod pojmom - "aktivnost u rastvoru i suspendovanim česticama" podrazumje va se uslovno onaj dio aktivnosti koji zaostaje u filtratu i na suspendovanim česticama u procesu filtriranja kroz har tiju za cijedjenje sa veličinom pora oko 1 μ /. Posmatranje na dijagrama pada odmah u oči da se aktivnost raspodjeljuje izmedju tečne i čvrste faze tako da porastom aktivnosti u j ednoj raste aktivnost u drugoj. /Vrijednosti na dijagramu - se odnose na 1962. god. Za ostale godine takodje dobijeni - su slični podaci/. Brojne vrijednosti ovih odnosa kretale - su se ovako:

<u>Godina</u>	<u>Prosječni mjesečni</u>		<u>Godišnji prosjek</u>
	<u>minimum</u>	<u>maksimum</u>	
1962.	1.6	4.7	2.6
1963.	0.7	4.2	2.15
1964.	1.0	3.5	2.0

Budući da su iznesene vrijednosti srednje mjesečne i godišn je, treba ukazati da su kod dnevnih ovih odnosa bili i veći odnosno manji. Prikazana minimalna vrijednost 0,7 indicira da aktivnost u vodi može biti veoma i većim dijelom za sus pendovane čestice. Ovo medjutim, nije uočeno kao karakteris tično za Dunav, a može se objasniti pojavljivanjem tzv."vru ćih čestica", o čemu će biti više riječi drugom prilikom. O dubljoj unutrašnjoj povezanosti inkorporirane vještačke - radioaktivnosti sa hidrohemijskim procesima koji se odigravaju u vodotoku, govore i korelacioni odnosi aktivnosti susp endovanih čestica i totalne količine njihovog mineralnog os tatka, kao i specifične aktivnosti filtrata i količine rast vorenog mineralnog ostatka u njemu. Izmedju ovih veličina p ostoji linearna zavisnost, kao što se to vidi na dijagramu- br.2 /a i B/, a koju karakterišu visoke vrijednosti koefici jenata korelacije. U prvom slučaju /a/ ovaj koeficijent je pozitivivan i iznosi 0.87, a u drugom /b/ negativan sa vrijed nošću 0.85. /Ovi podaci se odnose samo na rezultate iz 1964 godine. Slični podaci su dobijeni i za prethodne godine/. Da kle, sa stanovišta radiološke dekontaminacije vode osnovno- je da se radioaktivnost raspodjeljuje zakonito izmedju faza u vodotoku i da je ta raspodjela uslovljena pretežno hidroh emijskim i hidrološkim karakteristikama vodotoka /suspendov ane čestice, rastvorene mineralne materije u vodi, količina padavina itd./. Naravno da se pri ovome ne zanemaruje ni ut icaji hidrobioloških činilaca u vodotoku. Efekti uklanjanja radioaktivnosti na vodovodu IBK prikazani su faktorima dekontaminacije koji su izražavani kao procent i izračunati iz razlike radioaktivnosti izmjerene u sirovoj vodi. U tabeli 1 dat je pregled kretanja faktora dekontamin acije za period od 1961. do 1964. god. Prezentirani mjesečn i procesi predstavljaju prosjeke dnevnih vrijednosti. Dok - su se dnevne vrijednosti kretale od nekoliko procenata pa

Tablica 1.

Pregled kretanja srednjih mjesečnih vrijednosti faktora dekontaminacije izraženih u procentima

	1961.	1962.	1963.	1964.
I	40	17	66	32
II	-	48	65	60
III	36	41	63	50
IV	-	38	68	54
V	46	27	77	55
VI	33	51	68	54
VII	30	69	71	50
VIII	37	82	61	36
IX	25	53	58	33
X	42	51	58	54
XI	74	78	60	45
XII	61	63	57	44

do 99,9%, mjesečni procesi obuhvataju vrijednosti od 17 do 82%, a godišnji procesi od 42 do 64%. Na dijagramima 3 i 4-radi potpunijeg karakterisanja efekata dekontaminacije, dat i su histogrami, koji pokazuju distribuciju faktora dekontaminacije po njihovim intervalima, uzimajući za ordinatu frekvenciju pojavljivanja faktora dekontaminacije u naznačenim intervalima. Dijagram br.3 daje sumaran pregled za 1963.godinu, dok su dijagramom broj 4 predstavljene varijacije dnevnih vrijednosti po mjesecima.

Iz prikazanih dijagrama se vidi da oko 70% svih vrijednosti leži u intervalu 50-100%. Veoma slična distribucija je uoče na i tokom ostalih godina.

Povezivanje radioloških karakteristika vode se efektima uklonjenja radioaktivnosti iz nje izvršeno je preko koeficijenta distribucije K_d i faktora dekontaminacije FD . Sprezanjem K_d sa FD dobijene su linearne zavisnosti sa negativnim koeficijentima korelacije. U tabeli 2 dat je djelimičan pregled ovih koeficijenata, iz čijih se relativno visokih vrijednosti može zaključiti da postoji duboka povezanost radioloških osobina sirove vode i stepena uklanjanja radioaktivnosti pod normalnim uslovima rada vodovoda.

Kako utiču pojedini parametri na proces uklanjanja radioaktivnosti iz vode, može se vidjeti iz prikazanih dijagrama br 5-8. Na dijagramu br.5 prikazan je odnos specifične aktivnosti sirove vode i faktora dekontaminacije, na dijagramu br. 6 odnos sadržaja rastvorenih mineralnih materija u vodi i FD , na dijagramu br.7 odnos aktivnosti suspendovanih čestica i FD , i na dijagramu br.8 odnos aktivnosti u sirovoj i prerađenoj vodi.

Zaključak

Sumirajući rezultate svih mjerenja, može se zaključiti da s

Tabela 2.

Djelimičan pregled koeficijenata korelacije za odnos K_d / FD

	1962.	1963.
I	-	- 0,25
II	-	- 0,04
III	-	- 0,26
IV	-	- 0,37
V	-	- 0,89
VI	-	- 0,84
VII	-	- 0,43
VIII	-	- 0,58
IX	- 0,45	- 0,13
X	- 0,35	- 0,43
XI	- 0,47	- 0,42
XII	- 0,16	- 0,85

e proces dekontaminacije radioaktivnosti na vodovodu IBK u normalnom radu odbijao pod uslovima koji su primarno diktirani nivoima deponovane aktivnosti u vodi, a zatim hidrohemijakim, hidrološkim i dr. karakteristikama vodotoka.

Faktori dekontaminacije kretali su se u pojedinim slučajevima od nekoliko procenata pa skoro do 100%, dok njegov prosjek iznosi oko 60%.

Sadržaj rastvorenih mineralnih materijala u sirovoj vodi može da utiče na proces dekontaminacije koagulacijom tako da se porastom mineralnih materija u vodi stepen dekontaminacije opada /dijagram br.6/.

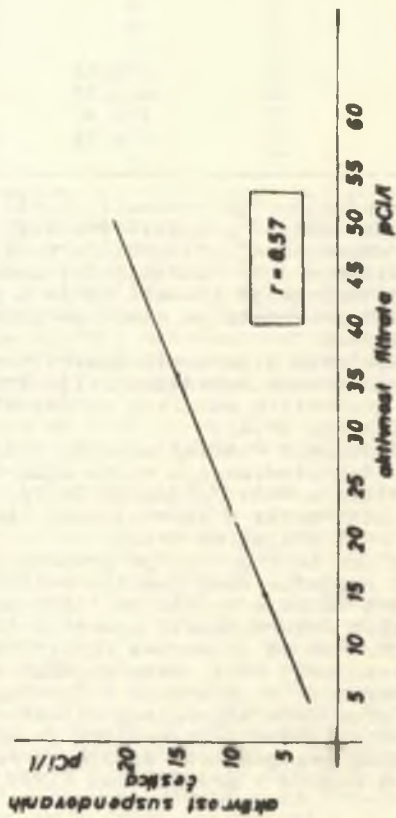
Utjecaj suspendovanih čestica na uklanjanje je pozitivan, odnosno stepen dekontaminacije raste kada raste sadržaj suspendovanih čestica u vodi /dijagram br.7/.

Ša porastom aktivnosti u sirovoj vodi raste aktivnost i u preradjenoj vodi /dijagram br.8/.

Izloženom načinu interpretacije procesa dekontaminacije mogu se staviti zamjerke zbog gubitka volatilnih radioaktivnih materijala pri žarenju uzorka prilikom pripremanja za mjerenje, zatim zbog nekorektnosti mjerenja totalne beta-radioaktivnosti s obzirom na prisustvo različitih radionuklida u sirovoj i preradjenoj vodi, zbog neadekvatnog unošenja korekcija za samoapsorpciju zračenja u uzorku, koja je uslovljena stalnom promjenom mineralnog ostatka, i dr.

Medjutim, red veličine ovih grešaka je manji nego greške koje nastaju zbog nemogućnosti dobijanja reprezentativnog uzorka za protok Dunava u prosjeku od 5.500 m³ /sec.

ODNOS RADIOAKTIVNOSTI U RASTVORU I SUSPENDOVANIM ČESTICAMA
 TOKOM 1962. GODINE



KORELACIONI ODNOSI : a) AKTIVNOSTI SUSPENDOVANIH CESTICA I KOLICINE MINERALNOG
OSTATKA SUSPENDOVANIH CESTICA

b) SPECIFICNE AKTIVNOSTI FILTRATA I KOLICINE MINERALNOG
OSTATKA U NJEMU TOKOM 1964. GODINE

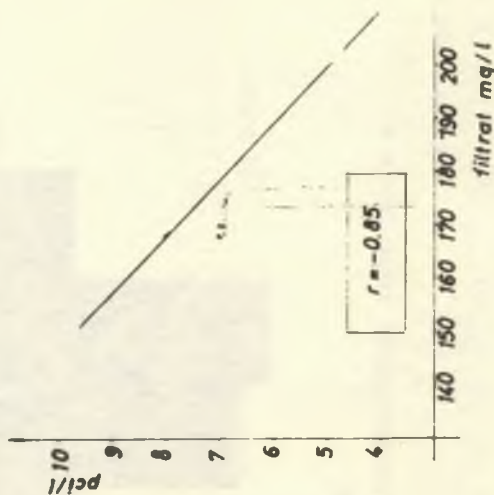
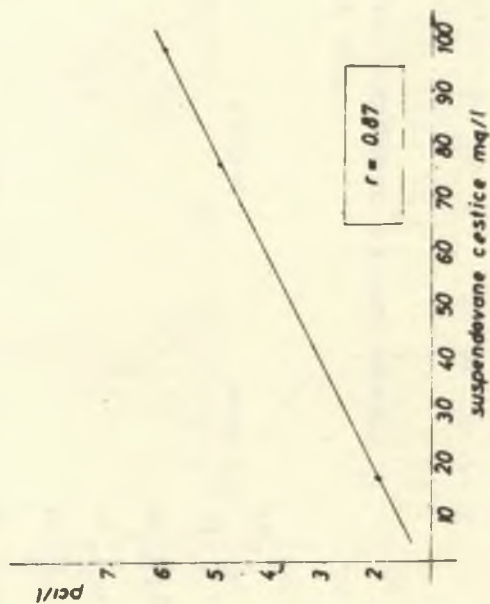
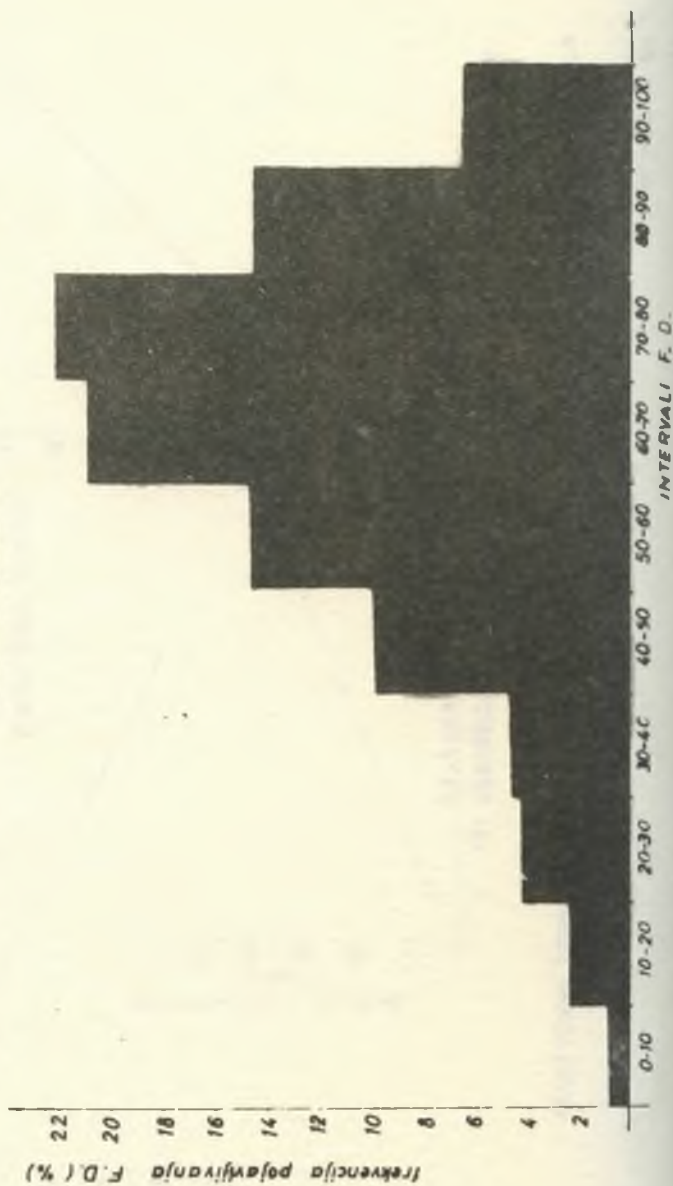


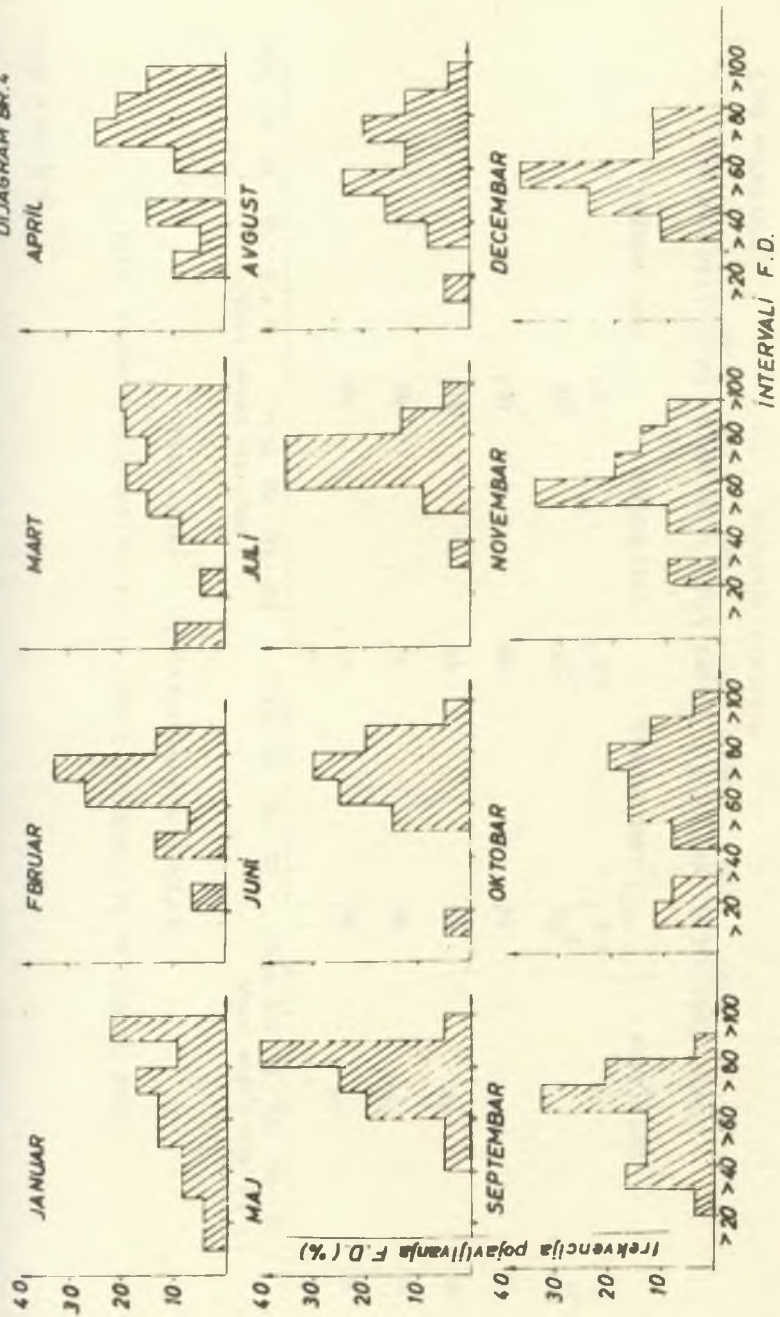
DIAGRAM BR. 3

SUMARNI PREGLED DISTRIBUCIJE FAKTORA DEKONTAMINACIJE VODE DUNAVA
 TOKOM 1963. GODINE

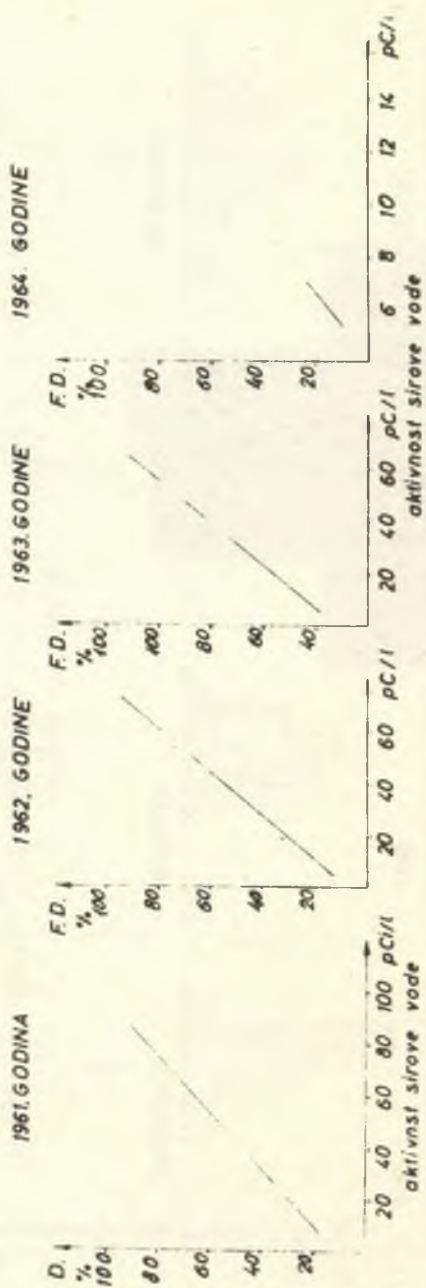


MESEČNI PREGLED DISTRIBUCIJE FAKTORA DEKONTAMINACIJE VODE DUNAVA TOKOM 1963. GODINE

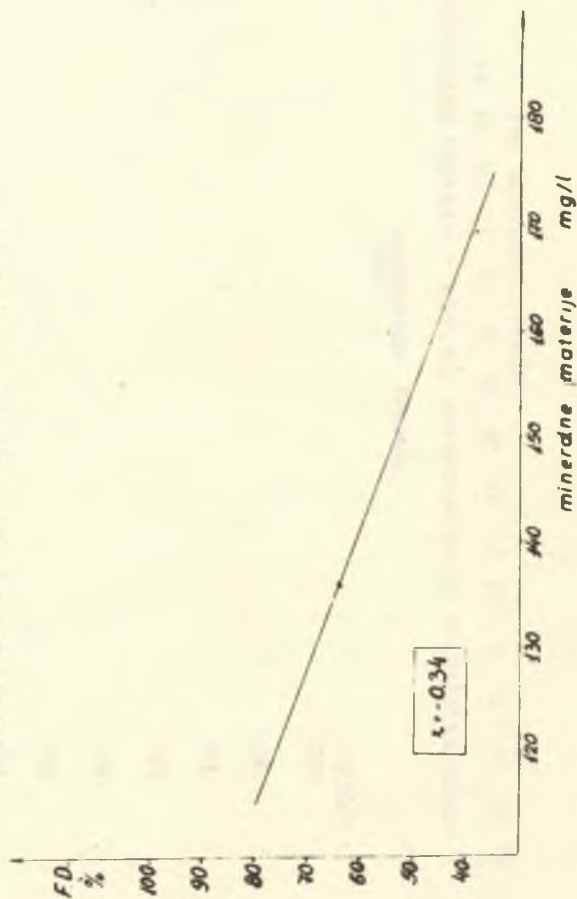
DIJAGRAM BR. 4



ODNOS SPECIFICNE AKTIVNOSTI SIROVE VODE I FAKTORA DEKONTAMINACIJE

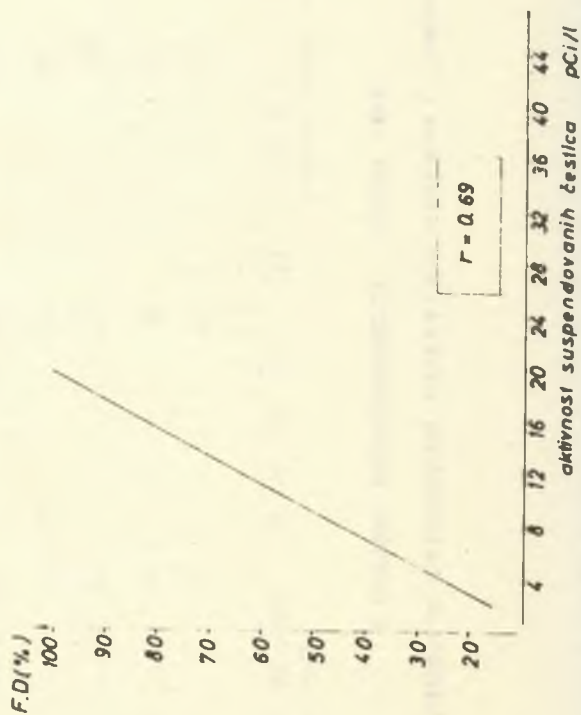


ODNOS SADRŽAJA RASTVORENIH MINERALNIH MATERIJA U SIROVOJ VODI
I FAKTORA DEKONTAMINACIJE TOKOM 1963.

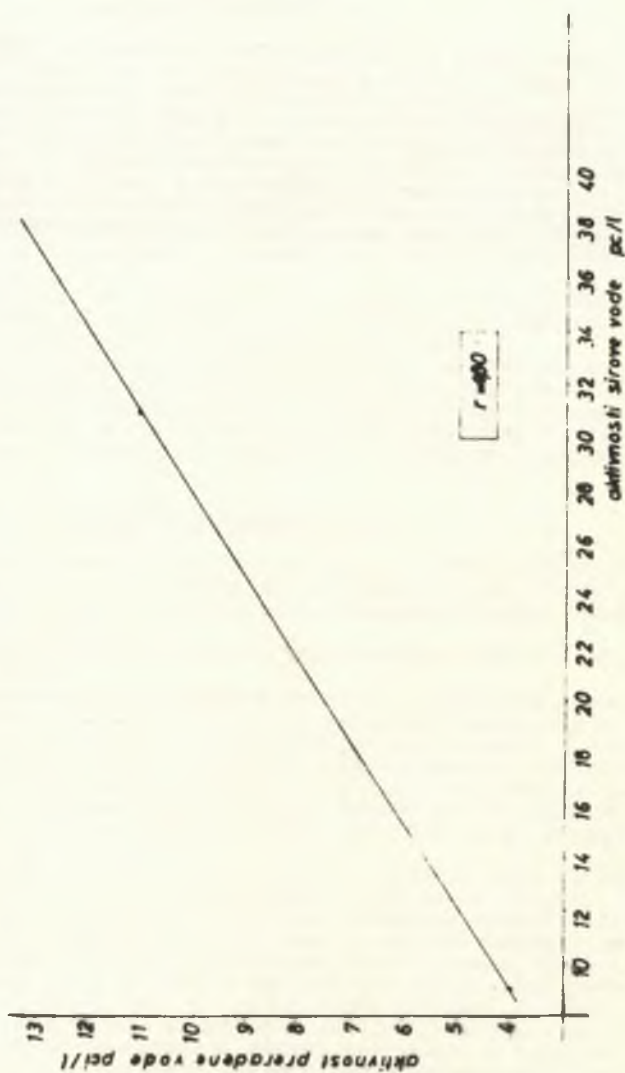


ODNOS AKTIVNOSTI SUSPENDOVANIH ČESTICA I FAKTORA DECONTAMINACIJE

JANUAR 1963 GODINE



ODNOS AKTIVNOSTI U SIROVOJ I PRERADENOJ VODI TOKOM 1963 GODINE



THE REMOVAL OF RADIOACTIVE FALLOUT FROM THE WATER OF THE -
DANUBE IN THE WATER SUPPLY OF THE "BORIS KIDRIČ" INSTITUTE-
OF NUCLEAR SCIENCES

In the "Boris Kidrič" Institute of Nuclear Sciences the water supply employs alum-coagulation and sand filtration. During a long period /1961-1964/ the total beta radioactivity variations in raw water of the Danube and in drinking water have been measured. The results of the measurements show that there is a linear correlation between the specific activity of suspended materials and raw water filtrate; between the specific activity of raw water and the decontamination factor, etc. The decontamination factor ranges up to 100%.

Karakteristike i racionalnost postrojenja za obradu radioaktivnih efluenata

A. Švabić, P. S. Bojović

Uvod

Zadatak postrojenja za obradu radioaktivnih efluenata je - da sadržaj radioaktivnih izotopa u efluentima svedu na onu koncentraciju sa kojom je dozvoljeno njihovo izlivanje u o kolinu, najčešće u rijeku ili more.

U principu se koncentracija radioaktivnih izotopa u efluentima, odnosno specifična aktivnost, može svesti na dozvoljenu granicu na dva načina: metodom razblaženja i metodom koncentrisanja.

Metoda razblaženja se efikasno primjenjuje kod vrlo niskoaktivnih efluenata, a ekonomična je samo ako su raspoložive znatne količine vode potrebne za razblaženje.

Metoda koncentrisanja se u principu bazira na tome da se - pogodnim hemijskim i fizičko-hemijskim procesima radioaktivni izotopi uklone iz efluenata i koncentrišu na što manju zapreminu, koja se zatim odvodi na trajno stokiranje. Tako dekontaminirani efluenti se ispuštaju u obližnji prirodni recipijent.

1. Karakteristike procesa dekontaminacije

Postrojenja za dekontaminaciju rade na bazi više različitih procesa koji se mogu primjeniti pojedinačno ili u kombinaciji. Najveću primjenu imaju procesi koprecipitacije, jonske izmjene i upravljanja.

Ako se globalno uporede navedena tri procesa, može se zaključiti slijedeće:

1. Proces koprecipitacije bazira se na već dobro poznatim i proučenim reakcijama kao i na već ovladanoj tehnologiji procesa omekšavanja vode, prečišćavanja vode za piće i industrijskih otpadnih voda. Međutim, ovaj proces rijetko može da ostvari zadovoljavajuće FD, zbog čega se efluenti podvrgnuti ovom tretmanu najčešće dalje tretiraju ili znatno razblažuju prije ispuštanja u rijeku ili neki drugi recipijent.

2. Proces jonske izmjene može da ostvari znatno veće FD od prethodnog, ali da bi bio ekonomičan, mora da se ispuni slijedeći uslov: da efluenti koji se tretiraju nemaju veliki suvi ostatak, zapravo da ovaj bude ispod vrijednosti koja potiče od tvrdoće vode. Jonoizmjenjivačka smola, koja se inače trajno koristi, kod ovog procesa predstavlja problem kada je zasićena, jer je visoko radioaktivna. S tačkegledišta osnovnog principa dekontaminacije efluenta - da se aktivnost svede na najmanju moguću zapreminu i tako deponuje - poželjno je zasićene aktivne smole deponovati kao čvrst radioaktivni otpadak. Međutim, ovakvo rješenje čini proces jonske izmjene neekonomičnim. Znatno je ekonomičnije regenerisati smole, mada i ovo rješenje ima svoje nedostatke: pri regeneraciji smole nastaju nove količine visoko

aktivnih efluenata, koji se moraju posebno tretirati prije-deponovanja.

3. Uparavanje, s tačke gledišta dekontaminacije, predstavlja najbolji proces jer ostvaruje najveće FD efluenata, nezavisno od svog ostatka, hemijskog i radiohemijskog sastava. Medjutim, on iziskuje veliku potrošnju energije, te se ubraja u najskuplje procese. U novije vrijeme, usavršavanjem klasičnog uparivača, došlo se do savršenije konstrukcije postrojenja koje radi na bazi uparavanja sa termokompresijom i prinudnom cirkulacijom. U ovom tipu uparivača znatno je povećano iskorišćenje utrošne energije, što je povećalo ekonomičnost samog postrojenja.

2. Upporedna analiza postrojenja koja rade na bazi procesa - koprecipitacije, jonske izmjene i uparavanja

U svijetu su izgrađena i rade više postrojenja na bazi ponetu tri procesa.

Treba napomenuti da se nije raspolagalo potrebnim podacima o sastavu i karakteru efluenata da kada se pristupilo izgradnji većine postojećih postrojenja. Iz tog razloga neka postrojenja ne ostvaruju potrebne FD, a druga mogu da daju veće FD nego što su potrebni.

Danas je situacija znatno izmjenjena: sumirana su već stečena iskustva, a i sa proučavanjem same problematike dekontaminacije efluenata otišlo se znatno naprijed.

Pokušaćemo da damo analizu navedena tri procesa, prvenstveno s tačke gledišta racionalnosti, ekonomičnosti, fleksibilnosti i efikasnosti.

1. Postrojenja koja rade na bazi koprecipitacije i koja nedaju velike FD racionalna su za one slučajeve gdje su efluenti prilično ujednačenog sastava, niske aktivnosti i sa velikim suvim ostatkom, zatim ako nastaju velike zapremine takvih efluenata i ako okolina raspolaze sa velikim prirodnim recipijentima koji mogu da obezbjede znatno razblaženje. Negativne strane ovakvih postrojenja ogledaju se u slijedećem: rijedak je slučaj da nastali efluenti u dužem vremenskom periodu imaju konstantan sastav. Zato je neophodno da uz postrojenje postoji dobro opremljena radiohemijska laboratorija koja će svakoj šarži efluenata promjenjenog sastava da odredi najpovoljniji proces. Zatim, postrojenje i pomenutu laboratoriju opslužuje znatan broj ljudi, jer zbog velikog broja tehnoloških operacija koje se u procesu koprecipitacije obavljaju /kao filtriranje, flokulacija, klasifikacija, zamrzavanje, dehidratacija aktivnog mulja, itd./ nije moguće znatno automatizovati rad postrojenja. Zbog neophodnosti da bude spremno da primi naizmjenično šarže efluenata različitog hemijskog i radiohemijskog sastava, postrojenje je najčešće koncipirano kao diskontinuirano, što povlači za sobom veće gabarite opreme i uređaja. Ako se ukaze potreba za povećanjem kapaciteta, što je relativno čest slučaj u centrima koji su u razvoju, moralo bi se pristupiti ili povećanju dimenzija opreme ili povećanju broja smjena. I jedan i drugi način je znatno skup. I dalje, radioaktivni ta-

log koji nastaje u procesu koprecipitacije, zbog svog velikog sadržaja vlage koji ide i do 99%, zahtijeva poseban tretman, zapravo posebno malo postrojenje koje će ga dovesti - u najpogodniji oblik za trajno stokiranje.

2. Postrojenja koja rade na bazi jonske izmjene vrlo dobro dekontaminiraju velike zapremine efluenata raznorodnog radiokemijskog sastava pod uslovom da imaju mali suvi ostatak. Medjutim, ovo je rijetko slucaj u praksi, pa se zbog toga postrojenja ovog tipa mnogo češće postavljaju kao drugi stepen dekontaminacije poslije procesa koprecipitacije. Vrlo povoljna osobina ovih postrojenja je njihova fleksibilnost, koja se ogleda u slijedećem:

a/ Pošto dekontaminacija jonskom izmjenom ide od početne maksimalne vrijednosti FD ka krajnjoj minimalnoj, proces se može zaustaviti u ma kom momentu i time ostvariti FD koji se želi. Ovo nije slucaj kod drugih procesa.

b/ Kapacitet se može vrlo lako povećati jednostavnim povećanjem broja kolona u postrojenju.

c/ Za one slucajeve gdje je brzo i efikasno deponovanje visokoaktivnih otpadaka važnije od ekonomskog momenta, zasićene smole /u kojima je na relativno maloj zapremini koncentrisana velika aktivnost/ mogu jednostavno i lako da se odvedu na stokiranje. Ako je ekonomičnost primarna, zasićene smole se podvrgavaju procesu regeneracije.

Rad postrojenja se može dovoljno automatizovati, te se ne zapošljava veliki broj ljudi. Neophodno je samo vršiti vrlo pažljiva konstantna kontrolna mjerenja aktivnosti efluenata na izlazu iz jonoizmjenjivačkih kolona, jer može da se desi pojava naglog i neočekivanog takozvanog "proboja aktivnosti" što bi dovelo do ponovne kontaminacije već dekontaminiranih efluenata u privatnom rezervoaru.

3. Uzimajući u razmatranje treći proces koji se upoređuje, proces uparavanja, važno je naglasiti da je ovaj proces u novije vrijeme pretrpio znatne tehnološke i tehničke izmjene, koje su u mnogome otklonile najveći njegov nedostatak - neekonomičnost. Kao što je već napomenuto, proces uparavanja omogućuje najefikasnije uklanjanje radioizotopa iz efluenata, nezavisno od hemijskog i radiohemijskog sastava. U do sada izgrađenim postrojenjima - uparivačima, izuzimajući nekoliko najnovijeg datuma, racionalan pogon je mogao da ostvari pri tretiranju manjih zapremina visokoaktivnih efluenata sa malim suvim ostatkom. Korišćenje uparivača u drugim slucajevima bilo je vrlo skupo, a primjenjivani su tamo gdje je ekonomski momenat podređen potrebi efikasne dekontaminacije, kao, na primjer, za prečišćavanje primarnog rashladjivača nuklearnog reaktora u zatvorenom kolu. Danski naučnik Rolf Anderson kombinovao je proces uparavanja sa prinudnom cirkulacijom i termokompresijom, čime je ostvaren veliki koeficijent iskorišćenja energije koja se troši na isparavanje. Zahvaljujući ovome, danas se može i proces uparavanja ocijeniti kao ekonomičan i za tretiranje velikih zapremina efluenata, iako se Andersenov sistem još uvijek usavršava.

Velika prednost postrojenja koje radi na ovom principu je što može da radi potpuno automatski, te ne angažuje veliki

broj ljudi. U danskom postrojenju, kapaciteta 2 m³/h, zaposlen je jedan čovjek, čiji efektivan rad na postrojenju iznosi 2 sata dnevno. Stepen koncentrisanja aktivnosti koji se ovdje postiže je vrlo veliki - iznosi oko 1000, tj. na 1000 litara istretiranih efluenata dobije se 1 litar ugušćenog - visokoaktivnog mulja, koji se lako deponuje u betonskim ili bitumenskim buradima. Povećanje kapaciteta moguće je ostvariti povećanjem broja smjena, što je vrlo povoljno s tačkegledišta ekonomičnosti, jer ovo postrojenje u neprekidnom radu troši manje energije. Inače, ne iziskuje obimnija pret hodna istraživanja niti laboratorijsko praćenje procesa, već samo kontrolna mjerenja aktivnosti u sabirnim rezervoarima.

Zaključak

1. Za veće zapremine efluenata niskih aktivnosti najbolje rješenje predstavlja postrojenje na bazi procesa koprecipitacije. U cilju povećanja FD često se dodaje jonska izmjena kao drugi stupanj dekontaminacije.
2. Jonoizmjenjivačke kolone mogu se upotrijebiti kao posebno postrojenje u centrima čije su laboratorije snabdjevene-razvodom demineralizovane vode.
3. Uparivači su najbolji izbor za centre sa promjenljivim - sastavom efluenata, a takodje i za sve slučajeve kada se hemijski i radiohemijski sastavi efluenata nemogu unaprijed procijeniti.
4. Za centre u kojima specifična aktivnost efluenata ima široke granice, a hemijski i radiohemijski sastavi znažno variraju, izgradnja postrojenja sa kombinacijom sva tri procesa je neizbježna.

U Institutu "Boris Kidrič" u Vinči u toku su proučavanja sa stava i karaktera efluenata koji nastaju pri radu sa radioaktivnim izotopima u pojedinim laboratorijama, sa reaktora - RA i od dekontaminacije površina, kao i proučavanja potrebnih FD u cilju da se izvrši izbor procesa na bazi koga bi se koncipiralo postrojenje za dekontaminaciju efluenata koje bi najbolje odgovorilo svojoj namjeni.

Characteristics and Economy of Plants for Radioactive effluent treatment

Plants for radioactive effluents treatment are actually based on coprecipitation, ion exchange and evaporation processes. The choice of the process primarily depends on the chemical and radiochemical properties, the volume and the specific activities of the effluents.

Since the characteristics of the effluents of different nuclear research centres vary quite a lot, the choice of the plant and the processes is a very responsible and complex problem.

The work presents the characteristics of the above-mentioned processes as a function of the effluent characteristics. A comparative analysis is given for the effluent treatment plants based on the three above-mentioned processes, particularly emphasising the economy, flexibility and efficiency of the plant.

In conclusion, an attempt has been made to evaluate the economy of the plant, summarizing the elements first discussed.

Literatura:

1. E. Glueckauf, Atomic Energy Waste, Its Nature, Use and Disposal, "Butterworths", London, 1961:
2. K. Sadington, W.L. Templeton, Disposal of Radioactive Waste, George Newnes Limited, London, 1958:
3. Disposal of Radioactive Wastes, Vol.1, Conf. Proceed., - Monaco, 1959:
4. W.A. Rodger, Radioactive Waste Disposal, ANL-J233, 1960:
5. M. Armaddo, R. Corcoran, D.M. Leppke, Study of Liquid - and Solid Waste Disposal Requirements - Pathfinder Atomic Power Plant, ACNP-5916, 1959:
6. P. Dejonghe, Installations de traitement des residus radioactifs, Belchim, BCH/M/001, 1961:
7. C.F. Jacobsen, Waste Disposal at Research Establishment - Ris, Danish A.E.C., 1959:
8. Radioactive Effluent Treatment Plants - The Rolf Andersen System, SCENPROCESS A/S, Denmark, 1963:
9. R. Anderlin, H. Spriet, Installation de traitement des effluents tie des, Belchim, Division de Mol, 1963.

Efikasnost domaćih lignita i zemlje crnice u dekontaminaciji vode za piće

Z. Knežević, G. Žarković

Dio I - Ligniti

Tokom 1963. godine naš Institut je ispitivao efikasnost različitih postupaka za dekontaminaciju vode od radioaktivnih-izotopa /1/. Tom prilikom se pokazalo da:

- /1/ ligniti imaju prilično izraženu dekontaminacionu sposobnost za većinu uobičajenih radioaktivnih kontaminanata vode
- /2/ pri njihovoj upotrebi se ne mijenja sastav i pH-vrijednost medija, te voda održava svoje pijaće kvalitete;
- /3/ Pritok vode kroz kolone punjene lignitom prilikom ovakvog tretiranja može da bude brz po želji.

To su razlozi da u 1965. godini preduzmemo ispitivanje adsorbcione sposobnosti niza naših lignita za neke radionuklide - u odnosu na zrnatost upotrebljenog uglja.

Ispitivani su ligniti iz rudnika koji se najviše kopaju u - pojedinih republikama i to: Ivanec /Jama Kuljevičica I/, Kolubara /Kosmaj/, Konjščina, Kreka /Joševica i Moluhe/ i Venje.

Uzorci vode koja je podvrgavana prečišćavanju bili su pojedinačno kontaminirani sa Co-60, Zn-65, Sr-85, I-131, Cs-137, i Ce-141.

Dekontaminaciona efikasnost lignita je proučavana pasiranje u kontaminirane vode kroz kolone primjene odgovarajućim lignitima različite zrnatosti.

Kolone prečnika oko 50 mm punili smo uzorcima mljevenih lignita klasifikovanih u tri kategorije prema veličini zrna - /+3,3-1 i -1 mm/, uzimajući po oko 120 grama mase na svaku - kolonu. Kroz sadržaj kolone propuštao je po 1 litar kontaminirane vode, sa protokom 8-10 ml/minut. Inicijalni aktivitet bio je reda veličine 10 μ C/litar, a mjerenja su vršena - u scintilacionom brojaču sa well-type kristalom /5 ml uzorka vode u kivetu/ i upoređivane su relativne vrijednosti - sa inicijalni i finalni aktivitet.

Iskemijskih analiza ispitivanih lignita uočeno je da im je sastav srodan u odnosu na komponente čije su adsorbcione sposobnosti izrazite, jer oni sadrže 8-12% pepela /sa po oko- 15% SiO₂, 15% Al₂O₃ i dr./.

Rezultati

Na tabeli 1 su prikazani sumarni rezultati dekontaminacione efikasnosti ispitivanih lignita, dok su vrijednosti za pojedine lignite dati u priloženoj dokumentaciji /tabela 2 i 3/. Parametri signifikantnosti razlika bili su medju raznim vrstama lignita manji od 0,005.

Samo nalazi za Zn-65 dati su raščlanjeno, jer veliko rasipanje potiče od malo efikasnih lignita iz Konjščine i Joševi

Tabela 1.

Srednja dekontaminaciona efikasnost ispitivanih lignita, izražena procentom zaostalog aktiviteta.

Zrnatost	+ 3 ,,	3-1 mm	- 1 mm
I-131	76,1 ± 3,5	73,0 ± 2,0	65,2 ± 4,4
Cs-137	73,3 ± 9,7	61,0 ± 9,0	30,0 ± 4,5
Sr-85	74,8 ± 6,5	57,3 ± 7,8	19,9 ± 5,9
Zn-65 /1/	35,3 ± 17,1	16,9 ± 8,5	10,8 ± 8,4
/2/	7,5 ± 1,6	6,3 ± 2,6	1,5 ± 0,3
/3/	91,0 ± 9,0	38,0 ± 4,3	29,5 ± 4,9
Ce-141	19,9 ± 8,5	8,3 ± 3,3	5,4 ± 3,8
Co-60	7,8 ± 1,7	6,1 ± 1,4	2,0 ± 0,8

ce.

Pod br./1/ za Zn-65 je dat sumaran prikaz, pod /2/ su grupisani rezultati sa četiri djelotvorna lignita, dok su pod /3/ izdvojeni rezultati malo efikasnih ugljeva iz Konjčine i Joševice. Ove dvije razvijene podgrupe nesumnjivo su različite /P veće od 0,001/ i udruženi rezultati za Zn-65 /1/ - nisu realan prosjek za sve ispitivane lignite.

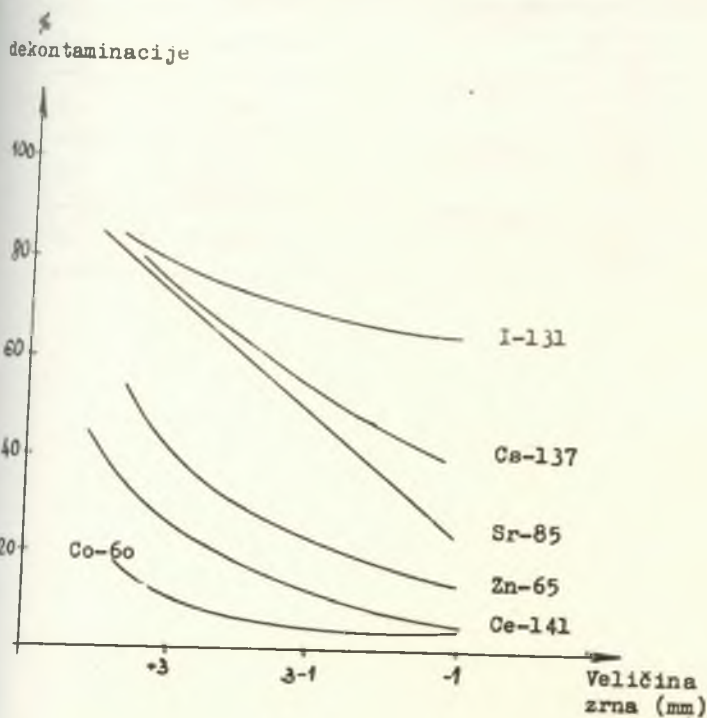
Nadjeno je dakle, da se efikasnost uklanjanja iz vode za ispitivane radionuklide pomoću primjenjenih lignita kreće između 24-98% /bez obzira na zrnatost/, dok je kod srednje zrnatosti /1-3 mm/ ona za I-131 27%, Cs-137 39%, Sr-85 43%, Zn-65 83%, Ce-141 92% i za Co-60 94%.

Utvrđeni rasponi dekontaminacionih učinaka ukazuju da se od fisionih produkata koje smo ispitivali već sa najkrupnijom zrnatosti lignita / +3 mm/ uklanja bar jedna četvrtina prisutnog aktiviteta, dok se ostali radionuklidi izdvajaju još uspješnije /65-90%/. Za sve ispitivane nuklide dekontaminacioni efekat izrazito raste sa usitnjenjem, odnosno povećanjem adsorpcione površine, lignita odabranog za tretiranje vode. To se vidi iz Tab.1, a još jasnije iz slike 1.

Dio II Zemlje crnice /humus/

Potstaknuti našim prethodnim nalazima /1/ da i humusi posjeduju izvjesnu dekontaminacionu efikasnost mi smo za naša ispitivanja u 1965, nabavili humuse različitog porijekla i to sa poljoprivrednog dobra Butmir, te sa planina Igman, Jahorina i Trebević. Za kontaminaciju vode smo koristili identične radioizotope kao i za naše pokuse sa lignitom. Postupak tretiranja kontaminirane vode je bio također analogan postupku upotrebljenom za lignite, tj. vršio se preko kolona. Za humuse jedino nismo vršili odvajanje veličine zrna nego smo

Srednja dekontaminaciona efikasnost
ispitivanih lignita u uklanjanju
različitih radioizotopa, kao funkci-
ja veličine zrna.



ih koristili u nationom stanju.

Na Tab. IV/1-IV/4 je prikazana dekontaminaciona efikasnost humusa za pomenutih lokacija u odnosu na korištene radioizotope.

Na Tab. V/1-V/6 je data komparacija dekontaminacione efikasnosti različitih ispitivanih humusa u odnosu na pojedinačne radioizotope korištene za kontaminaciju vode.

Iz podataka sadržanih na ove dvije serije tabela proizlazi slijedeće:

/1/ Humusi u cjelini posjeduju visoku dekontaminacionu efikasnost izuzevši prema nekim radioizotopima.

/2/ najslabija ili nikakva dekontaminaciona sposobnost crnica se pokazala u odnosu na I-131 prisutan u vodi.

/3/ Nema bitne razlike u različiti dekontaminacione efikasnosti humusa uzetih na 4 različite lokacije. Utvrdjene razlike leže u granicama normalnih varijacija.

Tabela II/1

Uklanjanje Co-60 iz vode filtracijom kroz kolone punjene sa lignitom različitih veličina zrna i različitih porijekla

Veličina zrna mm	Rudnik	Početna specifična aktivnost Cpm/ccm	Krajnja specifična aktivnost cpm/ccm	Srednja vrijednost jednost. prečišć.
+3	Ivanec	86.892	2.965	97
3-1			4.039	95
-1			1.733	98
+3	Kolubara	86.892	3.296	96
3-1			2.387	97
-1			1.578	98
+3	Konjščina	86.892	7.040	92
3-1			6.160	93
-1			1.980	98
+3	Kreka /Joševica/	86.892	9.970	89
3-1			10.120	88
-1			4.215	97
+3	Kreka /Moluhe/	15.560	2.189	86
3-1			544	97
-1			345	98
+3	Velenje	86.892	6.004	93
3-1			6.302	93
-1			1.307	99

Tabela II/2

Uklanjanje Zn-65 iz vode filtracijom kroz kolone punjene sa lignitima različite veličine zrna različitog porijekla.

Veličina zrna mm	Rudnik	Početna specifična aktivnost cpm/ccm	Krajnja specifična aktivnost cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišćav. %
+3		12.397	703	94
3-1	Ivanec		942	93
-1			86	99
+3		12.397	526	96
3-1	Kolubara		391	97
-1			304	98
+3		12.397	10.023	18
3-1	Konjščina		7.085	43
-1			6.726	46
+3		12.397	13.121	0
3-1	Kreka /Joševica/		2.322	81
-1			659	96
+3		12.543	1.177	91
3-1	Kreka /Moluhe/		131	99
-1			72	99
+3		12.397	1.358	89
3-1	Velenje		1.761	86
-1			212	98

Tabela II/3

Uklanjanje Sr-85 iz vode filtracijom kroz kolone punjene sa lignitima različite veličine zrna i različitih porijekla

Vel- čina zrna mm	Rudnik	Početna specifič- na aktiv. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivnost cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišč. %
+3	Ivanec	24.220	15.480	36
3-1			14.492	46
-1			3.755	84
+3	Kolubara	24.220	16.412	32
3-1			13.423	45
-1			3.451	86
+3	Konjščina	24.220	16.968	30
3-1			18.087	25
-1			7.812	68
+3	Kreka /Joševica/	24.220	22.703	6
3-1			18.890	21
-1			10.021	59
+3	Kreka /Moluhe/	13.342	13.449	0
3-1			3.294	75
-1			101	99
+3	Veienje	24.220	15.132	37
3-1			13.481	44
-1			3.706	85

Tabela II/4

Uklanjanje I-131 iz vode filtracijom kroz kolone punjene sa lignitima različitih veličina zrna i različitog porijekla.

Vel- čina zrna mm	Rudnik	Početna specifič- na aktiv. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišćž %
+3		16.391	12.740	23
3-1	Ivanec		13.329	19
-1			10.581	35
+3		16.391	12.667	23
3-1	Kolubara		12.188	25
-1			9.209	44
+3		16.391	11.302	31
3-1	Konjščina		10.640	35
-1			10.703	35
+3		16.391	11.948	23
3-1	Kreka		11.177	32
-1	/Joševica/		8.547	48
+3		6.340	5.819	8
3-1	Kreka		5.090	19
-1	/Moluhe/		5.252	17
+3		16.391	11.125	32
3-1	Velenje		11.138	32
-1			11.494	31

Tabela II/5.

Oklanjanje Cs-137 iz vode filtracijom kroz kolone punjene -
sa lignitima različite veličine zrna i različitih porijekla

Vel- čina zrna mm	Rudnik	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišč. %
+3	Ivanec	14.308	13.066	9
3-1			6.789	52
-1			2.810	80
+3	Kolubara	14.308	5.890	59
3-1			6.321	56
-1			3.147	78
+3	Konjščina	14.308	12.749	11
3-1			15.054	0
-1			4.100	71
+3	Kreka /Joševica/	14.308	13.442	6
3-1			10.518	26
-1			4.744	67
+3	Kreka /Moluhe/	72484	3.545	53
3-1			3.924	48
-1			1.861	75
+3	Velenje	14.308	11.160	22
3-1			6.897	52
-1			7.005	51

Tabela II/6

Uklanjanje Cs-141 iz vode filtracijom kroz kolone punjene - sa lignitom različite veličine zrna i različitog porijekla.

Veličina zrna mm	Rudnik	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišć. %
+3		12.904	380	97
3-1	Ivanec		380	97
-1			59	99
+3		12.904	230	98
3-1	Kolubara		309	98
-1			156	99
+3		12.904	5.824	55
3-1	Konjščina		2.901	77
-1			3.309	74
+3		12.904	6.787	47
3-1	Kreka		622	95
-1	/Joševica/		255	98
+3		20.231	2.287	89
3-1	Kreka		2.390	88
-1	/Moluhe/		112	99
+3		12.904	519	96
3-1	Velenje		588	95
-1			113	99

Tabela III/1

Dekontaminaciona efikasnost lignita različitog zrna iz rudn
ika Ivanec u uklanjanju iz vode različitih radioizotopa.

Vali- čina vrsta m	Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/5 ccm	% uklonjenog aktivitet
+3			2.965	97
3-1	Co-60	86.892	4.031	95
-1			1.733	98
+3			703	94
3-1	Zn-65	12.397	942	93
-1			86	99
+3			15.480	36
3-1	Sr-85	24.220	14.432	46
-1			3.755	84
+3			12.740	23
3-1	I-131	16.391	13.329	19
-1			10.581	35
+3			13.066	9
3-1	Cs-137	14.308	6.789	52
-1			2.810	80
+3			380	97
3-1	Ce-141	12.904	380	97
-1			59	99

Tabela III/2

Dekontaminaciona efikasnost lignita različite veličine zrna iz rudnika Kolubara u uklanjanju iz vode različitih radioizotopa

Veličina zrna mm	Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktiva. cpm/5ccm	Srednja vrijednost prečišć. %
+3			3.296	96
3-1	Co-60	86.892	2.387	97
-1			1.578	98
+3			526	95
3-1	Zn-65	12.397	391	97
-1			304	98
+3			16.412	32
3-1	Sr-85	24.220	13.423	45
-1			3.451	86
+3			12.667	23
3-1	I-131	16.391	12.188	25
-1			9.209	44
+3			5.890	59
3-1	Cs-137	14.308	6.321	56
-1			3.147	78
+3			230	98
3-1	Ce-141	12.904	309	98
-1			156	99

Tabela III/3

Dekontaminaciona efikasnost lignita različitog zrna iz rudnika Konjščina u uklanjanju iz vode različitih radioizotopa

Vel- čina zrna mm	Radioizotop	Početna sšecifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/5ccm	% uklonjen- og aktiv.
+3			7.040	92
3-1	Co-60	86.892	6.160	93
-1			1.980	98
+3			10.223	18
3-1	Zn-65	12.397	7.085	43
-1			6.726	46
+3			16.968	30
3-1	Sr-85	24.220	18.078	25
-1			7.812	68
+3			11.302	31
3-1	I-131	16.391	10.640	35
-1			10.703	35
+3			12.749	11
3-1	Cs-137	14.308	15.054	0
-1			4.100	71
+3			5.824	55
3-1	Ce-141	12.204	2.201	77
-1			3.309	74

Tabela III/4

Dekontaminaciona efikasnost lignita različite veličine zrna iz rudnika Kreka /Joševica/ u uklanjanju iz vode različitih izotopa

Veličina zrna	Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/5ccm	% uklonjen. aktivit.
+3			9.970	89
3-1	Co-60	86.892	10.120	88
-1			4.215	17
+3			13.121	0
3-1	Zn-65	12.397	2.322	81
-1			659	95
+3			22.703	6
3-1	Sr-85	24.220	18.890	21
-1			10.021	59
+3			11.948	27
3-1	I-131	16.391	11.177	32
-1			8.547	48
+3			13.442	6
3-1	Cs-137	14.308	10.518	26
-1			4.744	67
+3			6.787	47
3-1	Ce-141	12.904	622	95
-1			255	98

Tabela III/5

Dekontaminaciona efikasnost lignita različitih veličina zrna iz rudnika Kreka /Moluhe/ u uklanjanju iz vode različiti h radioizotopa.

Vel- čina zrna mm	Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/5ccm	% uklonjen aktivit.
+3	Co-60		2.189	86
3-1		15.560	544	97
-1			545	98
+3	Zn-65		1.177	91
3-1		12.543	131	99
-1			72	99
+3	Sr-85		13.449	0
3-1		13.342	3.294	75
-1			101	99
+3	I-131		5.819	8
3-1		6.340	5.090	19
-1			5.252	17
+3	Cs-137		3.545	53
3-1		7.484	3.924	48
-1			1.861	75
+3	Ce-141		2.287	89
3-1		20.231	2.390	88
-1			112	99

Tabela III/6

Dekontaminaciona efikasnost lignita različite veličine zrna iz rudnika Vplenje, pri uklanjanju iz vode različitih radioizotopa.

Vel- čina zrna mm	Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/5ccm	Krajnja specifič. aktign. cpm/5ccm	% uklonjenog aktivit.
+3			6.004	93
3-1	Co-60	86.892	6.302	93
-1			1.307	99
+3			1.358	89
3-1	Zn-65	12.397	1.761	86
-1			212	98
+3			15.132	37
3-1	Sr-85	24.220	13.481	44
-1			3.706	85
+3			11.125	32
3-1	I-31	16.391	11.138	32
-1			11.494	31
+3			11.160	22
3-1	Cs-137	14.308	6.897	52
-1			7.005	51
+3			519	96
3-1	Ce-141	12.904	588	95
-1			113	99

Tabela IV/1

*dekontaminaciona efikasnost humusa porijeklom sa p.d. Butmir
u uklanjanju iz vode različitih radioizotopa.

Radioizotop	Početna specifična aktivnost cpm/ccm	Krajnja specifična aktivnost cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišćav. %
Co-60	86.892	923	99
Zn-65	12.397	179	99
Sr-85	24.220	6.344	74
I-131	16.391	16.472	0
Cs-137	14.308	2.148	85
Ce-141	12.904	110	99

Tabela IV/2

Dekontaminaciona efikasnost humusa porijeklom sa planine Igm
na oko 3 km od rampe, pored puta/, u uklanjanju iz vode raz
ličitih radioizotopa.

Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišć. %
Co-60	86.892	1.742	98
Zn-65	12.397	87	99
Sr-85	24.220	4.540	81
I-131	16.391	15.105	8
Cs-137	14.308	652	95
Ce-141	12.904	119	99

Tabela IV/3

Dekontaminaciona efikasnost humusa porijeklom sa planine Jah
orina /250 m od hotela "Jahorina", pored puta/ u uklanjanju
iz vode različitih radioizotopa.

Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišć. %
Co-60	86.892	1.434	98
Zn-65	12.397	132	99
Sr-85	24.220	5.301	78
I-131	16.391	16.844	0
Cs-137	14.308	812	94
Ce-141	12.904	127	99

Tabela IV/4

Dekontaminaciona efikasnost humusa porijeklom sa planine Tr ebević /oko 600 m od Uspinjače, iznad puta/ u uklanjanju iz vode različitih radioizotopa.

Radioizotop	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišć. %
Co-60	86.892	1.583	98
Zn-65	12.397	105	99
Sr-85	24.220	6.318	75
I-131	16.391	16.625	0
Cs-137	14.308	895	94
Ce-141	12.904	142	99

Tabela V/1

Uklanjanje Co-60 iz vode filtracijom kroz kolone punjene hu musom različitog porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišć. %
Butmir	86.892	923	99
Igman	86.892	1.742	98
Jahorina	86.892	123	99
Trebević	86.892	1.583	98

Tabela V/2

Uklanjanje Zn-65 iz vode filtracijom kroz kolone punjene hu musom različitih porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišć. %
Butmir	12.397	179	99
Igman	12.397	87	99
Jahorina	12.397	132	99
Trebević	12.397	105	99

Tabela V/3

Uklanjanje Sr-85 iz vode, filtracijom kroz kolone punjene humusom različitih porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišč. %
Butmir	24.220	6.344	74
Irgan	24.220	4.540	81
Jahorina	24.220	5.301	78
Trebević	24.220	6.318	75

Tabela V/4

Uklanjanje I-131 iz vode, filtracijom kroz kolone punjene humusom različitog porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivnost cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivnost cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišč. %
Butmir	16.391	16.472	0
Irgan	16.391	15.105	8
Jahorina	16.391	16.844	0
Trebević	16.391	16.625	0

Tabela V/5

Uklanjanje Cs-137 iz vode, filtracijom kroz kolone punjene humusom različitih porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijednost prečišč. %
Butmir	14.308	2.148	85
Irgan	14.308	652	95
Jahorina	14.308	882	94
Trebević	14.308	895	94

Tabela V/6.

Uklanjanje Ce-141 iz vode, filtracijom kroz kolone punjene humusom različitih porijekla.

Lokacija	Početna specifič. aktivn. cpm/ccm	Krajnja specifič. aktivn. cpm/ccm	Srednja vrijedn. prečišć. %
Butmir	12.9o4	11o	99
Igman	12.9o4	119	99
Jahorina	12.9o4	127	99
Trebević	12.9o4	142	99

Bibliografija

/1/ G. Žarković, Z. Knežević, A. Leovac /1963/: Efikasnost postupaka za dekontaminaciju vode za piće od radioaktivnih zagađivanja, Institut za higijenu i socijalnu medicinu, 1o, Sarajevo.

Dekontaminacija vode heterogenom zamjenom radionuklida

Uvod R. Despotović, M. Herak, M. Mirnik, R. Wolf:

Uklanjanje radionuklida iz tekuće faze može se provesti različitim postupcima. Jedan od vrlo često primjenjivanih postupaka je fiksacija radionuklida iz tekuće na krutu fazu. Ovaj je postupak sa praktičnog aspekta dekontaminacije vrlo interesantan zbog toga jer omogućuje brzo, kontrolirano i kvantitativno fiksiranje radionuklida različitih fizičko-kemijskih karakteristika. Pri tome je za relativno veliku radioaktivnost u tekućoj fazi dovoljna vrlo mala količina nosačkog materijala koji je najčešće u vodi vrlo teško topljiv, a to znači da se praktički ne troši pa i ne ulazi u znatnijoj količini u tekuću fazu, što bi u suprotnom moglo imati i štetne posljedice.

Proces fiksacije radionuklida iz tekuće ili na krutu fazu odvija se različitim mehanizmima:

jonskom zamjenom, adsorpciono-desorpcionom ravnotežom, autodifuzijom radionuklida, koji može biti jon konetinitet kristalne rešetke nosača, sređivanjem mikro i makrostrukture krute faze i kemijskom reakcijom na površini nosača. Koje od navedenih mehanizama biti odgovoran za fiksaciju radionuklida, ovisi o fizičko-kemijskim osobinama krute i u stavu tekuće faze. S ciljem da se pokaže važnost poznavanja ovih karakteristika za uspješno provođenje fiksacije, izvršena su određena istraživanja, čiji su rezultati djelomično ovdje prikazani.

Eksperimenti

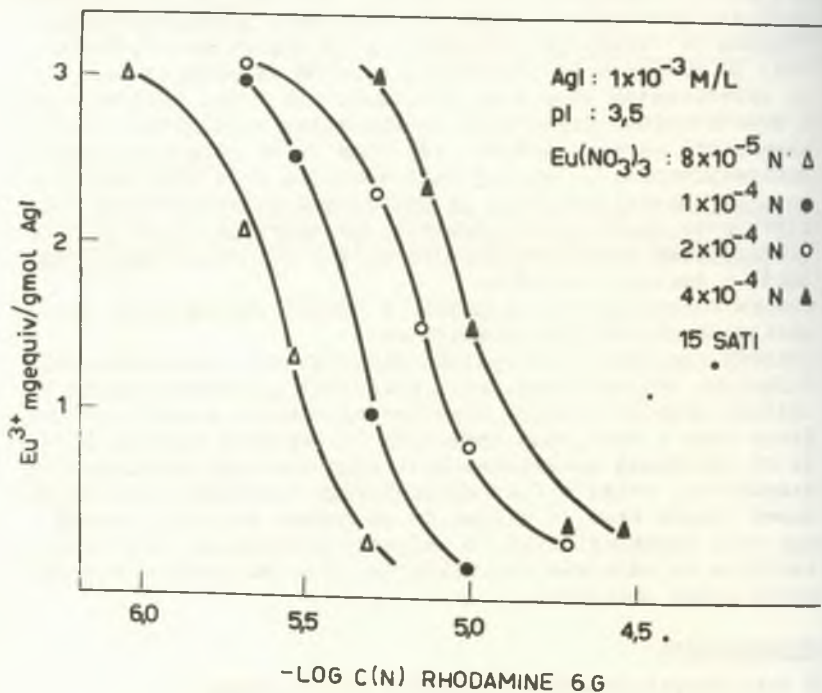
U toku eksperimenata analizirana su 4 sistema:

- AgI - $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ - (Eu^{152}) - Rodamin 6 G,
- AgI - $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ - (Eu^{152}) - Triton X 305,
- Polistirol - $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ - (Eu^{152}),
- Fe(III)(hidro)oksid - (Fe^{59}) - FeCl_3 ,

koji su pripremani miješanjem osnovnih komponenata tehnike u statu nascendi (1,2,3). Distribucija radionuklida između krute i tekuće faze u toku procesa i u stanju ravnoteže određivana je mjerenjem radioaktivnosti određenog alikvota tekuće ili krute faze na scintilacionom brojaču (EKCO) ili 256-kanalnom analizatoru (IRB). Čistoća upotrebljenih kemikalija je bila gradacije p.a. ili purissimum (Merck, Da

rmstadt). Upotrebljena voda dobivena je dvostepenom destilacijom vodovodne vode u Zelnerovom vakuum-bidestilatoru - (Jena). Radionuklidi u obliku sa nosačem dobiveni su otapanjem ozračenih Eu- i Fe(III)-oksida u dušičnoj ili klorovodoničnoj kiselini. Svi eksperimenti unutar jedne serije vođeni su pod jednakim uvjetima. Dobiveni rezultati prikazani su na slikama 1 do 4.

Slika 1.



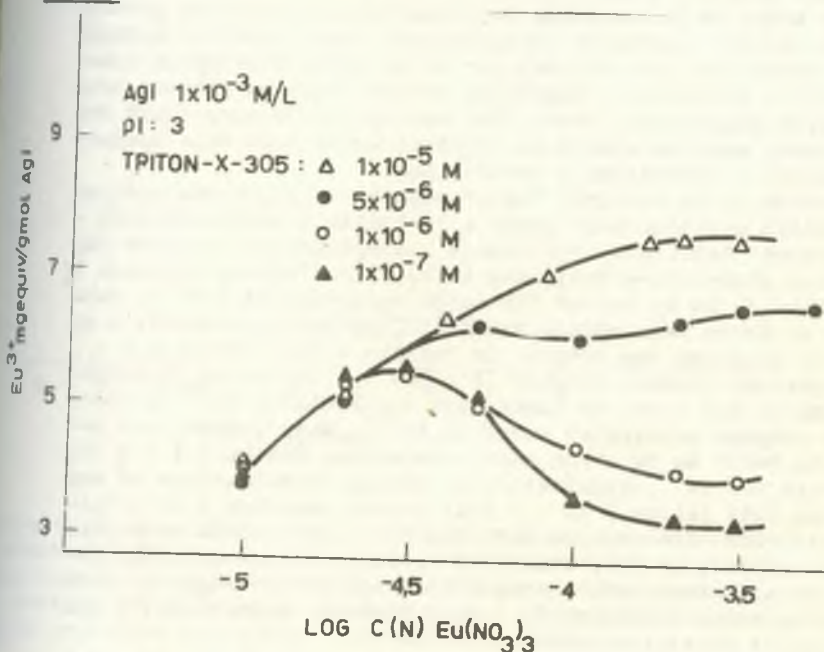
Rezultati i diskusija

Kontaminaciono-dekontaminaciona ravnoteža na površini, odnosno dekontaminacija tekuće faze vezivanjem (fiksacijom) radionuklida na krutu površinu, ekvivalentna je po mehanizmu adsorpciono-desorpcionoj ravnoteži na ispitivanom sistemu. Stoga rezultati istraživanja adsorpciono-desorpcionih ravnoteža predstavljaju bazu za konkretno rješavanje problema kontaminacije ili dekontaminacije u nekim od tehnološki i praktički važnih dvofaznih sistema. Uz procese -

heterogene zamjene, koji se odvijaju interakcijom jona u cijelom volumenu krute i tekuće faze, obuhvaćeni su najvažniji mehanizmi i procesi interesantni za fiksaciju radionuklida u sistemima "kruto-tekuće" u svrhu separacije ili uklanjanja otpadnih radioaktivnosti.

Rezultati pokazuju da je za desorpciju Eu^{3+} -(Eu^{152}) rodami nom 6G potrebna tim veća koncentracija rodamina 6G što je veća koncentracija Eu^{3+} u tekućoj fazi.

Slika 2.



Iako su navedeni rezultati u skladu sa izvedenom jednađbom (1): $\log(c_1/c_2) = (z_1 - z_2) a + \log x/(1-x)$, važno je istaknuti činjenicu da je za desorpciju jednakovalentnog katjona, u slučaju primjene organskih molekula elektrolič-

c_1, z_1 : normalna koncentracija jona 1 valencije z_1 ;

c_2, z_2 : normalna koncentracija jona 2 valencije z_2 ;

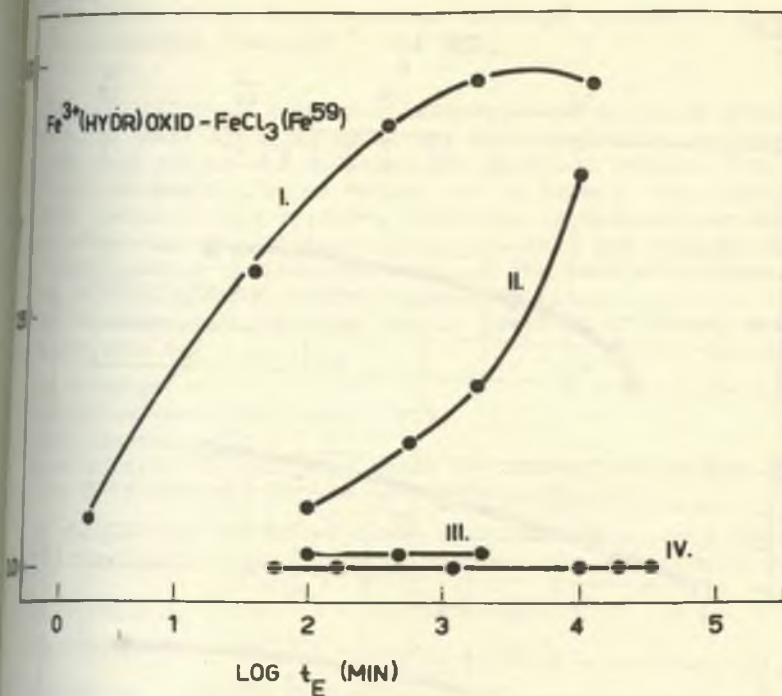
$1 - x$: frakcija adsorbirane količine jona 1 normalne koncentracije c_1 valencije z_1 .

nog tipa, potrebno vrlo mala količina te supstance, što je od prvorazrednog značaja za praktičnu dekontaminaciju. Međutim, rezultati prikazani na slici 2 pokazuju da je kod primjene velikih organskih molekula iz reda površinski aktivnih supstanci (u tehničkoj primjeni deterdženti) moguće povećanjem koncentracije na istim sistemima uspješno provesti desorpciju, ali i suprotno - povećati adsorpcioni kapacitet krute faze. Koji će se od navedenih procesa odvijati ovisi upravo o koncentraciji površinski aktivne supstance, što znači da za uspješnu dekontaminaciju primjenom površinski aktivne supstance (deterdženta) treba odrediti optimalne koncentracione uvjete, jer se sa istom supstancom može postići pozitivan i negativan efekat. Kako su procesi desorpcije mogući samo preko niza adsorpciono-desorpcionih ravnoteža, analiza stanja na površini krute faze daje ujednodgovor o zbivanjima u tekućoj fazi.

Poznato je da kemijski "ista" supstanca pripremana pod različitim uvjetima može imati i različite fizičko-kemijske osobine. Rezultati ispitivanja uticaja načina pripreme tipičnog skavenger-a željeznog (III)(hidro) oksida pokazuju (slika 3) da se proces fiksacije radionuklida Fe^{59} iz tekuće na krutu fazu odvija različito, upravo u ovisnosti o načinu pripreme tog nosača. Iz razlika u toku krivulja $F - \log t$, logaritama vremena zamjene ($F - \log t$) vidimo da je najpodesniji kao nosač za izdvajanje radionuklida Fe^{59} iz vodene otopine precipitat amorfne Fe^{3+} (hidr)oksida, dok je beta- $FeOOH$ za tu svrhu sasvim nepodesan (slika 3 I i 3 IV). Druga dva Fe^{3+} -(hidr)oksida po svojim sposobnostima za zamjenu leže (slika 3 II i 3 III) između amorfne i beta-(hidr)oksida. Ove razlike nisu slučajne, jer, prema detaljnim istraživanjima (2), svakom od opisanih načina pripreme odgovaraju određena svojstva krute faze kao i drugačije kristalografske strukture Fe^{3+} -(hidr)oksida, disperzitet i pravilnost kristalne rešetke.

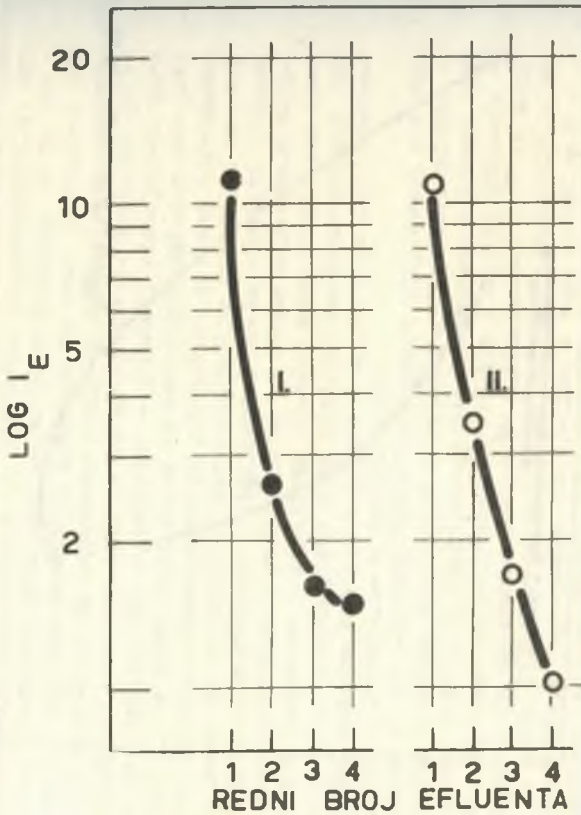
Prema empirijski izvedenoj jednadžbi: $\log(c_1/c_2) = (z_1 - z_2) a + \log x/(1-x)$ vrijedi princip ekvivalentnosti adsorpcije jednako-valentnih ($z_1 = z_2$, $x = 0,5$ uz $c_1 = c_2$) jona, što u uvjetima adsorpciono-desorpcione ravnoteže znači da se dekontaminacija bilo kojeg radionuklida može provesti jednako sa izotopnim kao i neizotopnim nosačem jednake valencije. Rezultati ispitivanja dekontaminacije Eu^{152} sa polistirola (3) neizotopnim nosačem (slika 4) pokazuje vrlo dobro slaganje sa rezultatima na modelnim sistemima (1). - Izotopni nosač $Zu(NO_3)_2$ dekontaminira podjednakom efikasnošću (krivulja I) radionuklid Eu^{152} sa površine polistirola kao i neizotopni nosač $Al(NO_3)_3$, iste koncentracije -

Služba 3.



(krivulja II), a nešto sporije nego neizotopni nosač veće - koncentracije (krivulja III). Ovaj primjer je važan ne samo zbog komparacije termodinamike ravnotežnih stanja različitih modelnih ili praktičnih sistema nego i zbog toga jer ilustrira praktičnu vrijednost osnovnih istraživanja.

Slika 4.

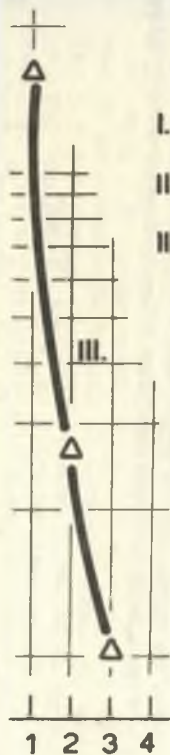


POLISTIROL -Eu¹⁵²

I. Eu³⁺ 1x10⁻⁴ N ●

II. Al³⁺ 1x10⁻⁴ N ○

III. Al³⁺ 1x10⁻² N Δ



Summary

Application of the Heterogeneous Exchange Processes in Water Decontamination Problems

The possibility of different heterogeneous exchange processes for their application in the decontamination by desorption from solids and radionuclide fixation removed from liquids by adsorption on solids was discussed. The fixation of radionuclides by these processes is interesting and important since it permits fast, efficient and controlled decontamination or fixation which in the case of mixtures can be simultaneous, selective or specific.

The heterogeneous processes can be based on different mechanisms such as:

ion exchange,
adsorption-desorption equilibria,
chemical reaction,
autodiffusion in the solid phase and removal of lattice disorders by crystallization or recrystallization.

As examples for the adsorption-desorption equilibria the following solid-liquid aqueous systems were described:

AgI - Eu(NO₃) - (Eu¹⁵²) - Rhodamine 6G

AgI - Eu(NO₃) - (Eu¹⁵²) - Triton X 305

Polystyrene - Eu(NO₃) - (Eu¹⁵²)

and the suitability of isotopic heterogeneous exchange was illustrated on the basis of the results of the system

Fe(III)(hydro)oxide - (Fe⁵⁹) - FeCl₃.

The physico-chemical properties of the liquid and solid phase indicate the predominant influence on the rate of exchange and on the adsorption equilibria.

Reference

1. M. Herak i M. Mirnik, "Kolloid Z.": 179, 1961, 130;
2. R.H.H. Wolf, M. Mirnik i B. Težak, "Kolloid Z.", u štampi;
3. D. Despotović, M. Herak i Lj. Despotović, "Croat. Chem.-Acta", 37, 1965.

Komentar slika:

- Slika 1 - Sistem: $\text{AgI-Eu}(\text{NO}_3)_3\text{-(Eu}^{152})\text{-rodamin 6G}$.
Uticaj koncentracije $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ na desorpciju Eu^{152} - (Eu^{152}) otopinom rodamina 6G. Sistemi su analizirani 15 sati nakon pripreme. Ordinata: adsorbirana količina europija izražena kao broj miligram mekvivalenata europija po jednom gramolu AgI , - apscisa: negativni logaritam normalne koncentracije rodamina 6G prisutnog u tekućoj fazi.
- Slika 2 - Sistem: $\text{AgI-Eu}(\text{NO}_3)_3\text{-(Eu}^{152})\text{-triton X 305}$.
Uticaj koncentracije nepolarnog tritona X 305 na desorpciju Eu^{152} - (Eu^{152}) . Negativni AgI sol - $(1 \times 10^{-3} \text{ M/l})$ uz pH 3. Ordinata: adsorbirana količina europija izražena kao broj miligram ekvivalenata europija po jednom gramolu AgI , apscisa: negativni logaritam normalne koncentracije $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$.
- Slika 3 - Sistem: Fe^{3+} (hidro)ksid - $(\text{Fe}^{59})\text{-FeCl}_3$.
Heterogena zamjena $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Fe) kona između vodene otopine FeCl_3 i krute faze $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (hidro)oksida pripremljenog na različite načine (I-IV). Ordinata: frakcija zamjene F, apscisa: vrijeme zamjene (u logaritamskom mjerilu).
I - "Amorfni" $\text{Fe}(\text{OH})_3$: $5,02 \times 10^{-2} \text{ N Fe}(\text{OH})_3 + 4,0 \times 10^{-2} \text{ N FeCl}_3 + 6 \times 10^{-2} \text{ N NaCl}$ (na početku eksperimenta). Tokom vremena kruta faza se otapa II- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dobiven sušenjem "amornog" $\text{Fe}(\text{OH})_3$ na zraku na 165°C kroz 4,5 sati. Na početku eksperimenta: $5,9 \times 10^{-2} \text{ N Fe}(\text{OH})_3 + 8,5 \times 10^{-2} \text{ N FeCl}_3$. Vremenom se smanjuje koncentracija FeCl_3 .
III- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dobiven kuhanjem "amornog" $\text{Fe}(\text{OH})_3$ u vodi na 100°C kroz 4,5 sati. Na početku eksperimenta: $4,95 \times 10^{-2} \text{ N Fe}(\text{OH})_3 + 8,5 \times 10^{-2} \text{ N FeCl}_3$. Tokom vremena smanjuje se koncentracija FeCl_3 .
IV - beta- $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ dobiven sporom hidrolizom vodene otopine $3,0 \times 10^{-2} \text{ N FeCl}_3$ na 100°C kroz 5 sati U toku eksperimenta stalna je koncentracija - $9,0 \times 10^{-2} \text{ N beta-FeO} \cdot \text{OH} + 2,1 \times 10^{-2} \text{ N FeCl}_3$.
- Slika 4 - Sistem: Polistirol - $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3\text{-(Eu}^{152})$. Desorpcija (dekontaminacija) europija (Eu^{152}) sa polistirola otopinama $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ $1,0 \times 10^{-2} \text{ N}$ (krivulja II), $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ $1,0 \times 10^{-2} \text{ N}$ (krivulja III). - Ordinata: radioaktivnost efluenta nakon ispiranja kontaminirane polistirolne površine, apscisa: redni broj efluenta.

Uklanjanje radioaktivnih izotopa J 131, Ce 141, Ru 106 i Sr 89 iz vode primjenom postupka koagulacije, taloženja i cijeđenja

M. Ristić, R. Božović, M. Živadinović, I. Cavić

Radioaktivni materijal koji nastaje pri eksplozijama nuklearnog oružja, pored ostalog, dospijeva i u sisteme za snabdivanje vodom. To su radiološki kontaminirane vode, koje ako se koriste za piće i drugu namjenu, mogu predstavljati opasnost po zdravlje ljudi.

Stepen radiološke kontaminacije vode zavisi uglavnom od fizičkih i kemijskih osobina, fisionih produkata i njihove rastvorljivosti u vodi. Poznato je da radioaktivni kontaminant u vodi može da se pojavi u obliku dispergovanih čvrstih čestica, u koloidnom stanju i u ionskom stanju. Navodi se da je rastvorljivost fisionih produkata u vodi oko 1% i da je od toga najviše zastupljen jod /I/. Uklanjanje radiološke kontaminacije u prva dva oblika ne predstavlja teškoću. Medjutim, kontaminacija u ionskom stanju je ozbiljno pitanje sa stanovišta tehničkog izvođenja radiološke dekontaminacije vode.

Dosadašnja iskustva su pokazala da primjenom standardnih postupaka tretiranja vode pri radiološkoj dekontaminaciji mogu da se postignu dobri rezultati. Tako se uklanja oko 70-80% radioaktivnosti, i to pretežno one koja je u obliku dispergovanih čvrstih čestica i u koloidnom stanju /2/.

Ali voda i dalje ostaje kontaminirana radioizotopima u ionskom stanju. Standardnim postupcima kao što su koagulacija, taloženje i cijeđenje, uklanjaju se jednim dijelom i radioizotopi u ionskom stanju. Da bi se ovo proučilo, preduzeli smo ispitivanja sorpcije radioaktivnih izotopa na svježe formiranom talogu $Al(OH)_3$ sa Na_2CO_3 , u funkciji pH i koncentracije Al_2/SO_4 . Vodu smo kontaminirali sa J 131, Ce 141, Ru 106 i Sr 89 sa nosačem, a u obliku jedinjenja - NaJ , $CeCl_3$, $RuCl_3$ i Sr/NO_3 . Navedeni radioizotopi su zastupljeni u fisionoj smješi. Eksperimentalni rad smo izveli na nivou laboratorijskih ogleda i na uređaju za rad u poljskim uslovima.

Laboratorijaka ispitivanja - eksperimenti

Za rad su pripremani rastvori Al_2/SO_4 i Na_2CO_3 u destilovanoj vodi i rastvori J 131, Ce 141, Ru 106 i Sr 89 u česmenkoj vodi, u kojoj je koncentracija Ca^{++} iznosila 71,4 mg/l, što odgovara tvrdoći $10^\circ d$. Eksperimenti su izvođeni na slijedeći način: u kivete su sipani rastvori Al_2/SO_4 i radioaktivni rastvori J 131, Ce 141, Ru 106 ili Sr 89, a povećanje alkalnosti tj. pH sredine, dotjerivano je sa Na_2CO_3 . Zapremina rastvora u svim oblicima bila je konstantna, bez obzira na koncentraciju Al_2/SO_4 i pH vrijednosti rastvora. Poslije koagulacije vrijeme kontakta talog-rastvor bilo je 30 minuta. Centrifugiranjem odvojen je talog od matičnog rastvora. Zatim je mjerena pH rastvor. Iz matičnog rastvora uzimani su uzorci za mjerenje zaostale aktivnosti. Pr obe od po 1 ml sušene su do suva i mjerene na GM brojaču. Rezultati prikazani u tabelama i dijagramima predstavljaju srednju vrijednost svih mjerenja i izraženi su u procenti-

ma povučene aktivnosti.

Rezultati i diskusija

Rezultati dati u tabelama 1-5 i na dijagramima 1 i 2 prikazuju povlačenje J 131, Ce 141, Ru 106 i Sr 89 iz česmenske vode tvrdoće $10^{\circ}d$ u funkciji koncentracije $Al_2/SO_4/3$ od 150 do 600 ppm i pH rastvora u granicama 4,3-9,4. Rezultati prikazani u tabeli 1 pokazuju da kod navedenih uslova ne dolazi do povlačenja J 131. To se slaže sa do sada objavljenim podacima / 3-5/.

Tabela 1.

Povlačenje J 131

ppm $Al_2/SO_4/3$	Opseg pH rastvora	% povlačenja
150	6,1 - 8,9	0,0 - 1,0
200	6,0 - 8,9	1,7 - 2,6
300	6,1 - 8,5	0,0 - 1,0
600	6,2 - 8,9	1,0 - 2,8

Ispitivali smo i poboljšanje uklanjanja J 131 dodavanjem aktivnog uglja kao adsorbensa. Dobijeni rezultati navedeni u tabeli 2 bitno se ne razlikuju od prethodnih.

Tabela 2.

Povlačenje J 131 sa dodatkom aktivnog uglja

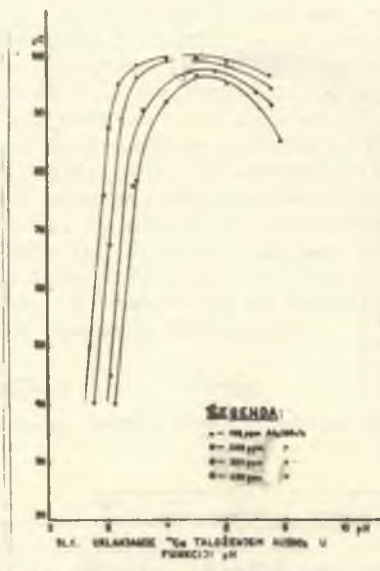
ppm		Opseg pH rastvora	% povlačenja
$Al_2/SO_4/3$	Aktivni ugalj		
150	50	6,3 - 8,9	4,3 - 7,2
	100	6,2 - 8,9	2,0 - 3,5
	200	6,3 - 8,9	13,6 - 17,9
	300	6,0 - 8,7	11,4 - 34,3

Tabela 3.

Povlačenje Ce 141

ppm $Al_2/SO_4/3$	Opseg pH rastvora	% povlačenja
150	5,8 - 8,9	96,3
200	6,2 - 9,1	97,6
300	5,7 - 8,8	99,0
600	5,4 - 8,4	99,4

Slika 1.



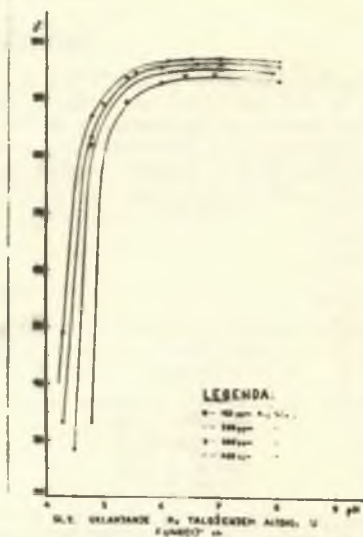
Krive na dijagramu 1 pokazuju da je skokovito povećanje sorpcije Ce 141 od pH 5,5 - 6,5 i dostiže maksimum do pH 7,5. Sa povećanjem koncentracije $Al_2/SO_4/3$, maksimalna vrijednost uklonjenog Ce 141 pomjera se ka nižim pH vrijednostima. Pored toga, iz tabele 3 se vidi da se pri višestrukom povećanju koncentracije $Al_2/SO_4/3$ procenat povučenog Ce 141 znatno ne mijenja. Pri pH većim od 9,0 počinje djelimična peptizacija $Al/OH/3$ i zbog toga se smanjuje procenat povučene aktivnosti /3-6/.

Tabela 4.

Povlačenje R-106

ppm $Al_2/SO_4/3$	Opseg pH rastvora	% povlačenja
150	4,8 - 8,0	94,1
200	4,5 - 7,9	95,6
300	4,3 - 8,0	95,9
600	4,3 - 8,0	97,1

Slika 2.



Krive na dijagramu 2 za Ru 106 su pomjerene ka nižim pH - vrijednostima, a postignuti rezultati su nešto niži od rezultata za Ce 141.

Tabela 5.

Povlačenje Sr 89

ppm Al_2/SO_4Z_3	Opseg pH rastvora	% povlačenja
150	6,0 - 9,0	1,5 - 69,1
200	6,0 - 9,0	3,7 - 31,7
300	6,3 - 9,2	3,6 - 17,9
600	6,2 - 9,4	4,2 - 71,8

Na osnovu ovih opita sa Sr 89 i na osnovu podataka iz literature [7] smatramo da u ovom slučaju nije u pitanju sorpcija na $Al(OH)_3$ već da dolazi do formiranja stroncijum - karbonata. Vrlo dobri rezultati uklanjanja Sr 89 postižu se tek iznad pH 9,0.

Opiti u poljskim uslovima - eksperimenti

Radili smo sa vodom koja je vještački zamućena muljem, tako da joj je mutnoća bila 30 silicijumove skale, a tvrdoća 40 d. Zatim je mjerena pH sirove vode. U rezervoar od 2m³ voda je kontaminirana rastvorima J 131, Ce 141, Ru 106 ili

Sr 90. Za opite pod ovim uslovima uzeli smo najnižu koncentraciju $Al_2(SO_4)_3$ od onih sa kojima smo radili u laboratoriju, jer su nam ogledi pokazali da se procenat sorpcije - znatno ne mijenja promjenom koncentracije $Al_2(SO_4)_3$. Pri radu sa J 131 u rezervoar za koagulaciju dodavan je i aktivni ugalj. Voda je u početku brzo miješana, a onda sve spori je, jer sporo miješanje ubrzava povećanje flokula $Al(OH)_3$, a time i bolje taloženje (6). Po dodavanju hemikalija za koagulaciju mjerena je pH vode. Vrijeme kontakta talog - rastvor bilo je 30 minuta. Po završenom odstojavanju voda je filtrirana preko mehaničkog filtra i puštana u rezervoar za čistu vodu tek onda kada više nije bilo vidljivih ostataka mehaničkih nečistoća. Iz rezervoara za čistu vodu uzimani su uzorci za mjerenje zaostale aktivnosti.

Rezultati i diskusija

Rezultati prikazani u tabeli 6 su srednja vrijednost 3-5 mjerenja.

Tabela 6.

Izotop	ppm		Aktivni ugalj	pH teret.vode	% povlače.
	$Al_2(SO_4)_3$	Na_2CO_3			
J 131			200	7,0	33,0
Ce 141	150	75	-	7,0	99,9
Hu 106			-	6,6	97,9
Sr 89			-	7,2	10,1

Iz tabele 6 se vidi da je uklanjanje Ce 141 i Hu 106 na talogu $Al(OH)_3$ veoma efikasno u poljskim uslovima rada. Međutim u laboratoriji su dobijeni nešto niži rezultati (tabele 3 i 4). Uzrok ovome može biti to što se poslije završene koagulacije i odstojavanja voda filtrira preko mehaničkog filtra. Na sloju koji se nahvata u filtarskoj komori zadržavaju se i najfinije dispergovane čestice $Al(OH)_3$ koje "nose" radioaktivne jone. Drugi uzrok ovoj pojavi može da bude prisustvo mutnoće, jer su i same gline dobri prirodni jonoizmjjenjivači.

Mehanizam uklanjanja Ce 141 i Hu 106 ide na račun primarne-jonoizmjenjivačke sorpcije, tj. joni cerijuma i rutenijuma iz tečne faze zamjenjuju trovalentne jone aluminijuma iz čvrste faze (6). Visok stepen uklanjanja Ce 141 (tabela 6) ukazuje nam da možemo očekivati zadovoljavajuće rezultate i u slučaju mnogo većih koncentracija radioaktivnog cerijuma.

Cerijum pripada grupi rijetkih zemalja, dakle, grupi elementa koja je zastupljena u velikom procentu u fisionoju smješi nakon nuklearne eksplozije. Rijetke zemlje su elementi koji su po svojim kemijskim osobinama slični, tako da može mo očekivati da će sorpcija na $Al(OH)_3$ biti efikasna i za ostale elemente ove grupe.

Pod istim uslovima rada procenti povlačenja Sr 89 su neznatni. Ovako malo uklanjanje Sr 89 je rezultat različitih mehanizama povlačenja stroncijuma i cerijuma. Do uklanjanja stroncijuma dolazi, s jedne strane, zbog taloženja stroncijum-karbonata i, s druge strane, zbog stvaranja stroncijum-aluminata. Ali ove pojave dešavaju se tek na većim pH vrijednostima (6,7).

Ispitivanja uklanjanja J 131 uz dodatak aktivnog uglja kao adsorbensa ne daje zadovoljavajuće rezultate. Dobri rezultati povlačenja joda ne mogu se postići taloženjem uz dodatak adsorbensa. Upotrebom jonoizmjenjivačkih kolona sa anjonskim izmjenjivačem mogu se očekivati dobri rezultati.

Zaključci

1. Ispitavano je povlačenje radioaktivnih izotopa J 131, Ce 141, Ru 106 i Sr 89 sorpcijom na svježe formiranom talogu $Al(OH)_3$. Cilj ispitivanja je bio da se ustanovi u kojoj mjeri je moguće uklanjati radioizotope u jonskom stanju pri izvođenju procesa koagulacije, taloženja i filtriranja.

2. Ustanovili smo da je proces koagulacije taloženja i filtriranja efikasan za uklanjanje radioizotopa Ce 141 i Ru 106. Pri koncentracijama od 150 ppm $Al_2(SO_4)_3$ i 75 ppm Na_2CO_3 procenat uklanjanja Ce 141 dostiže svoj maksimum na $pH = 7$, a Ru 106 na $pH = 6,6$. Pod ovim uslovima uklanja se 99,9% Ce 141 i 97,9% Ru 106. Pošto Ce 141 pripada grupi rijetkih zemalja možemo očekivati da će i drugi radioizotopi iz te grupe biti efikasno uklonjeni ovim postupkom.

3. Uklanjanje J 131 u anjonskom obliku je neefikasno bilo kakvim kemijskim procesima pri prečišćavanju vode. Pokazalo se da ni od kakvog značaja nije mijenjanje koncentracije $Al_2(SO_4)_3$, Na_2CO_3 , aktivnog uglja i pH vrijednosti vode. Sigurno uklanjanje J 131 je moguće tek primjenom kolona s jonskim izmjenjivačima.

4. Uklanjanje Sr 89 iz vode na $Al(OH)_3$ je neefikasno na pH vrijednostima nižim od 7. Proces taloženja stroncijum-karbonata i stroncijum-aluminata počinje u alkalnoj sredini i pri tom na visokim pH vrijednostima teži saturaciji. Smatramo, da se ovo može da odnosi i na druge zemno-alkalne metale.

Resume

L'EXTRACTION DES ISOTOPES RADIOACTIFS J^{131} , Ce^{141} , Ru^{106} , ET Sr DE L'EAU EN APPLIQUANT LES METHODES DE COAGULATION, DE SEDIMENTATION ET DE FILTRATION

On a decrit les resultats des recherches concernant la sorption des isotopes radioactifs sur l'hydroxide d'aluminium fraichement forme, le carbonate de sodium, en fonction de pH et la concentration du sulfate d'aluminium.

On donne aussi une appreciation de la possibilite de decontamination des eaux contaminees par les isotopes radioactifs en se servant de la methode conventionnelle pour la purification de l'eau.

Literatura:

1. C.B. Amphlett, Soil Chemistry and the Uptake of Fission Products, "Research", September, 1955, 335-341;
2. W.J. Lacy et al., "Health Physics", 8, 423-427, 1962;
3. R.J. Morton and C.P. Straub, 1956, "JAWWA", 48, 545;
4. C.P. Straub, R.J. Morton and O.R. Placak, "JAWWA", 43, - 777, 1951;
5. C.P. Straub, Sewage and ind. Wastes, 23, 188, 1951;
6. S.A. Voznesenskij, V.V. Puškačev, V.F. Bagrecov, "Žurn. neorg. himii", 3, 1, 135, 158;
7. C.B. Amphlett, Treatment and Disposal of Radioactive Wastes, "Pergamon Press", Oxford, 1961.

teti i razlike u odnosu na stepen potencijalne opasnosti i količine vode koje treba dekontaminirati. U vezi s tim nameće se primjena različitih postupaka i tehnoloških rješenja-koja je potrebno ostvariti.

Primarnom dekontaminacijom, koja je usmjerena na sprečavanje posljedica koje se ispoljavaju neposredno poslije ozračivanja i kontaminacije, neophodno je obezbijediti nužne količine vode za piće za ograničeni broj potrošača i za ograničeno vrijeme. U ovom slučaju može se odrediti izvjestan prihvatljiv ili tolerantan nivo koncentracije radioizotopa u vodi za piće. Za ovakve okolnosti postoji odgovarajuća preporuka bazirana na pretpostavci da je najopasniji produkt - kompleks Sr + Y 90. (Ove indikacije mogu se bez izmjene primjeniti na ostale prehrambene artikle).

Postupci za primarnu dekontaminaciju treba da budu usmjereni na uklanjanje onih radioizotopa koji mogu izazvati bliske posljedice ozračivanja. Pod bliskim posljedicama ovdje se podrazumjevaju efekti koji nastaju od momenta ozračivanja i traju približno šest mjeseci (6). U ovom periodu zapaža se najveći broj smrtnih slučajeva od ozračivanja, a kod većine preživjelih ciklus razvika radijacione bolesti se završava od lakih do akutnih oblika.

Ukoliko su ove posljedice izazvane djelimično i upotrebom kontaminirane vode za piće, jasno je da J 131 pri tome predstavlja glavnu opasnost. Prema tome, svi postupci dekontaminacije vode za piće moraju biti usmjereni na to da se iz nje ukloni J 131, naročito u rejonima zahvaćenim intenzivnim radioaktivnim padavinama. Ovaj problem je utoliko teži što je i njegovi kemijski oblici u kojima se može javiti u česticama radioaktivnih padavina predstavljaju komponentu veoma rastvorljivu u vodi.

Jonizmjenjivačke smole koje se koriste u uređajima za dekontaminaciju vode za piće efikasno uklanjaju anjonske i katjonske oblike radioizotopa, pri čemu se postiže vsoma visok faktor dekontaminacije. Uvako prečišćena voda praktično je bezopasna za piće.

Nepogodnost ovakvog načina primarne dekontaminacije je visoka cijena uređaja. Ostali postupci, uključujući najprimitivnija filtriranja mogu znatno da umanje stepen opasnosti od interne kontaminacije, jer će velika količina nerastvorljivih čestica, koje inače predstavljaju gro radioaktivnih padavina, biti zadržana u materijalu za filtriranje. Sekundarni problem dekontaminacije je dekontaminacija velikih količina vode za piće, za veliki broj potrošača i za neodređen vremenski period. Rješavanju ovog problema treba pristupiti na takav način da se kao krajnji cilj postavi ostvarivanje-

takvih metoda i postupaka dekontaminacije čiji će se rezultati maksimalno približiti dozvoljenim koncentracijama radioizotopa u vodi za piće.

Svoj rad smo posvetili tome da provjerimo efikasnost široko primjenjivanog klasičnog postupka prečišćavanja voda postupkom koagulacije $Al(OH)_3$ sa Na_2CO_3 (1-5), radeći pod nešto drukčijim okolnostima - bez turbiditeta i u čistoj vodovodskoj vodi, za razliku od uslova koji su bili ostvareni u ogledima drugih autora.

Ovaj postupak se zbog jednostavnosti i ekonomičnosti koristi za prečišćavanje vode u vodovodnim instalacijama, što daje odlične rezultate za klasične potrebe. Niz autora vršili su ispitivanja mogućnosti dekontaminacije vode za piće pomenutim postupkom, određujući faktor dekontaminacije, odnosno procenat uklonjenih radioizotopa iz vode u funkciji pH, turbiditeta, ppm koagulanata i dodatka drugih kemikalija (1-5). Procenat uklanjanja radioizotopa na osnovu ovih podataka - bio bi slijedeći:

- Sr 90: 6-10% (izuzetno 50%),
- Sr 89: 5-10%,
- Ku 106: 99-99,8%,
- Ku 97: 50-89,6%,
- Cs 137: 20-65% (visoka vrijednost od 67% uklonjenog Cs 137 postiže se povećanjem turbiditeta dodatkom gline),
- J 131: 10-77% (77% uz povećani turbiditet)
- FP-1: 61-84% (sa povećanim turbiditetom),
- FP-2: 9-71% (samo sa talogom $Al(OH)_3$;
12-73% (sa talogom $Al(OH)_3$ + turbiditet),
- FP-3: 46% (talog $Al(OH)_3$ + turbiditet).

Oglade smo izvodili sa smješom fisionih produkata koji su - poslije izdvajanja iz nuklearnog goriva odležali oko dvije godine. Pored toga, vršeni su i ogledi sa pojedinačnim radioizotopima koji pripadaju fisionim produktima. U tom cilju, zbog velikog prinosa u fisiji, za ispitivanja su odabrani radioizotopi J 131, Ce 141 i Sr 89.

Procenat uklonjene aktivnosti iz kontaminirane vode ispitivan je u funkciji pH i koncentracije Al^{+++} jona.

Smješa fisionih produkata, upotrebljena za ogledе sadržavala je slijedeće komponente: Sr 90 + Y 90 (34,7%), Cs 137 - (27,1%), Ce 144 + Pr 144 (44,2%), u obliku nitratnog rastvora.

Ogladi su izvođeni na sobnoj temperaturi. U svim eksperimen-

tima radeno je sa istom zapreminom (30 ml), bez obzira na pH vrijednosti rastvora u koncentraciju Al^{+++} jona. Mjerenja radioaktivnosti vršena su sa zvonastim GM brojačem, a uzorci fisione smješe analizirani su i gama-spektrometrijski. U toku ispitivanja došli smo do slijedećih rezultata:

1. Procenat povlačenja J 131 iz česmenske vode sintetičke tvrdoće 10^0d (DIN), u funkciji koncentracije Al^{+++} jona - od 5-75 ppm, kojom prilikom se pH rastvora kretao u granicama 5-9, - iznosi 0-7%. Podaci iz literature (1-4), koji govore o povećanom povlačenju J 131 uz dodatak 4-15 ppm - aktivnog uglja nisu potvrđeni našim ogledima. Druge dodatne kemikalije koje poboljšavaju uklanjanje J 131 iz rastvora kao što su $CuSO_4$ i $AgNO_3$, nisu dodavane zbog njihove toksičnosti, s obzirom da se radi o vodi za piće.

2. Procenat uklonjenog Ce 141 iz česmenske vode sintetičke tvrdoće 10^0d (DIN), pri koncentraciji Al^{+++} jona 5-75 ppm i pri pH rastvora u opsegu 5-9, kreće se od 10 do 99%

3. Procenat povlačenja Sr 89 pod istim uslovima ogleda - kao za J 131 i Ce 141 kreće se u granicama 0-76%.

4. Procenat povlačenja smješe fisionih produkata iz česmenske vode sintetičke tvrdoće 10^0d (DIN), u funkciji koncentracije Al^{+++} jona 5-75 ppm, i opsegu pH 5-9, - kreću se - u granicama 10-64%.

Na osnovu rezultata gama-spektrometrijske analize utvrđeno je da procenat uklonjenog Ce 144 iz smješe fisionih produkata za sve koncentracije Al^{+++} iznosi 100%, što se slaže sa rezultatima dobijenim za Ce 141.

Procenat uklonjenog Cs 137 iz smješe fisionih produkata, - dobijeni gama-spektrometrijskom analizom, iznosi do 80%. Za pomenute koncentracije Al^{+++} jona u opsegu pH 5-9, dolazi do povlačenja Y 90, koji se bolje povlači od Sr 90 što je kvalitativno dokazano vremenskim praćenjem aktivnosti određenih proba. Prema podacima iz literature (1-3), Y 90 se odlično adsorbuje na talogu $Al(OH)_3$, ponašajući se kemijski kao rijetke zemlje.

Polazeći od podataka da se glavna kontaminanata u slučaju radioaktivnih padavina nalazi u nerastvornom stanju, u obliku sintetizovanih oksida, vršili smo dalje ogledne filt

FP-1 : svježa smješa FP u kojoj se nalazi J 131,

FP-2 : sintetička smješa fisionih produkata na osnovu proračuna za 30 dana poslije eksplozije,

FP-3 : smješa fisionih produkata stara tri godine.

mrnjanja vode kontaminirane sintetičkim falloutom. Kontaminirajući radioizotop bio je Ce 141, riksiran u običnoj zemlji. Granulacija sintetičkog fallouta kretala se od 65-160 μ . Mastvorljivost Ce 141 iz sintetičkog fallouta ispitana je sukcesivnim viščasovnim mućkanjem jednog istog uzorka-kontaminanta u česmenskoj vodi. U ispitivanje su uzimani -uzorci od po 3 gr sintetičkog fallouta, čija je aktivnost-bila reda 80 μ Ci/gr. Poslije mućkanja suspenzija je filtrirana i uzorci rastvora od po 1 ml uparavani i mjereni na zvonastom GM brojaču, čija je efikasnost za Ce 141 10%. Aktivnost uzoraka kretala se oko 5-10 imp/min/ml.

Rastvore ovakve radioaktivnosti nismo smatrali kontaminiranim, jer su mjerene aktivnosti bile na nivou fona.

Poslije ovih ogleda napravljena je suspenzija koja je sadržavala 1 gr zemlje/1 litar česmenske vode i filtrirana je kroz pješćani filter.

Suspenzija je filtrirana kroz pješćani stub visine 20 cm i $d = 15$ cm. Granulacija zrna pijeska kretala se oko 60 μ .

Kroz filter su sukcesivno propuštane količine od po 3 litra suspenzije u jednom postupku. Kroz jedan isti filter propušteno je na taj način 24 litra kontaminirane suspenzije. U toku filtriranja zapaženo je da čestice sintetičkog fallouta formiraju zaštitni sloj po površini pijeska, te na taj način također igraju ulogu filtra. Prodiranje čestica-po dubini filtracionog eloja nije ispitivano. Profiltrirani uzorci vode hvatani su u frakcijama od po 250 ml. Od svake frakcije uzimana su po tri uzorka od 1 ml, koji su sušeni i mjereni na GM brojaču. Aktivnost mjerenih uzoraka u svim frakcijama kretala se od 5 do 10 imp/min/ml. Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da pješćani filter -potpuno zadržava čestice kontaminanta granulacije 65-160 μ . Slični postupci filtriranja opisani su u literaturi (7) i sa sigurnošću se može tvrditi da se ovakvim postupkom može zadržati veliki dio nerastvorene komponente fallouta koji nastaje prilikom eksplozije nuklearnih oružja.

Problem primarne dekontaminacije vode za piće zahtijeva -dalji intenzivan istraživački rad na traženju novijih, efikasnijih i ekonomičnijih postupaka koji bi se u slučaju po potrebe mogli široko primjenjivati.

ZAKLJUČCI

1. Filtriranjem vode kontaminirane sintetičkim falloutom, granulacije 65-160 μ / kroz pješćani filter moguće je sto-percentno zadržati nerastvornu komponentu fallouta.

2. Uklanjanje J 131 iz vode 10^0 d (DIN) pomoću $Al(OH)_3$ nije efikasno pri svim vrijednostima pH i koncentraciji Al^{+++} jona. Rezultati se nisu poboljšali ni uz dodatak aktivnog uglja u koncentraciji 4-15 ppm.

3. Taloženjem $Al(OH)_3$ sa Na_2CO_3 uklanja se preko 99% $Ce-141$ sa maksimumom na pH 7,5, dok uklanjanje $Sr-89$ počinje tek na pH-7 i teži saturaciji na visokim vrijednostima pH.

4. Uklanjanje smješe fisionih produkata iz vode tvrdoće 10^0 d (DIN) kreće se do 65%.

5. Na osnovu rezultata izvršenih oglada može se zaključiti da se postupak koagulacije $Al(OH)_3$ primjenjen na dekontaminaciju vode zagađene radioizotopima ne daje u potpunosti za dovoljavajuće rezultate. Međutim, s obzirom na povoljne rezultate koji se dobijaju za uklanjanje pojedinih radioizotopa i relativno dobre prinose pri dekontaminaciji smješe fisionih produkata, može se očekivati da će ovaj postupak u kombinaciji sa nekim drugim postupkom dati sasvim zadovoljavajuće rezultate, zbog čega treba nastaviti sa intenzivnim radom na ovoj problematici.

RESUME

LA POSSIBILITE DE DECONTAMINATION DE L'EAU CONTAMINEE PAR LES PRECIPITATIONS ATMOSPHERIQUES RADIOACTIVES EN APPLIQUANT LES METHODES CONVENTIONNELLES DE PURIFICATION

On donne les resultats des recherches concernant l'effet de decontamination de la methode conventionnelle de coagulation de $Al(OH)_3$ avec le Na_2CO_3 en cas de contamination avec les produits de fission et certaine radio-isotopes qui se trouvent dans les precipitations atmospheriques radioactives survenues apres les explosions nucleaires. On donne une appreciation de la possibilite de decontamination dans les conduites d'eau et les propositions pour les futures recherches scientifiques dans ce domaine.

LITERATURA:

1. C.P. Straub, R. Morton, "JAWA", Vol 43, 1951;
2. C.P. Straub, SEWAGE AND INDUSTR. WASTRES, Vol 23, 188, - 1951;
3. R.J. Morton, C.P. Straub, "JAWA", Vol 48; 595, 1956;
4. E. Glueckauf, ATOMIC ENERGY WASTE, London, 1961;
5. G.V. Jakimov, Očistka vodi i stočnoj židkosti ot radioaktivnih izotopov, Moskva, 1961;
6. R. Gardel, LA RADIOAKTIVITE, le point de vue de la protection et des services sanitaires, "RANCE SELECTION";
7. V. Ja. Kovalenko, Kak zaščiščaš vodu i prodovoljstvie - ot radioaktivnih, otrovljajuščih i bakterijalnih sredstv, Moskva, 1963.

Uklanjanje ⁶⁰Co iz radioaktivnih efluenata taloženjem Fe (OH)₂

UVOD

P. Bojović, O Gaćinović

Postupci za obradu radioaktivnih efluenata, koji aktuelno - baziraju uglavnom na procesima koprecipitacije, jonske izmjene i uparavanja, nalaze se u fazi stalnog razvoja. Za procese koprecipitacije i jonske izmjene efluenti istraživačkih nuklearnih centara predstavljaju najveći problem zbog va rijabilnosti hemijskog, radiohemijskog sastava i specifične aktivnosti. Uprkos relativno obimne literature objavljene - na ovu temu, u istraživačkim centrima često nastaju efluenti za čiju su obradu podaci oskudni ili ih nema uopšte. S - obzirom na ovu situaciju i činjenicu da su u našem institutu nastali efluenti relativno kompleksnog hemijskog sastava za 1,2 μCi/ccm ⁶⁰Co, prišlo se razvoju postupka koji će - aktivnost kobalta redukovati na vrijednost blisku MDK.

1. Opis radioaktivnih efluenata

Ovaj tip radioaktivnih efluenata, specifične aktivnosti 1,2 μCi/ccm nastao je dekontaminacijem nekih sistema i uređaja na reaktoru RA čije su metalne površine bile kontaminirane izotopom ⁶⁰Co. Dekontaminaciona sredstva bila su različita, a zavisila su od materijala koji je bio kontaminiran. Glavnu količinu u ovim sredstvima činili su rastvori fosforne, - hromne i azotne kiseline, odakle potiče slijedeći sadržaj - anjona:

PO	.....	2,7 mg/ccm
CrO	.....	2,2 mg/ccm
NO	.....	1,6 mg/ccm

Tokom procesa dekontaminacije, tokom preliminarnih eksperimenata, zatim pri sređivanju opreme ekipe za intervenciju i dekontaminaciju u efluente je dospjelo i oko 1 mgr/ccm raznih organskih kiselina, versena i deterdženata.

Sadržaj važnijih katjona koji su u efluente dospjeli iz dekontaminacionih sredstava ili sa kontaminiranih površina - bio je slijedeći:

Fe ⁺⁺⁺	0,011 mgr/ccm
Ni ⁺⁺	0,003 mgr/ccm
Al ⁺⁺⁺	0,012 mgr/ccm
Ca ⁺⁺	0,06 mgr/ccm
Na ⁺	0,29 mgr/ccm
Mg ⁺⁺	0,01 mgr/ccm

Ukupan suvi ostatak, uključujući materije neorganskog i organskog porijekla kao i nečistoće, iznosio je 10 mgr/ccm.-

Efluenti su bili (izrazito) kiseli (pH = 1,5), pa je rastvor efluenata imao jasnu oranž boju, karakterističnu za bihromatni jon.

2. Preliminarni eksperimenti i prethodni rezultati

Visoka jonska jačina rastvora, visoka kiselost i vrlo veliki odnos koncentracija neaktivnih jona prema jonima kobalta isključuju mogućnost efikasnog uklanjanja kobalta pomoću jonoizmjenjivačkih smola. Međutim, u cilju informacije o jonskom obliku kobalta rastvor efluenata propušan je kroz kolone sa jonoizmjenjivačkim smolama. Iz ovog eksperimenta zaključeno je (1) da se ^{60}Co nalazi u obliku anjona, jer efluenti prolaze bez promjene aktivnosti kroz kolonu sa katjonskom smolom, dok se aktivnost zadržava na smoli anjonskog oblika.

Ovim rezultatima, odnosno informacijom o anjonskoj formi kobalta, može se objasniti činjenica da se aktivnost kobalta iz efluenta nije mogla ukloniti taloženjem $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, BaCrO_4 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, CaCO_3 i $\text{Ni}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$, mada se formiranje ovih taloga može upotrijebiti za uklanjanje mnogih katjona uključujući i jone kobalta (2,3,4,5,6,7,8).

Egzistencija kompleksnog anjona kobalta sasvim je moguća s obzirom na sastav efluenata. Uzimajući u obzir činjenicu da su sistemi reaktora dekontaminirani jakim oksidacionim sredstvima i na povišenoj temperaturi i da se u efluentima nalaze i anjoni koji grade stabilne komplekse u kojima je kobalt trovalentan, pretpostavljeno je da se u efluentima nalazi anjojski kompleks trovalentnog kobalta.

Ova pretpostavka bila je osnov za pokušaj da se redukcijom dobije dvovalentni kobalt i kao takav ukloni nekim talogom ukoliko ovo povlačenje ne bude spriječeno nastajanjem kompleksa sa dvovalentnim kobaltom. U tom cilju rastvor efluenta redukovao je sa elementarnim cinkom. Redukovanom rastvoru dodavana je kaša $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pri čemu su nastali talozi fosfata, hromata i hidroksida povukli kobalt u vrlo veliko m procentu. Naime, zavisno od pripreme rastvora za redukciju i pH taloženja, faktori dekontaminacije (FD), iznosili su od 1.000 do 2.500.

3. Izbor sredstava za uklanjanje ^{60}Co

Prethodno izloženi postupak bio je odličan ako se posmatra samo faktor dekontaminacije (FD), jer je $\text{FD} = 2.500$ relativno visoka vrijednost za uklanjanje Co koprecipitacijom. Me

lutim, zbog vrlo velike zapremine aktivnog taloga postupak nije ocjenjen kao zadovoljavajući, pa je razvoj postupka - nastavljen na slijedeći način:

Najprije su uklonjeni neaktivni joni taloženjem sa $\text{Ba}(\text{OH})_2$, a zatim je izvršena redukcija rastvora sa bakarisanim opiljcima gvožđa, poslije čega je dobijen bistar i bezbojan rastvor. S obzirom da ovaj rastvor, u kome je početna aktivnost ^{60}Co ostala nepromijenjena, sadrži jone dvovalentnog gvožđa, izabrano je formiranje taloga $\text{Fe}(\text{OH})_2$ kao najpogodnije za povlačenje ^{60}Co . Na ovaj način nastaje relativno - mala količina aktivnog taloga, jer se kao reaktiv dodaje - samo NaOH u cilju podešavanja pH vrijednosti.

4. Eksperimentalni postupak

Na 1 litar originalnog rastvora efluenta (koji imaju oranž boju, pH = 1,5) i 10 mgr/ccm suvog ostatka dodaje se najprije 8 gr NaOH , pri čemu se postiže pH oko 7. Zatim se dodaje 45-50 gr $\text{Ba}(\text{OH})_2$ sa 200 ccm vode uz neprestano miješanje rastvora. Bez dodavanja NaOH utrošak $\text{Ba}(\text{OH})_2$ bio bi - znatno veći. Po rastvaranju $\text{Ba}(\text{OH})_2$ postiže se pH 11-12 i padaju talozi BaCrO_4 i $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ koji povlače glavnu količinu neaktivnih jona. Poslije sedimentacije nastalog taloga dobija se bistar i bezbojan rastvor, koji se odvoji od taloga dekantiranjem i filtriranjem. Filtriranim aktivnom rastvoru dodaje se 20 ccm konc. H_2SO_4 . Dodavanjem kiseline dobija se pH 1, što je pogodno za redukciju rastvora - i uklanjanja viška Ba^{++} kao BaSO_4 . Poslije sedimentacije ovog taloga rastvor se dekantira i filtrira, čime je priprema za redukciju rastvora završena. Aktivnost ovog rastvora nije se promijenila u odnosu na originalni rastvor. Rastvor se redukuje oko 15 minuta bakarisanim opiljcima - gvožđa, a zatim dodaje NaOH do pH 11-12, pri čemu pada tamnozelenkasti talog $\text{Fe}(\text{OH})_2$ povlačeći ^{60}Co . Talog je odvojen od matičnog rastvora centrifugiranjem i iz rastvora su uzimani uzorci za mjerenje zaostale aktivnosti. Uzorci aktivnosti mjereni su u brojaču scintilacionom Well Type detektorom.

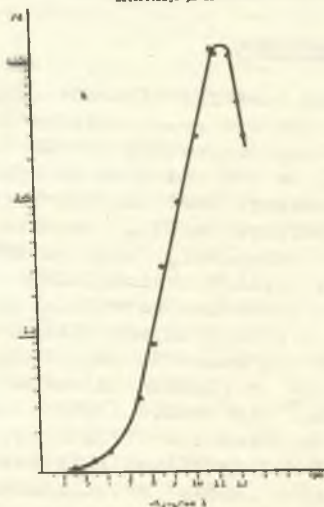
5. Rezultati i diskusija

Efikasnost uklanjanja ^{60}Co talogom $\text{Fe}(\text{OH})_2$ prikazana je - na dijagramu 1, koji pokazuje faktore dekontaminacije (FD) realizovane u funkciji pH vrijednosti pri taloženju. Iz dijagrama se vidi da se maksimalno uklanjanje ^{60}Co , tj. $\text{FD} = 1.200$, postiže u intervalu pH 11-12. Količina nastalog ta-

loga pri maksimalno postignutom faktoru dekontaminacije iznosi 0,1 zapremine početnog rastvora poslije stajanja od 40 do 50 min. Centrifugiranjem ova zapremina se smanjuje - na zanemarljivu zapreminu u odnosu na 30 ccm rastvora, koliko je uzimano u postupak pri taloženju $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

Rezultati prikazani na dijagramu 1 dobijaju se poslije (trajanja) redukcije od 15 min. Sa skraćanjem trajanja redukcije efikasnost uklanjanja ^{60}Co (FD) znatno je smanjena. Na Dijagram 1.

Uslovi eksperimenta:
 Isotopski rastvor ^{60}Co u koncentraciji 1000 $\mu\text{Ci}/\text{ccm}$
 reaktivni talog:
 sedeksijski rastvor na $\text{Fe} - \text{Cu}$ u
 trajanju 15'.
 Intermedij: pH na NaOH

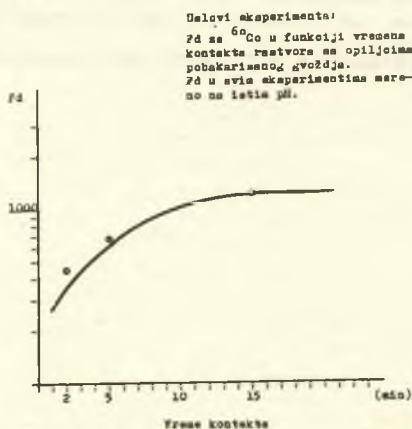


dijagramu 2 prikazani su maksimalni faktori dekontaminacije dobijeni za različito trajanje redukcije, a uz iste pH vrijednosti i ostale uslove eksperimenta.

Zaključak

1. Efikasno uklanjanje ^{60}Co ispitivanim procesima koprecipitacije zahtijeva prethodnu redukciju opisanih efluenata.
2. ^{60}Co može se efikasno ukloniti iz redukovanih rastvora - efluenata taloženjem $\text{Fe}(\text{OH})_2$.
3. Dobijeni faktori dekontaminacije $\text{FD} = 1.250$ redukuju aktivnost rastvora ^{60}Co na $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{ccm}$.

Dijagram 2.



Dijagram 2

Literatura

1. P. Bojović, S. Drobnik, R. Božović, M. Ristić, Dekontaminacija radioaktivnih efluenata, ugovor sa SKNE, o3-801/-23;
2. M.H. Kurbatov, I.D. Kurbatov, Fu Chun-yu, "J. Chem. Phys." 16, 87, 1948;
3. I.D. Kurbatov, M.H. Kurbatov, G.H. Wood, "J. Chem. Phys." 19, 258, 1951;
4. M.H. Kurbatov, G.B. Wood, I.D. Kurbatov, "J. Phys. and Colloid Chem.", 55, 1170, 1951;
5. J.E. Duval and M.H. Kurbatov, "J. Phys. Chem.", 56, 982 1952;
6. W.J. Lacy, "J. Am. Water Works Assoc.", 44, 824, 1952;-
7. R.A. Schneider, H.W., 47896;
8. Popova, "Geochemistry", 12, 1256, 1961.

ELIMINATION DU 60-Co DES EFFLUENTS RADIOACTIFS PAR LA PRE-
CIPITATION DU Fe(OH)₂

On a expose une methode de decontamination des effluents -
contamines avec du 60-Co. Les effluents contiennent aussi
des ions inactifs suivants: PO₄, CrO₄, et NO₃; certaines -
acides organiques, le versene et des detergents.

Le 60-Co est elimine des effluents par la coprecipitation-
avec du Fe(OH)₂.

V DEKONTAMINACIJA HRANE

Cs-137/K bilo od male koristi.

Glavni izvori kalcija u hrani pojedinih zemalja su različiti, a isto tako i prosječne količine koje se dnevno, odnosno godišnje unose u organizam. Kada bi se nekako htjelo razvrstati zemlje prema tome koliko se kalcija dnevno, odnosno godišnje unosi hranom u organizam, mogle bi se sve zemlje svrstati u četiri grupe:

1. Prva grupa bi obuhvatala veći dio Evrope i Sjevernu Ameriku sa preko 800 mg kalcija dnevno po glavi, odnosno 292-g na godinu, i gdje se 70-80% kalcija dobiva iz mlijeka i mliječnih proizvoda.

2. U drugu grupu bi spadale neke južnoevropske zemlje, kao naprimjer Italija, i neke južnoameričke zemlje, kao naprimjer Urugvaj i Argentina sa 600-700 mg Ca dnevno (219-255 g godišnje) i gdje mlijeko i mliječni produkti daju 60-80% u kupnog kalcija.

3. Treća grupa, u koju bi spadali Egipat, Turska, Indija, - Pakistan, itd., uzimaju dnevno hranom oko 300-450 mg kalcija (godišnje 110-165 g). U tim i sličnim zemljama mlijeko i mliječni produkti daju još uvijek veliki procenat kalcija (30-65%), ali velike količine kalcija već dolaze iz žitarica i povrća.

4. Četvrta grupa, kao Japan i Cejlon, uzima najmanje dnevne količine kalcija (200-350 mg dnevno), odnosno 73-129 g. godišnje. Glavni izvori kalcija u toj grupi su žitarice i povrće. U Japanu i Čileu veliki izvor kalcija su ribe.

Jugoslavija bi prema ovoj grupaciji spadala negdje između 2 i 3 grupe. Naime, sa godišnje unijetom količinom kalcija od oko 220 g spadala bi negdje pri kraju druge grupe, ali prema količini kalcija koja se dobija iz mlijeka i mliječnih proizvoda (oko 60%) spadala bi više u treću grupu, jer već velik dio kalcija dolazi iz žitarica i povrća.

Tablica 1 pokazuje potrošnju prehrambenih proizvoda u Jugoslaviji (4) po stanovniku, a tablica 2 količine i procenat kalcija u pojedinim prehrambenim proizvodima. Tablica 3, u kojoj su grupirani pojedini prehrambeni proizvodi pokazuje da su žitarice glavni prehrambeni proizvod koji daje blizu 60% ukupnih kalorija, a u isto vrijeme to je izvor od samo 20% kalcija. Mlijeko i mliječni proizvodi daju približno 60% kalcija, a samo 6,6% kalorija.

Tablice 4, 5 i 6 daju podatke o udjelu prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Sr-90 u godinama 1962, - 1963 i 1964. Kao što se iz tablica vidi, najveći udio u unošenju Sr-90 u organizam imaju žitarice, i taj udio iznosi

Tablica 1.

Potrošnja prehrambenih proizvoda

	Godišnje kg	Dnevno kg	Grupe pre- hrambenih prouzvođa
Pšenica i raž	149,2	0,409	
Kukuruz	29,2	0,080	
Riža	2,3	0,006	
Ječam	1,2	0,003	
Ostale žitarice	0,2	-	<u>182,1</u>
Krumpir	67,2	0,184	
Grah	9,2	0,025	
Povrće	54,8	0,150	<u>131,2</u>
Voće	52,1	0,143	<u>52,1</u>
Meso	28,3	0,078	<u>28,3</u>
Mlijeko	73	0,200	
Mlijeko (prah)	1,3	0,004	
Sor	4,8	0,013	
Maslac	0,8	0,002	<u>79,9</u>
Jaja	3,1	0,008	<u>3,1</u>

Tablica 2.

Udio Ca u prehrambenim proizvodima

	Ca		
	Godišnje g	Dnevno mg	%
Pšenica	37,30	102,10	16,91
Kukuruz	1,75	4,80	0,79
Riža	0,35	0,96	0,16
Ječam	0,24	0,66	0,11
Ostale žitarice	0,05	0,14	0,02
Krumpir	5,38	14,73	2,44
Grah	12,60	34,52	5,71
Povrće	20,56	56,32	9,32
Viće	7,93	21,73	3,60
Meso	2,68	7,34	1,21
Mlijeko	86,87	238,00	39,38
Mlijeko (prah)	13,90	38,00	6,30
Sir	29,20	80,00	13,24
Maslac	0,12	0,33	0,05
Jaja	1,67	4,58	0,76

Tablica 3.

Udio Ca za pojedine grupe prehrambenih proizvoda

	Godišnje kg	Ca %	Kalorija %
Žitarice	182,1	17,99	59,6
Povrće	131,2	16,47	8,6
Mliječni proizvodi	79,9	58,97	6,6
Voće	52,1	3,60	2,9
Meso	28,3	1,21	7,3
Jaja	3,1	0,76	0,4
Ukupno:	476,7	100,00	85,4

Tablica 4.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Sr-90 1962.

	PC Sr-90		%
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	22,51	8216	64,71
Povrće	2,98	1088	8,57
Mliječni proizvodi	7,52	2745	21,62
Voće	1,42	520	4,10
Meso	0,31	113	0,88
Jaja	0,04	15	0,12
Ukupno:	34,78	12697	100,00
Osnos Sr-90/Ca		57,6	

Tablica 5.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Sr-90 1963.

	pC Sr-90		%
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	21,84	7970	47,00
Povrće	6,94	2532	14,94
Mliječni proizvodi	14,94	5452	32,15
Voće	2,14	782	4,61
Meso	0,54	198	1,17
Jaja	0,06	22	0,13
Ukupno:	46,46	16956	100,00
Odnos Sr-90/Ca		76,9	

Tablica 6.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom ili godišnjem unošenju Sr-90 1964.

	pC Sr-90		%
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	41,85	15274	57,58
Povrće	8,50	3102	11,70
Mliječni proizvodi	18,99	6931	26,13
Voće	2,57	938	3,54
Meso	0,70	255	0,96
Jaja	0,07	25	0,09
Ukupno:	72,68	26525	100,00
Odnos Sr-90/Ca	120,3		

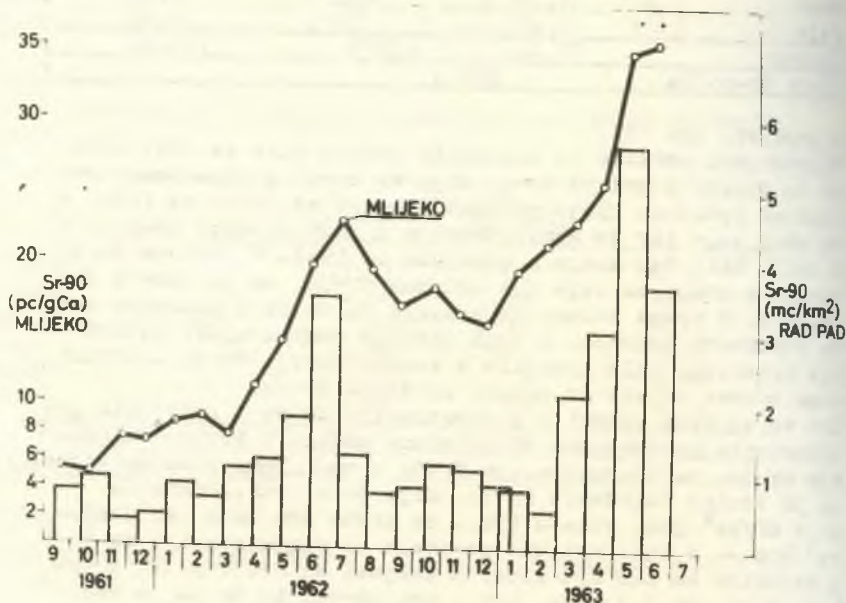
u prosjeku oko 55%.

Upoređujući podatke iz pojedinih godina vidi se očit porast iz godine u godinu Sr-90 koja se unosi u organizam. Porast od 1962. na 1963. je znatno manji od 1963. na 1964. i to zbog toga jer je koncentracija u analiziranoj pšenici - u 1963. bila čak manja u prosjeku od 1962. S obzirom da žitarice u prosjeku daju 55% ukupnog Sr-90, to je sasvim razumljivo. S druge strane to ukazuje na to da u uslovima takve strukture ishrane, u ovom slučaju dominirajuće potrošnje žitarica, mala promjena u koncentraciji Sr-90 u žitari sama znatno utječe na ukupno unošenje Sr-90.

Ako se uporede podaci o koncentraciji Sr-90 u pojedinim prehrambenim proizvodima za pojedine godine i brzinu taloženja Sr-90, te koncentracije Sr-90 u zemljištu onda se vidi da je brzina taloženja Sr-90, koja je u 1962. iznosila 10,6 mC/km²/god. veća u 1963. za preko dva puta (22,9 mC/km²/god.). U isto vrijeme povećala se koncentracija Sr-90 u krompiru za oko 1,6 puta, u mlijeku za oko 2 puta, u kukuruzu za oko 2,6 puta, itd., što navodi na to da je veći dio Sr-90 u pojedinim prehrambenim proizvodima nastao direktnom kontaminacijom. Prosječna koncentracija Sr-90 u zemljištu (postoje podaci samo iz SRH) za 1963. godinu iznosila je 19,5 mC/km². Brzina taloženja Sr-90 u 1963. pala je u odnosu na 1962. te je iznosila samo 15,8 mC/km²/god. Prosječna koncentracija Sr-90 u 1964. iznosila je 26,7 mC/km². Ukupna količina unijetog Sr-90 u 1964. naglo je porasla u odnosu na 1963. (vidi tablicu 13), ali ovaj puta najviše - radi toga što je naročito porasla koncentracija Sr-90 u žitaricama (za oko 1,9 puta). U većini ostalih prehrambenih

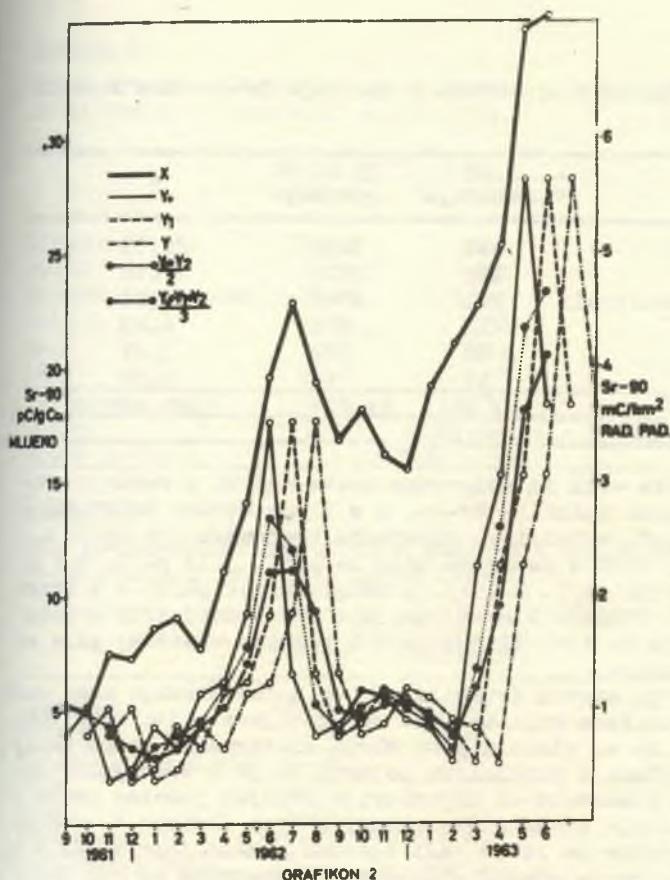
proizvoda koncentracija Sr-90 porasla je znatno manje nego od 1962. na 1963. što upućuje na to da je uticaj direktne kontaminacije bio nešto smanjen u odnosu na indirektnu kontaminaciju. Kada se dobiju podaci za 1965., a naročito - 1966. godinu, ukoliko ne bi u međuvremenu došlo do nuklearnih eksperimenata, moglo bi se u tom pogledu znatno više reći.

U prilog velikog uticaja direktne kontaminacije na koncentracije Sr-90 u mlijeku za zagrebačko mliječno područje vrlo dobro govori grafikon br.1 i grafikon br.2. Na grafiko-



GRAFIKON 1

nu br.1. se vrlo dobro vidi kako se porast ili pad koncentracije Sr-90 u radioaktivnim padavinama reflektira na porast odnosno pad Sr-90 u mlijeku. Grafikon br.2 pokazuje opet da do refleksije dolazi sa zakašnjenjem od oko mjesec dana. Ovdje također treba spomenuti da je zagrebačko mliječno područje vrlo veliko, i da postoje znatne razlike u načinu ishrane stoke, no ipak faktor korelacije od 0,86 koji je - dobiven u periodu ispaše, nesumnjivo govori o vrlo velikoj korelaciji.



Tablica 7 pokazuje udio prehrambenih proizvoda u unošenju Sr-90 za New York City iz novembra 1964. Na prvi je pogled uočljivo da je znatno manji uticaj žitarica, a znatno povećan mlijeka i mliječnih proizvoda. Ako se izračuna odnos Sr-90/Ca za Jugoslaviju i New York City, onda razlika još više pada u oči. Dok je u Jugoslaviji taj odnos bio u 1962 57,6, u 1963. već je narasao na 76,9, da bi u 1964. dostigao vrijednost od 120,3. Odnos za New York City je 28,3.

U dosadanjim razmatranjima nije uzet u obzir Sr-90, koji se u organizam unosi vodom. Ovo nije učinjeno iz tog razlo

Tablica 7.

Udio prehrambenih proizvoda u unošenju Sr-90 (New York City - XI/64)

	kg godišnje	pC Sr-90 godišnje	*
Žitarice	97	3099	28,55
Povrće	128	1897	17,48
Mliječni proizvodi	221	4508	41,53
Voće	113	915	8,43
Meso	98	371	3,42
Jaja	16	64	0,59
Ukupno:	673	10.854	100,00
Odnos Sr-90/Ca	28,3		

ga što pitka voda iz vodovodne mreže sadrži u sadanje vrijeme neznatne količine Sr-90, a s druge strane relativno velike količine kalcija. Prosječna koncentracija Sr-90 u vodovodnoj vodi u Beogradu bila je 1962. 0,13 pC/l, a u Krugujevcu 0,91 pC/l. U 1963. u Beogradu 0,2 pC/l, a u Kragujevcu 1,7. U 1964. koncentracija u vodovodnoj vodi u Beogradu je pala na 1,4. Slično je i u ostalim mjestima gdje su vršene analize.

Situacija je sasvim drukčija ako se u razmatranje uzme onaj dio stanovništva koji za piće upotrebljava cisternsku vodu. S obzirom da se stanovništvo služi cisternskom vodom ponajviše u obalnom i priobalnom pojasu, to je i specijalno zatakav dio stanovništva Jugoslavije učinjen poseban proračun o unošenju Sr-90 u organizam, u ovom slučaju i hranom i vodom. Pošto se ovdje radi većinom o nepoljoprivrednim krajevima, to je ujedno učinjena pretpostavka da taj dio stanovništva uzima veću količinu žitarica (15%), a smanjenju količinu mlijeka i mliječnih proizvoda (50%).

Tablica 8 pokazuje udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Sr-90 u tim krajevima u 1963., a tablica 9 u 1964. godini.

Na prvi je pogled uočljivo da su sada znatno izmijenjene količine, odnosno procenti Sr-90 za pojedine grupe prehrambenih proizvoda. Uticaj vode na unošenje Sr-90 je u 1963. i pored povećane potrošnje žitarica veći za 16%. Taj je odnos promijenjen u 1964., ali se vidi da je uticaj vode vrlo velik.

U prethodnim je razmatranjima rečeno da zbog velike potrošnje žitarica u odnosu na druge prehrambene proizvode može-

Tablica 8.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnim i godišnjem unošenju Sr-90 obalni i proobalni pojas 1963.

	PC Sr-90		%
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	25,07	9151	31,06
Povrće	6,94	2532	8,59
Mliječni proizvodi	6,07	2726	9,25
Voće	2,14	782	2,65
Meso	0,54	198	0,67
Jaja	0,06	22	0,08
Cisternska voda	38,50	14053	47,70
Ukupno	79,32	29464	100,00
Odnos Sr-90/Ca	189,4		

Tablica 9.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Sr-90 obalni i priobalni pojas 1964.

	pC Sr-90		
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	48,05	17539	44,45
Povrće	8,50	3102	7,86
Mliječni proizvodi	9,49	3465	8,78
Voće	2,57	938	2,38
Meso	0,70	255	0,65
Jaja	0,07	25	0,06
Cisternska voda	38,72	14133	35,82
Ukupno	108,10	39457	100,00
Odnos Sr-90/Ca	253,6		

doći do velikih promjena u ukupno unesenoj količini Sr-90-čak i onda kada se samo malo promijeni količina Sr-90 u žitaricama. Ovdje se to može dogoditi i kod vode, a voda je - upravo medij gdje se te promjene mogu dogoditi vrlo brzo.

Situaciju pogoršava još i to što je sada znatno promijenjen odnos Sr-90/Ca. Naime, cisternske vode sadrže znatno manje kalcija, a mnogo više Sr-90 nego vodovodna voda, te se odnos Sr-90/Ca mijenja u korist Sr-90. Dok je u godinama - 1963. i 1964. (bez cisternskih voda) taj odnos bio (kako - je već pokazano) 76,9 odnosno 120,3, taj odnos se, kada se

u obzir uzmu cisternske vode, mijenja u 1963. u 189,4, odn osno u 1964. u 253,6. Do promjene je uglavnom došlo zbog - ukupno povećane količine Sr-90 i smanjene potrošnje mlijeka zbog čega je ukupna godišnja količina kalcija pala od 220,6 na 115,56 g.

Dok je prije istaknuto kako male promjene u količini Sr-90 u žitaricama dovode do velikih promjena u ukupnoj količini unijetog Sr-90, ovdje se vidi primjer kako promjene u onim prehrambenim proizvodima koji su glavni nosioci kalcija iz azivaju velike promjene u odnosu Sr-90/Ca.

Da bi se dobila još realnija slika o tome, proračunati su rezultati iz strukture ishrane za New York City, ali uz primjenu koncentracije Sr-90 u jugoslovenskim prehrambenim proizvodima i prikazani u tablici 10. Ukupna potrošnja prehrambenih proizvoda veća je u New York City-u za oko 41%, - ali u isto vrijeme povećanje ukupne količine Sr-90 za samo 27% i u isto vrijeme poboljšanje odnosa Sr-90/Ca za 36%. Na prvom mjestu po količini ukupno unijetog Sr-90 stoje mlije ko i mliječni proizvodi, ali pritom treba imati na umu da na svaku litru mlijeka u organizam uđe i preko 1 g kalcija a kod žitarica samo oko 0,25 g. Osim toga, koncentracija je Sr-90 za nekoliko puta veća u žitaricama (iznimka kukuruz) nego u mlijeku.

Tablica 10.

Udio prehrambenih proizvoda u unošenju Sr-90

	kg godišnje	Sr-90 godišnje	%
Žitarice	97	8371	24,77
Povrće	128	3020	8,94
Mliječni proizvodi	221	19359	57,28
Voće	113	2034	6,02
Meso	98	882	2,61
Jaja	16	128	0,38
Ukupno	673	33794	100,00
Sr-90/Ca		88,23	

Tablica 11 daje rezultate o Cs-137. Kao što je poznato, Cs-137 se u fisijom produktima javlja prema Sr-90 u odnosu - kao 1,8:1, no iz tablice je vidljivo da količine u pojedinim prehrambenim proizvodima znatno premašuju taj odnos, što govori o tome da Cs-137 mnogo više ulazi u prehrambene proizvode nego Sr-90. Na žalost, u Jugoslaviji postoji samo - vrlo malo podataka o količinama Cs-137 u prehrambenim proi

izvodima, pa je ova tablica u većini proračunata na osnovu inostranih podataka o odnosu Sr-90/Cs-137 u pojedinim prehrambenim proizvodima, s time što su uzeti jugoslovenski podaci o količinama Sr-90. Kako je taj odnos prilično jednak u svim korištenim podacima, tablica daje prilično realnu sliku sadanjeg stanja i u Jugoslaviji, a što potvrđuju i oni podaci o Cs-137 koji su sakupljeni u Jugoslaviji.

Tablica 11.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Cs-137 1964.

	pC Cs-137		*
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	324,7	118505	5373
Povrće	68,0	24816	11,25
Mliječni proizvodi	76,0	27724	12,57
Voće	30,8	11256	5,10
Meso	104,8	38250	17134
Jaja	0,0	25	0,01
Ukupno	604,3	220576	100,00

Tablica 12 daje podatke o Cs-137 za one krajeve gdje se koriste cisternska voda, uz napomenu da je i ovdje primjenjena povećanje potrošnje žitarica od 15%, a smanjena potrošnja mlijeka i mliječnih produkata za 50%.

Tablica 12.

Udio prehrambenih proizvoda u dnevnom i godišnjem unošenju Cs-137 - obalni i priobalni pojas 1964.

	pC Cs-137		*
	Dnevno	Godišnje	
Žitarice	378,3	138078	53,30
Povrće	68,0	24816	9,58
Mliječni proizvodi	61,5	22456	8,67
Voće	30,8	11256	4,34
Meso	104,8	38250	14,77
Jaja	0,0	25	0,01
Cisternska voda	66,2	24167	9,33
Ukupno	709,6	259048	100,00

Tablica 13 daje sumarne podatke o dnevnim i godišnjim količinama Sr-90, odnosno Cs-137 za pojedine godine.

Tablica 13.

Dnevno i godišnje unošenje Sr-90 i Cs-137

God.	pC Sr90		pC Cs-137	
	Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje
1962.	34,78	12697		
1963.	46,46	16956		
1963. ^x	85,38	31164		
1964.	72,68	26525	604,3	220576
1964. ^x	113,99	41606	709,6	259048

^x Obalni i priobalni pojas

Tablica 14(2) daje pregled raspona dnevnog unošenja pojedinih radionuklida i mjera koje bi trebalo da se preduzimaju unutar svakog raspona. Prema ovoj tablici Jugoslavija spada u raspon II, kada treba vršiti stalnu svakodnevnu kvantitativnu kontrolu.

Tablica 14.

Rasponi dnevnog unošenja (pC/dan)

Radionuklid	Raspon I	Raspon II	Raspon III
Ra-226	0.2	2.20	20 - 200
J -131	0.10	10-100	100 - 1000
Sr-90	0.20	20-200	200 - 2000
Sr-89	0.200	200-2000	2000 - 20000

Raspon I Periodična kontrola
 Raspon II Stalna kvantitativna kontrola
 Raspon III Evaluacija i primjena dodatnih kontrolnih mjera ukoliko je potrebno

Na osnovu iznijetih podataka moguće je, jasno, sa svim greškama koje se pri takvom proračunu mogu javiti, proračunati situacija koja bi nastala pri znatno povećanom stepenu kontaminacije.

Ako se za stepen zamišljene kontaminacije uzme 1 KT/km^2 on da bi to značilo da bi na jedan km bila koncentracija od približno 259 C Sr-90. Ako se uzme u obzir frakcioniranje - realno bi bilo pretpostaviti da bi ta koncentracija bila - 2-3 puta manja, i iznosila bi oko 108 C Sr-90/km².

U odnosu na godinu 1963., kada je koncentracija Sr-90 u ze

mljištu bila 19,5 mC/km², to bi značilo povećanje od 5530-puta, a u odnosu na 1964. (26,7 mC/km²) povećanje od 4040-puta.

Da bi se iz ovih podataka mogle izvući realne vrijednosti, bilo bi potrebno znati stepen kontaminacije prehrambenih - proizvoda kod određene kontaminacije zemljišta. Međutim, - kako je već i prije naglašeno, takva se situacija može očekivati tek kroz nekoliko godina, kada bi uglavnom prestale da dolaze radioaktivne padavine iz stratosfere, i kada bi se sav Sr-90, odnosno Cs-137 crpio samo iz zemljišta. Ovdje bi se također trebala uzeti u obzir i dva razna perioda tj. prvi period u kojem su kontaminirani i prehrambeni proizvodi i zemljište, i drugi period u kojem više nema direktne kontaminacije i sav radioaktivni materijal dolazi samo iz tla.

Ako se uzme u obzir dosadanje iskustvo da približno 3,87 - mC Sr-90/km² daje u ravnotežnom stanju 1 pC Sr-90/gCa u djeljivim kostima, što odgovara u sadanjoj situaciji stanju Jugoslavije, onda bi se samo jednostavnim računom došlo do toga da bi koncentracija od 108 C Sr-90/km² dala u ravnotežnom stanju 27.900 pC Sr-90/gCa. 1000 pC Sr-90/gCa daje približno 1 r/god. na koštanu srž, što bi značilo da bi 27 - 27.900 pC Sr-90/gCa dalo oko 27,9 r/god., odnosno oko 656r u toku 35 godina, ako se uzme u obzir radioaktivni raspad Sr-90 u prirodi i čovjeku. Ovaj proračun svakako nosi u sebi izvjesne greške, jer se može s velikom vjerovatnošću pretpostaviti da će se dosta veliki dio Sr-90 izgubiti prirodno s vremenom, i to brže nego bi se to očekivalo prema njegovom radioaktivnom raspadu. Ravnotežno stanje kod djece bi se moglo očekivati za oko 2-3 godine, dok bi za odrasle to potrajalo više godina, i u odnosu na to i ekspozicija - bi bila manja.

Proračun stepena kontaminacije prehrambenih proizvoda u - već spomenutim zamišljenim uslovima je znatno teži, jer se ne zna tačno uticaj direktne i indirektno kontaminacije. - Ako se pretpostavi da nije bilo direktne kontaminacije i - da je sav radioaktivni materijal (u ovom slučaju Sr-90) - došao iz tla, onda bi stanje kako ga prikazuje tablica 15, bilo slijedeće:

Ovaj proračun je napravljen na osnovu koncentracije Sr-90, u tlu u 1963. i 1964.god. i zamišljenog stepena kontaminacije tla od 108 C Sr-90/km².

Jasno je da takav proračun nema realnu vrijednost, jer je nemoguće da u samo jednoj godini sav radioaktivni materijal koji je dospio na tlo pređe u prehrambene proizvode. No bez obzira koliko bi se procenata od ukupno istaloženog re-

radioaktivnog materijala uzelo da će godišnje ulaziti u prehrambene proizvode, rezultati koji bi se dobili bili bi vrlo impresivni. Ako bi se uzelo da bi samo 1% ukupno istalo ženog Sr-90 ušlo u prehrambene proizvode, to bi dalo u toku jedne godine preko jedan milijun pC Sr-90.

Tablica 15.

Godina	pC Sr-90 godišnje	
	stvarno stanje	pretpostavka
1963.	16956	93,766.680
1964.	26525	107,161.000
1963. ^x	29464	162,935.920
1964. ^x	39457	159,406.280

^x Obalni i priobalni pojas

Proračun za Cs-137 može se izvesti uz iste pretpostavke. - 1 KT/km² daje oko 518 C Cs-137/km². Zbog frakcioniranja koncentracija se može i u ovom slučaju smanjiti za 2-3 puta, što bi značilo oko 207 C Cs-137/km².

Kao što je već prije naglašeno, unošenje Cs-137 u organizam je više funkcija brzine taloženja, nego ukupnog depozita. To je zbog toga što tlo vrlo slabo apsorbira Cs-137, i unošenje Cs-137 u organizam je više funkcija površinske kontaminacije nego kontaminacije hrane. No prema jednom podatku može se postaviti odnos da 3,86 mC Cs-137/km²/god. daje 0,5-2 mrem/god., a ovdje se radi o približno 53.000 puta većoj koncentraciji. Na ovom mjestu treba dodati i to da je Cs-137 gama emiter i da bi za razliku od Sr-90 ispoljio svoje djelovanje i bez da bude unesen u organizam. Ako se uzme isti Princip kao za smjesu gama-emitera fisionih produkata, gdje 1 MC/km² daje dozu od oko 10,36 r/s, to bi u ovom slučaju značilo da bi 207 C Cs-137/km² dalo oko 2,1 x 10³ r/s.

Ne ulazeći na ovom mjestu u razmatranje i ostalih fisionih produkata, već i ovi rezultati nedvojbeno ukazuju na to da bi problem hrane i vode u jednom nuklearnom sukobu izbio na prvo mjesto ne samo zbog ogromne opasnosti od interne kontaminacije, nego i zato jer bi to bio problem koji bi po svojim vrlo štetnim posljedicama i vremenski predstavljao najdužu opasnost.

THE ROUTES OF ENTRY OF RADIONUCLIDES INTO THE BODY THE IN-
FLUENCE OF DIETARY COMPOSITION ON THE DEGREE OF INTERNAL -
CONTAMINATION UNDER NORMAL AND WAR CONDITIONS

Data on the Sr-90 content in various foodstuffs indicate - that food might become one of the greatest and most serious problems of radioactive contamination.

Though the degree of radioactive contamination today is infinitesimal if compared with a nuclear war, the average Sr-90 uptake in Yugoslavia is rather high.

From the data collected tables have been elaborated showing the influence of dietary composition on the Sr-90 uptake during the years 1962, 1963 and 1964. Being insufficient data about Cs-137 have been only partially calculated - and only those for the year 1964 have been presented. Possible Sr-90 and Cs-137 uptake in war conditions has been calculated accordingly.

Literatura:

1. Statistički godišnjak FNRJ, 1963;
2. Federal Radiation Council. Radiation Protection Guidance for Federal Agencies;
3. Statement of 1959. Fall-out Prediction Panel to Joint - Committee on Atomic Energy;
4. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Supplement No.17, New Yprk, 1958, p.170.

VI DEKONTAMINACIJA OBJEKATA I MATERIJALA

Dekontaminacija potomaka Ra 226

H. Cerovac, Đ. Peciković

Ra 226 u ravnoteži sa svojim potomcima ima takvo biološko-djelovanje i vrijeme poluraspada da je teško zamjenjiv - kod nekih načina liječenja kanceroznih oboljenja ionizacijskim zračenjem, ali način primjene i neka njegova fizičko-kemijeka svojstva uzrokuju uz opasnost od vanjskog ozračivanja i neke dodatne opasnosti.

Te dodatne opasnosti su prosipanje Ra 226 kod težih akcidenta i kontaminacije potomcima Ra 226 kod uobičajenog načina rada.

Kontaminacija potomcima Ra 226 relativno je česta pojava - kod terapijske primjene Ra 226, pa je poželjno u glavnim - crtama prikazati uzroke kontaminacije i način detekcije, te predložiti zadovoljavajući način dekontaminacije.

Ra 226 i njegovi potomci dio su radioaktivnog niza, koji - počinje sa U 238. Njegova svojstva, važna za naš problem, data su u tablici 1.

Tablica 1.

Izotop	Vrsta emisije	Energija emisije	Vrijeme t 1/2
Radij (Ra 226)	α	4.589 (5,7%)	1.620 god.
		4.777 (94,3%)	
	γ	0.188 (4%)	
Radon (Rn 222)	α	5.48 (100%)	3.8 dana
Radij A (Po 218)	α	6.00 (100%)	3.05 min.
Radij B (Pb 214)	β	0.59 (56%)	26.8 min.
		0.65 (44%)	
	γ	0.24	
		0.30	
		0.35	
Radij C (Bi 214)	α	5.5 (0,04%)	19.9 min.
	β	0.4 (9%)	
		1.0 (23%)	
		1.5 (40%)	
		1.9 (9%)	
		3.3 (19%)	

Izotop	Vrsta emisije	Energija emisije	Vrijeme t 1/2
Radij C (Bi 214)		0,61 1,12 1,76	
Radij D (Pb 210)	β γ	0.017 (85%) 0.063 (15%) 0.047 (5%)	21 god.
Radij E (Bi 210)	β	1.17 (100%)	5 dana
Radij F (Po 210)	α	5.298 (100%)	138 dana
Radij G (Pb 206)		stabilni	

Za terapiju se upotrebljavaju radijeve soli ($RaSO_4$; $RaCl_2$; $RaBr_2$... u kontejnerima načinjenim od 90% platine i 10% iridija. Prema svom vanjskom obliku, uvjetovanom načinom primjene, za te kontejnere uobičajeni su nazivi "tube" i "igle".

Slika 1.



Dimenzije aplikata i količine Ra 226 u aplikatoru - su različite. Promjeri imvariraju od 1,6 do 5,5 mm, dužine od 8 do 58 mm. Vrlo su rijetke tube ili igle - većih ili manjih dimenzija. Aktivnosti tuba ili igala je obično 0,5, 1, 2, 5, 10, 20 - i eventualno 50 mCi.

Kod terapijske upotrebe to je hermetički zatvoren sistem u kojem se Ra 226 nalazi u radioaktivnoj ravnoteži sa svojim potomcima.

Uslijed potrebe, iskuhavanja i čišćenja, a možda i kojeg drugog razloga u iglama i tubama javljaju se mikroskopske pukotine, kroz koje prodire prvi potomak Ra 226, Rn 222 i kontaminirana okolina. Površine koje može kontaminirati je dna tako oštećena igla ili tuba prilično su velike, jer - Rn 222 kao plin lako se rasprostire. Može proći i dulje vrijeme da se ne otkriju takve neispravne igle i tube ako se

kontrola ne provodi često.

Radon (Rn 222), radij A (Po 218), radij B (Pb 214) i radij C (Bi 214) su relativno kratkoživi izotopi, pa po uklanjanju neispravne igle ili tube oni se raspadaju, a ostaju samo članovi niza od radija D (Pb 214) na dalje (Bi 210, - Po 210).

Za detekciju i dekontaminaciju ostaju nam radij D, E i F. Na svakoj dekontaminiranoj površini, grubo uzevši, oni se nalaze pomiješani i u radioaktivnoj ravnoteži. Prema tome, najprikladnije je za mjerenje odabrati takav uređaj koji - će po mogućnosti registrirati sve emitirane energije. Od uređaja koji su nam stajali na raspolaganju najprikladniji za tu svrhu pokazao se protočni brojač firme Tracerlab. On registrira obadvije energije RAD i E i α čestice radija F, dok je doprinos od energija RAD i tako zanemariv. Sve podatke o detekciji i dekontaminaciji dobili smo na ovaj način. Uzeli smo razne vrste materijala (ambalažni, lim, staklo, plastika, olovo), koji su po hrapavosti i tvrdoći površine slični onim materijalima što se upotrebljava ju kod rada s tubama i iglama ili se nalaze u njihovoj neposrednoj blizini te smo ih razrezali u komadiće od cca 1 cm². Takve komadiće kontaminirali smo pomoću jedne neispravne tube aktiviteta 20 mCi. Prema želji mogli smo mjeriti površine od 1 do 10 cm². Sve radnje kod detekcije i dekontaminacije izvodili smo što je moguće jednoličnije. Za detekciju i za svaki od primijenjenih načina dekontaminacije uzeto je 150-250 uzoraka od svakog pojedinog materijala. Dužina i geometrijski uvjeti brojanja izvođeni su sa standardnom pogreškom od 5%.

Prvo smo pokušali dobiti podatke o stupnju kontaminacije - površine pomoću brisova. Brisove smo izvodili tamponima od vate namočenim u deterđentu "Bis". Svi tamponi su bili načinjeni od iste količine vate, jednako namočeni u deterđentu i jednolično vučeni pincetom preko kontaminirane površine.

U tablici 2 dat je procentualni prikaz na taj način skinute kontaminacije s površine od cca 8 cm².

Tablica 2.

% aktivnosti na tamponu	% broja uzoraka
0-10	27
10-20	33
20-30	15
30-40	14
40-50	9
50-90	2

To smo radili od plastike i ambalažnog lima. Od svakog materijala uzeli smo 150 uzoraka. Brisovi su rađeni iza svakog postupka dekontaminacije. Nije primijećena značajna razlika u postocima aktivnosti na tamponima s obzirom na materijal, jačinu kontaminacije ili korak dekontaminacije. Na taj način očito možemo dobiti samo kvalitativan podatak o tome da li je nešto kontaminirano ili ne. Za sada se moramo s time zadovoljiti.

Drugi dio posla je dekontaminacija Ra, D, E i F. Ako se radi o dekontaminaciji površina i predmeta u zdravstvenoj ustanovi, u obzir dolazi ispiranje i grubo pranje. Za većinu predmeta moramo izbjegavati kiseline ili lužine koje bi predmete mogle oštetiti. Osobito treba biti oprezan sa kontaminiranim iglama i tubama, jer i najmanja pukotina stvarajući izvor kontaminacije. Gotovo se uvijek radi o većim površinama koje treba dekontaminirati, pa treba uzeti u obzir i cijenu materijala za dekontaminaciju.

Uzevši sve to u obzir, odlučili smo da se poslužimo vimom, 3%-nom otopinom deterdženaza "Bis"-a kao sredstvom za ispiranje, deterdžentima "Plavi radion" i "Bis", te vatom za grubo pranje. Po 15 uzoraka materijala stavljeno je u bocu sa brušenim čepom od 0,5 l. U boci je bilo cca 250 cm³ otopine "Bisa", mučkano i mjereno na brojaču. To je bio jedan korak dekontaminacije ispiranjem.

Uzorci za grubo pranje svaki puta su trljani "Bisom", "Vimom", "Plavim radionom", pa opet čišćeni "Bisom". To je je dan korak dekontaminacije grubim pranjem.

Rezultati su prikazani u tablicama 3-6.

U tablici 3 dati su rezultati ispiranja i grubog pranja. - Smatramo da smo od stakla do olova zahvatili, ako ne sve, - bar najvažnije stupnjeve hrapavosti površine. Vrlo je teško dobiti podatak o hrapavosti pojedinog materijala kojeg treba dekontaminirati, a, osim toga, kod pojedinih materijala granice hrapavosti se vjerovatno prekrivaju. Grubo pretpostavljamo da za spomenute izotope i materijale efikasnost i način dekontaminacije ovise samo o hrapavosti površine.

Zbog svega toga pretpostavljamo da su naši rezultati u osnovi reproducibilni za bilo koji materijal unutar hrapavosti i tvrdoće ispitivanih materijala.

Granice intervala preostale kontaminacije ne možemo smatrati granicama bilo kakve pogreške na osnovu računa vjerovatnosti, već potpuno slučajnima. Smatramo, da su rezultati reproducibilni samo u najosnovnijim crtama.

Za praktične svrhe dekontaminacije iz tablice 3 možemo zaključiti da nema velike razlike u efikasnosti dekontaminaci-

Tablica 3.

Korak dek.	% zaostale aktivnosti nakon grubog pranja	% zaostale aktivnosti nakon ispiranja
0	100	100
1	5-10	13-21
2	3-8	6-10
3	2-4	5-6
4	1-2	do 4
5	1-2	do 4

je na jedan ili drugi način

Tablice 4-6 daju neke važnije pojedinosti iz našeg rada i dopunjuju tablicu 3.

Tablica 4 upozorava na važnost čistoće površine. Svi uzorci bili su jednako prani prije kontaminacije. Ipak nešto veći stupanj dekontaminacije postignut je pri grubom pranju (rađeno na materijalima od plastike) ako je kod prvog ponavljanja postupka površina čišćena i benzinom. Naravno, pri ponavljanju postupka razlika se gubi.

Tablica 4.

Korak dek.	% zaostale aktivnosti nakon grubog pranja (i benzinom)	% zaostale aktivnosti nakon grubog pranja (bez benzina)
1	7-9	6-8
2	5-7	5-7
3	2-4	2-4

Tablica 5 pokazuje vrijednost tvrdoće materijala o načinu dekontaminacije. Ako grubo peremo površinu olova, već pri prvom postupku skidamo gotovo cijelu kontaminaciju, ali pri tome uništimo površinu i infiltriramo ostatak kontaminacije u dublje slojeve, tako da dalja dekontaminacija nema nikakvog rezultata.

Naša gruba procjena između rada i sredstava potrebnih za dekontaminaciju površina različitih stupnjeva hrapavosti data

je u tablici 6, s tim da sve uspoređujemo sa površinom od-
plastike.

Tablica 5.

Korak dekontaminacije	% zaostale aktivnosti na olovu nakon grubog pranja
0	100
1	5-10
2	4-8
3	4-8
4	4-8

Tablica 6.

PVC	Staklo	Lim	Olovo
1	0,5	0,75	1,25

Zaključci:

1. Kontaminirane površine potomcima Ra 226 moguće je dekontaminirati ispiranjem i grubim pranjem, a način treba odabrati prema vrsti materijala kojeg želimo dekontaminirati.-
2. Mogu se upotrijebiti relativno jeftina sredstva i pri-
bor kao deterđženti, vata i slično.
3. Uz opremu kao što su posebna odjela, rukavice i kontejn-
eri za otpatke moramo imati brojač koji će moći registrira-
ti što više energija emisije radija, D, E i F.

Dekontaminacija pamučnih tkanina

Lj. Jelić, I. Cavrić

Pamučne tkanine se obično upotrebljavaju za izradu zaštitnih odijela koja se koriste u hemijskim i radiohemijskim laboratorijama, a od njih je načinjen i najveći dio svako dnevne odjeće. Stoga su mnoga dosadašnja istraživanja sovjetskih (1), američkih (2,4) i drugih autora bila usmjerena na ispitivanja podložnosti pamuka radiološkoj kontaminaciji i na mogućnost njegove dekontaminacije.

Pamuk je organska materija biljnog porijekla, po sastavu polimer glukoze sa empirijskom formulom $(C_6H_{10}O_5)_n$ (3). U rastvorima sa pH većim od 2 površinske kisele grupe pamuka jonizuju i ponašaju se kao slabi jonoizmjenjivači niskog kapaciteta. Prema Stewensonu kapacitet jonske izmjenne prečišćenog pamuka iznosi 10 μ ekv/gr (2).

Stoga može da se kaže da je mehanizam kontaminacije u suštinu proces jonske izmjene. Radioaktivni katjoni niske jonske koncentracije vezuju se za vlakno skoro kvantitativno. Proces vezivanja je identičan procesima na bilo kojoj jonoizmjenjivačkoj smoli.

Na osnovu ovih razmatranja moglo bi da se zaključi da su kiseline najpogodnije materije za dekontaminaciju, jer bi u slučaju njihove primjene joni kontaminanta bili zamijenjeni jonima vodonika. Međutim, kiseline izazivaju hidrolizu i razaranje makromolekula pamuka, te se stoga u literaturi pominju kao krajnja sredstva za dekontaminaciju, ka da ostale materije nisu više efikasne. U tim slučajevima mora da se računati da će odjeća ovako dekontaminirana morati da se odbaci poslije dva do tri pranja.

Mnogo pogodnija sredstva za dekontaminaciju su kompleksirajuće materije, koje sa jonima kontaminanta grade anjonske komplekse rastvorne u vodi. Takve materije su soli etilendiamino-tetrasirćetne kiseline, polifosfati i druge.

Kombinacijom kompleksirajućih sredstava sa površinski aktivnim materijama postiže se istovremeno uklanjanje i onoga dijela kontaminanta koji je vezan za čestice nečistoće na tkanini. Ovakve kombinacije predstavljaju komercijalni deterdženti. U njihov sastav ulaze pored osnovne materije - deterdžentne supstance - i materije za omekšavanje vode. To su obično polifosfati, koji su i veoma dobri kompleksirajući agensi.

Iz literature (5) je poznato da neki komercijalni deterdženti koji se proizvode u SAD sadrže i do 40% natrijum-polifosfata, dok nam urocenat polifosfata koji sadrže naši-

komercijalni deterdženti nije poznat.

Eksperimentalni dio

Izučavajući dekontaminaciju pamučnih tkanina, mi smo koristili kompleksirajuća sredstva: EDTA, amonijum-citrat i -Calgon, zatim sonu kiselinu i deterdžente "Plavi radion" i "Tajm".

Uzorci pamučne tkanine (kružnog oblika prečnika 25 mm) kontaminirani su nanošenjem 0,1 ml rastvora smješe fisionih produkata specifične aktivnosti 1,7 $\mu\text{C/ml}$. Smješa je sadržavala slijedeće komponente:

$\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$	.....	34,7%
Cs^{137}	.....	27,1%
$\text{Cs}^{144} + \text{Pr}^{144}$	.....	44,2%

Rastvor za kontaminaciju bio je neutralan.

Po završenoj kontaminaciji uzorci su sušeni na vazduhu, a zatim dekontaminirani u 250 ml gore navedenih rastvora, uz miješanje.

Radne temperature bile su 20°, 50°, 70° i 90°C, a vrijeme kontakta sa rastvorom 10-60 minuta. Pokazalo se da je optimalno vrijeme 30 minuta, te se i sve vrijednosti faktora dekontaminacije i procenta uklonjene aktivnosti, date u tabeli 1 i dijagramu 1, odnose na ovo vrijeme kontakta.

Po završenoj dekontaminaciji uzorci su ispirani 10 minuta u 250 ml vode.

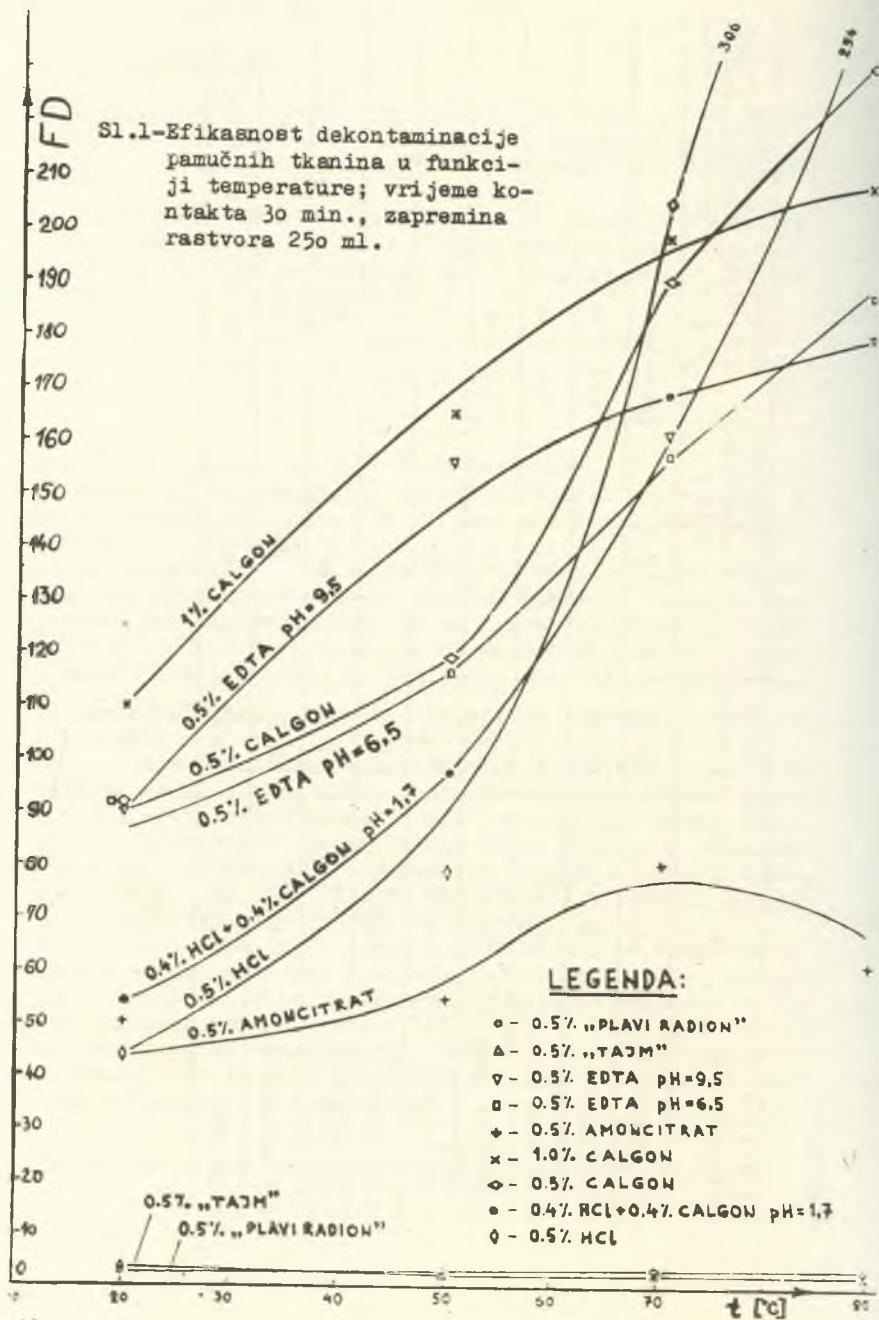
Zavisnost faktora dekontaminacije od temperature rastvora data je na sl.1. Sve krive imaju tendenciju porasta (izuzet u slučaju deterdženata), ali je u oblasti viših temperatura porast nešto blaži. Stoga su za poređenje efikasnosti pojedinih rastvora odabrane vrijednosti faktora dekontaminacije, odnosno procenta uklonjene aktivnosti, dobijene na temperaturama od 70° i unijete u tabelu 1.

Pošto smo pretpostavili da pri radu na gore opisani način neće sva kontaminacija biti vezana, izvjestan broj uzoraka je tretiran vodom bez ikakvih dodataka. Pokazalo se da voda uklanja 60% aktivnosti ($\text{FD} = 2,5$) i da je ovo veličina nezavisna od temperature. Ova vrijednost nije unijeta u tabelu, već je data relativna efikasnost pojedinih rastvora prema vodi, tj. veličina:

$$\text{Efikasnost u odnosu na vodu} = \frac{\text{FD (za rastvor)}}{\text{FD (za vodu)}}$$

Tabela 1.

Hastvor za dekontaminac.	FD	% ukionje- ne aktivn.	Efikasnost u odnosu na vodu	Zaostala aktivnost / $\mu\text{c}/\text{cm}^2$	Odnos	
					Zaostala kontam. Dozvolj. kontam.	Zaostala kontam. Dozvolj. kontam.
0.5% "Plavi radion"	3,1 ^{+0,2}	67,7	1,1	1,1 x 10 ⁻²	110	110
0.5% "Tejrn"	2,3 ^{+0,1}	56,6	0,9	1,5 x 10 ⁻²	150	150
0.5% EDTA pH=9.5	163 ⁺¹	99,4	66	2,0 x 10 ⁻⁴	2	2
0.5% EDTA pH=6.5	159 ⁺³	99,4	64	2,0 x 10 ⁻⁴	2	2
1.0% Calgon	200 ⁺³	99,5	80	1,7 x 10 ⁻⁴	1,7	1,7
0.5% Calgon	192 ⁺¹⁵	99,5	77	1,7 x 10 ⁻⁴	1,7	1,7
0.4% Calgon+0.4% HCl pH=1.7	171 ⁺¹²	99,5	68	1,9 x 10 ⁻⁴	1,9	1,9
0.5% amonicitrat	81 ⁺³	98,8	32	4,0 x 10 ⁻⁴	4	4
0.5% HCl	207 ⁺⁵	99,5	83	1,6 x 10 ⁻⁴	1,6	1,6



U tabeli je dalje pokazana zaostala aktivnost na uzorku, - izražena u $\mu\text{C}/\text{cm}$ i odnos zaostale kontaminacije prema do zvoljenoj. Dozvoljena kontaminacija za laboratorijsku odjeću iznosi 1×10^{-4} $\mu\text{C}/\text{cm}$.

Diskusija rezultata i zaključci

Na osnovu rezultata datih u tabeli 1 mogu da se izvedu sliedeći zaključci:

1. najefikasnije sredstvo za dekontaminaciju pamučnih tkanina je sone kiseline. Ova pojava uslovljena je osobinom - pamuka da se u kiseloj sredini naelektriše pozitivno, te - odbija katjone. Kada se, međutim, ima u vidu da kiseline - stetno djeluju na tkanine treba ih u radu izbjegavati i - koristiti samo kao krajnje sredstvo za dekontaminaciju.

2. Calgon ne zaostaje po efikasnosti mnogo iza sone kiseline, a činjenica da ne djeluje razorno na pamuk, daje mu prednost. Vidi se da skoro nema razlike u pogledu dejstva 1% -tnog i 0,5% -tnog rastvora, te može da se zaključi da je i ova druga koncentracija sasvim dovoljna za dekontaminaciju

Dodatak sone kiseline rastvoru Calgona, koji se preporučuje u literaturi (1), nije poboljšao rezultate.

3. EDTA je manje efikasna nego Calgon. Rastvor tetranatrijumove soli etilen-diaminsirćetne kiseline koja je korišćena za dekontaminaciju davao je alkalnu reakciju ($\text{pH} = 9,5$). U literaturi (2) se navodi podatak da je dekontaminacija - efikasnija na nižim pH vrijednostima, odnosno sa dinatrijumovom solju ove kiseline. Stoga je u drugom nizu oglada rastvor EDTA neutralisan sa HCl . Pokazalo se, međutim, da su vrijednosti faktora dekontaminacije ostale nepromjenjene.

4. Deterdženti "Plavi radion" i "Tajm" nisu dali bolje rezultate od česemske vode, te prema tome može da se kaže - da nisu pogodni za dekontaminaciju pamučnih tkanina kada - je u pitanju vezani kontaminant.

Sva ispitivanja su izvedena na malim uzorcima tkanine, površine oko 5 cm^2 , te stoga prikazani rezultati mogu da posluže samo kao mjerilo relativne efikasnosti pojedinih rastvora. Ispitivanja na većim uzorcima dala bi konačne rezultate, kao i podatke o utrošcima rastvora za dekontaminaciju većeg obima.

Literatura:

1. S.M. Gordinskij, Z.E. Panfilova, D.S. Goldštejn, L.M. - Nosova, Dezaktivacija sredstv individualnoj zaštiti i zaštitnih pokritij. Atomizdat, Moskva, 1964;
2. D.G. Stewenson, Radiological Decontamination, Research, - London, 13 No 10, 38,3-9, October, 1960;
3. Materijal iz organske hemijske tehnologije, Udruženje - Saveza studenata Tehnološkog fakulteta, Beograd, 1957, (skr
4. J.M. White, Decontamination Principles and Techniques, - AECL- 1427, August, 1961;
5. W.J. Colclough, A.J. Smith, H.Wells, AERE-R-4254, 1963.

Problemi dekontaminacije kod vodom hlađenih i teškovodnih reaktor.

1. Uvod

M. Zarić

U toku rada reaktora česte su pojave kontaminacije sastavnih dijelova, i to prvenstveno kontaminacije unutrašnjih površina primarnog rashladnog sistema. Aktivnost kontaminiranih površina ometa, a u nekim slučajevima i onemogućava normalan operativni rad. Zbog toga su neophodne redovne - ili povremene dekontaminacije pojedinih sastavnih dijelova ili čitavog sistema, u cilju da se omogući obavljanje određenog posla, odnosno potrebnih manipulacija.

Univerzalni postupak za dekontaminaciju ne postoji. Svaki postupak je specifičan i razrađuje se prema reaktorskom sistemu koji treba da se dekontaminira. Postupci i agensi za dekontaminaciju ne zavise samo od vrste konstrukcionih materijala nego takođe i od vrste i aktivnosti filmova i depozita koji nastaju na metalima ugrađenim u sistem. Postupci dekontaminacije koji se primjenjuju kod jednog reaktora nisu pogodni ni efikasni kod drugih reaktora kod kojih su uslovi rada drugačiji.

Bez obzira na sve specifičnosti pojedinih tipova reaktora, bitno je razjasniti prirodu kontaminacije i prema tome odrediti postupak dekontaminacije.

U ovom izlaganju razmotrićemo pojave kontaminacije do kojih dolazi kod vodom hlađenih i teškovodnih reaktora i principe dekontaminacije za iste sisteme

2. Kontaminacija

Postoje dva uzroka kontaminacije reaktora i to: korozija konstrukcionih materijala primarnog sistema i oštećenje (pucanje) obloge nuklearnog goriva. Koji će od navedena dva uzroka da bude primaran kod kontaminacije, zavisi, u vrlo širokom obimu, od konstrukcije i tipa reaktora, vrste gorivnih elemenata, uslova rada i nepredviđenih akcidenata

Kod kontaminacije reaktora uslijed korozije konstrukcionih materijala produkti korozije, prvenstveno oksidi ili hidroksidi aluminijuma, gvožđa, hroma, nikla i drugih metala, prelaze u rashladni fluid, prvo kao rastvorne komponente, a zatim kao koloidi ili talozi. U obliku suspenzije ovi produkti se prenose u različite dijelove sistema, uključujući i zonu fluksa. Dolaskom u zonu fluksa, produkti korozije pokazuju tendenciju ka taloženju, i to, uglavnom, na obloge gorivnih elemenata. Pravi mehanizam ovog taloženja nije sasvim poznat, ali je u vezi sa β ili γ zračenjem (1). Različite teorije pripisuju ovo taloženje dešaržira - nju koloidnih naboja, aglomeraciji, promjeni oksidacionog-

stanja elemenata ili povećanju vremena zadržavanja česti - ca u zoni fluksa. Talozni koji se formiraju u zoni fluksa - tokom vremena postaju vrlo aktivni. Kada dostignu određenu debljinu ili kada promjene strukturu, odnosno kada dođe do promjene uslova rada reaktora (brzina protoka, temperatura postojeći talozni, zajedno sa korozionim produktima nastalim u zoni fluksa, prelaze u rashladni fluid, kojim se raznose u druge dijelove sistema. Uslijed promjene pravca i brzine strujanja fluida i temperature, dolazi do deponovanja ovih visokoaktivnih materija na različitim mjestima i van jezgra reaktora.

Potrebno je naglasiti da se kod ovog deponovanja ne radi - samo o fizičkom procesu nego da dolazi i do hemijskih promjena, adsorpcije, jonske izmjene i sličnog.

Može se reći da je deponovanje radionuklida na metalne površine ireverzibilno, neuniformno i da zavisi od stanja metalne površine, vrste i količine radionuklida u rastvoru i karakteristika rastvora iz koga se deponovanje vrši.

Kontaminacija koja nastaje uslijed oštećenja (prskanja) obloge nuklearnog goriva zavisi prvenstveno od vrste i koncentracije gorivnih elemenata.

Gorivni elementi od metalnog urana prilikom pucanja košuljice otpuštaju u rashladni fluid znatne količine uranovog dioksida i fisionih produkata. Elementi od uran-oksida ili sa jezgrom od korozivne otporne legure (na primjer U-Pu), odnosno od dispergovanog goriva u nerđajućem čeliku, daju samo malu količinu fisionih produkata. Prema tome, pitanje kontaminacije reaktorskog sistema uran-dioksida i pratećim fisionim produktima je najaktuelnije.

Uran-dioksid, koji nastaje reakcijom urana i vode, je veoma malo rastvorljiv u čistoj vodi, ali zato vrlo lako gradi koloidne suspenzije. U reaktorskom sistemu uran-dioksid se nalazi u vodi (teškoj ili običnoj) kao koloidna suspenzija i adsorbovan na druge koloidne čestice, zatim kao rastresiti talog na mjestima male turbulencije i brzine toka i adsorbovan na metalnim površinama sistema (2).

Količine uran-dioksida koje se nalaze u pojedinim fazama - zavise od uslova rada reaktora. Tako je, naprimjer, utvrđeno da koloidni aluminijum-hidroksid i hidratizirani oksid vrlo jako adsorbuju uran-dioksid i da je količina urana u vodi funkcija koncentracije aluminijum-hidroksida i hidratiziranog oksida. Isto tako je utvrđeno da se uran-dioksid brzo adsorbuje na aluminijum i nerđajući čelik iz vodene suspenzije. Brzina depozicije povećava se sa koncentracijom suspendovanog uran-dioksida i sa porastom temperature. U pojedinim slučajevima zapažena je i pojava migracije depo-

novanog uran-dioksida sa hladnijim metalnim površinama na toplije i pojava promjene rastvorljivosti koč svježje depo novanih i odležanih oksida (starenje) (3).
Uopšte uzev, fizičke i hemijske osobine kontaminanta nastalih na jedan ili drugi način zavise od uslova pod kojima su se formirali: temperature, pritiska, intenziteta zračenja, sastava metala i rashladnog fluida, brzine protoka, geometrije površina i sl.

3. Dekontaminacija

Od raznih postupaka dekontaminacije za primjenu kod nuklearnih reaktora pokazao se kao najopštiji i najpogodniji - postupak hemijske dekontaminacije. U osnovi hemijska dekontaminacija se sastoji u rastvaranju depozita i površinskog sloja metala koji su aktivirani različitim hemijskim agensima, odnosno površinskog sloja i udaljavanjem rastvorenih aktivnih materija iz sistema koji se dekontaminira.

Ovaj na izgled prost postupak znatno se komplikuje u praksi, s obzirom da univerzalni dekontaminant za sve kontaminante i sve vrste materijala, odnosno tipove reaktora, ne postoji. Svaki reaktorski sistem, pa i svaki sastavni dio reaktora, zahtijeva specifičan postupak i primjenu određenih operacija.

Hemijska dekontaminacija može se izvoditi parcijalno ili u cjelini, u zavisnosti od potreba i odnosa sredstva za dekontaminaciju - materijal koji se dekontaminira. Kao sredstva za dekontaminaciju koriste se rastvori kiselina, alkalija i soli, sa dodacima za inhibiranje, kompleksiranje, kvašenje i slično. Materijali koji dolaze u obzir za dekontaminaciju kod nuklearnih reaktora su aluminijum, ugljenični i nerđajući čelici (koji se koriste kao osnovni konstrukcioni materijali), zatim specijalne legure za obloge goriva, ležišta, opruge i organske materije (zaptivači, vezivo kod specijalnih ležišta). Ovi materijali su u međusobnom kontaktu, različitog su stepena obrade i odnosa površina.

Prije primjene nekog sredstva za dekontaminaciju neophodno je ispitati dvije osnovne karakteristike tog sredstva - efikasnost i koroziono djelovanje.

a) Efikasnost sredstva za dekontaminaciju

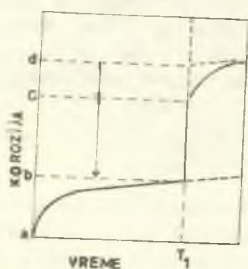
Efikasnost sredstva za dekontaminaciju ogleda se kroz količinu kontaminanta u toku određenog vremena. Ova efikasnost izražava se preko faktora dekontaminacije, tj. odnosa-

nosno metalne površine koja se dekontaminira, pa do uslova pod kojima se dekontaminacija vrši.

Radi kontrolisanja nagrivanja metala pri dekontaminaciji - odnosno korozije, svim sredstvima za dekontaminaciju, ukoliko sama ne posjeduje inhibitorske osobine, dodaju se inhibitori korozije.

Tolerantna korozija pri dekontaminaciji, koja se obično - izražava u mg/cm^2 ili mikro-dekontaminacija, za pojedini reaktorski sistem ili sastavni dio sistema, izračunava se iz tolerantne korozije za dati materijal i predviđenog broja dekontaminacija.

Slika 2.



Dijagram korozije kod dekontaminacije

Kod izračunavanja brzine korozije mora se voditi računa i o tome da metalna površina poslije dekontaminacije, tj. poslije odstranjivanja postojećeg filma, veoma brzo korodira ponovo ne nastane odgovarajući oksidni sloj. Ova korozija također se računa u koroziju koja potiče od dekontaminacije. Opisani proces najbolje se može predstaviti dijagramom na slici 2 (1). Na dijagramu a-b predstavlja koroziju do vremena T_1 , kada se pristupa dekontaminaciji; b-c predstavlja gubitak

metala za vrijeme dekontaminacije, a c-d ubrzanu koroziju neposredno poslije čišćenja. Ukupna korozija od dekontaminacije, prema tome, iznosi b-d.

Od svih tipova korozije tolerira se jedino uniformna korozija, mada se na pojedinim mjestima i materijalima u manjem obimu ne mogu izbjeći i drugi tipovi, kao što su galvanska korozija, korozija u obliku pitanga, korozija u zazorima i sl. Galvanska korozija, po pravilu, nastaje na mjestima dva različita metala - plemenitijeg i neplemenitijeg, od kojih posljednji izrazito korodira. Do ove korozije uglavnom, dolazi na varovima ugljeničnog čelika sa nerđajućim, a u manjoj mjeri i kod aluminijuma u kontaktu sa nerđajućim čelikom. Na slici 3 prikazana je galvanska korozija ugljeničnog čelika na varu sa nerđajućim čelikom - poslije tretiranja sa dvobaznim amonijum-citratom u toku osam dekontaminacija.

Neuniformna korozija, u obliku pitanga, nastaje uglavnom,

Slika 3.

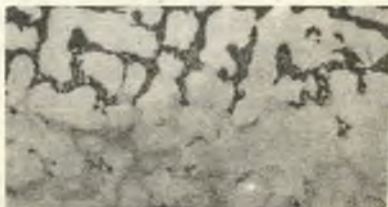
Korozija na kontaktu
ugljenični nerđajući čelik.



kao posljedica lokalnog napada na strukturno aktivnijim centrima metalne površine. Na slici 4 prikazana je lokalizovana korozija do koje dolazi na stelitu (stelit 6B) poslije tretiranja sa CrO_3 u toku dvanaest puta ponovljene dekontaminacije, od po dva sata svaka (6).

Slika 4.

Lokalna korozija stelita



S obzirom na posljedice dekontaminacije, svaki od potencijalnih rastvora za dekontaminaciju prethodno se mora ispitati na efikasnost, zajedno sa korozionim djelovanjem, i to sa materijalima koji će se docnije dekontaminirati. Ispitivanje dekontaminanta počinje sa laboratorijskim testovima u čaši, čime se ujedno vrši i prva selekcija predviđenih sredstava za dekontaminaciju. Sredstva sa malom efikasnošću ili izrazitom selektivnošću, odnosno koja dovode do jake korozije i koja se ne mogu inhibirati, odbacuju se. - Dalje ispitivanje vrši se u modelima, imitirajući uslove - pod kojima će sredstva da budu primjenjena. Kod ove vrste ispitivanja registruje se uticaj protoka, temperature, sadržaja gasova, geometrije i sličnog na efikasnost dekontaminacije i brzinu korozije. Sredstva koja pokazuju zadovoljavajuće osobine i pri ovom ispitivanju ispituju se dalje - pri naizmjeničnim "radnim uslovima" i uslovima dekontaminacije. Ova ispitivanja izvode se u posebno konstruisanim u-

redajima, koji su pripojeni uz reaktore i kod kojih se kontaminacija uzoraka vrši pod približno istim uslovima kao i u reaktoru, tj. rashladnim fluidom iz reaktora. U toku dekontaminacije posebno se razrađuju i postupci kvantitativnog odstranjivanja dekontaminanta.

Opisani postupak ispitivanja primjenjuje se kako za jedno stepene, tako i za višestepene dekontaminante.

Na slici 5 prikazano je nekoliko uzoraka na kojima se vrši ispitivanje, a na slici 6 opšti izgled jednog model-uređaja u kome se vrši ispitivanje i koji je priključen uz reaktor.

Slika 5.

Izgled uzoraka za ispitivanje dekontaminacije i korozije



Sam postupak dekontaminacije sastoji se u cirkulaciji dekontaminanta kroz sistem koji se dekontaminira, mada su moguća i druga rješenja.

Slika 6.

Opšti izgled petlje za ispitivanje dekontaminacije i korozije.



4. Zaključak

Dekontaminacija postojećih i budućih reaktorskih sistema - je komplikovan proces, kod koga je neophodno riješiti dvije

osnovne grupe problema, a koji se odnose na prirodu kontaminanta i postupak dekontaminacije.

Vrste aktivnosti kao i karakteristike prisutnih depozita odlučuju o izboru dekontaminanta. Zbog toga osnovu za uspješno izvođenje dekontaminacije predstavljaju studije mehanizma nastajanja kontaminacije, tj. adsorpcije, jonske izmjene, permeabilnosti, hemijskih reakcija i sličnog - u odnosu na metalne površine.

Problemi povezani sa postupkom dekontaminacije sastoje se u usklađivanju efektivnosti dekontaminanta, brzine korozije i realizacije postupka.

Odnos efikasnost dekontaminanta - brzina i tip korozije određuje se na osnovu odgovarajućeg redosljeda ispitivanja počev od laboratorijskih preliminarnih ispitivanja, pa do ispitivanja u posebno konstruisanim uređajima, koji mogu da budu i sastavni dijelovi reaktora. U toku ovih ispitivanja, ili posebno neophodno je izvršiti studiju pratećih problema, kao što su problemi inhibicije, nastajanja kompleksa, uticaj površinskog napona, konverzije filmova, brzine protoka, odstranjivanje sredstva za dekontaminaciju i sl.

Dobar dekontaminant mora da bude dovoljno efikasan, da ne izaziva koroziju materijala sa kojim dolazi u dodir, da bude pogodan za rad i da bude jeftin i dostupan.

Problemi realizacije postupka dekontaminacije odnose se na konstrukciju potrebnih pomoćnih uređaja, na pitanja sigurnosti i zaštite pri radu, na transport i deponovanje otpadnih materijala i na troškove.

Praktično izvođenje dekontaminacije zavisice od sistema koji se čisti, mada se najčešće primjenjuje postupak sa cirkulacijom rastvora za dekontaminaciju.

Decontamination Problems of Water-Cooled and Heavy Water - Reactors

Abstract

The contamination processes of water-cooled and heavy wa -
ter reactors as well as the basic principles of chemical -
decontamination and corrosion are discussed.
All decontamination problems, which may occur regarding -
the present and the future reactors, may be classified in
two groups i.e. problems of the deposition of the contami -
nant and problems of decontamination.

Literatura:

1. Ayres J.A., Corrosion Aspects of Reactor Decontaminati
on, "Corrosion of Reactor Materials" IAEA, Beč, 1962, str.201
201;
2. Hatcher S.R., Evaluation of Some Possible Decontamina
ting Reagents for the NRU Reactor, O.R.C.E-926/1960;
3. Davies J.A. i Roy L.P., Laboratory Experiments of the
Deposition and Removal of UO₂ Contamination, C.J. 214/ -
1960;
4. Carlson A.B., Contamination and Decontamination of Low
Temperature Water-Cooled Reactors, D.P. 793/1963;
5. Ayres J.A. i dr., Decontamination Studies for HAPU Wa
ter-Cooled Reactors System, HW-71259/1962;
6. Demmitt G.E., Decontamination Studies for HAPU High -
Temperature Reactor Recirculation Systems, HW-62806/1960.

Dekontaminacija velikih ravnih površina

1. Uvod

R. Blagojević, A. Matijašić

U laboratorijskoj praksi dolazi često do zagađivanja površina podova. Na mjestima gdje je učestalost rada sa otvorenim izvorima zračenja velika (rastvori, praškaste radioaktivne materije), mogu se normalno očekivati i česte kontaminacije većih površina. Radioizotopne laboratorije kod nas uglavnom su klasične hemijske laboratorije i u manjoj ili većoj mjeri prilagođene su za rad sa radioaktivnim materijalima. Površine podova u ovim laboratorijama često su izrađene od cementnog (teraco) materijala, koji bi u pravilu trebalo da bude prekriven izolacionim podolitom ili linoleumom, što nije uvijek slučaj. Laboratorije Instituta "Boris Kidrič", u Vinči, imaju podove sa različitim podlogama i prekrivkama, pa ćemo ovdje izložiti neka iskustva stečena prilikom dekontaminacije ovih površina.

2. Opšti principi

Za sve postupke dekontaminacije važi nekoliko osnovnih principa koji se odnose na mjere koji se sprovode u svim slučajevima kontaminacije, nezavisno od kvaliteta površine koja je kontaminirana.

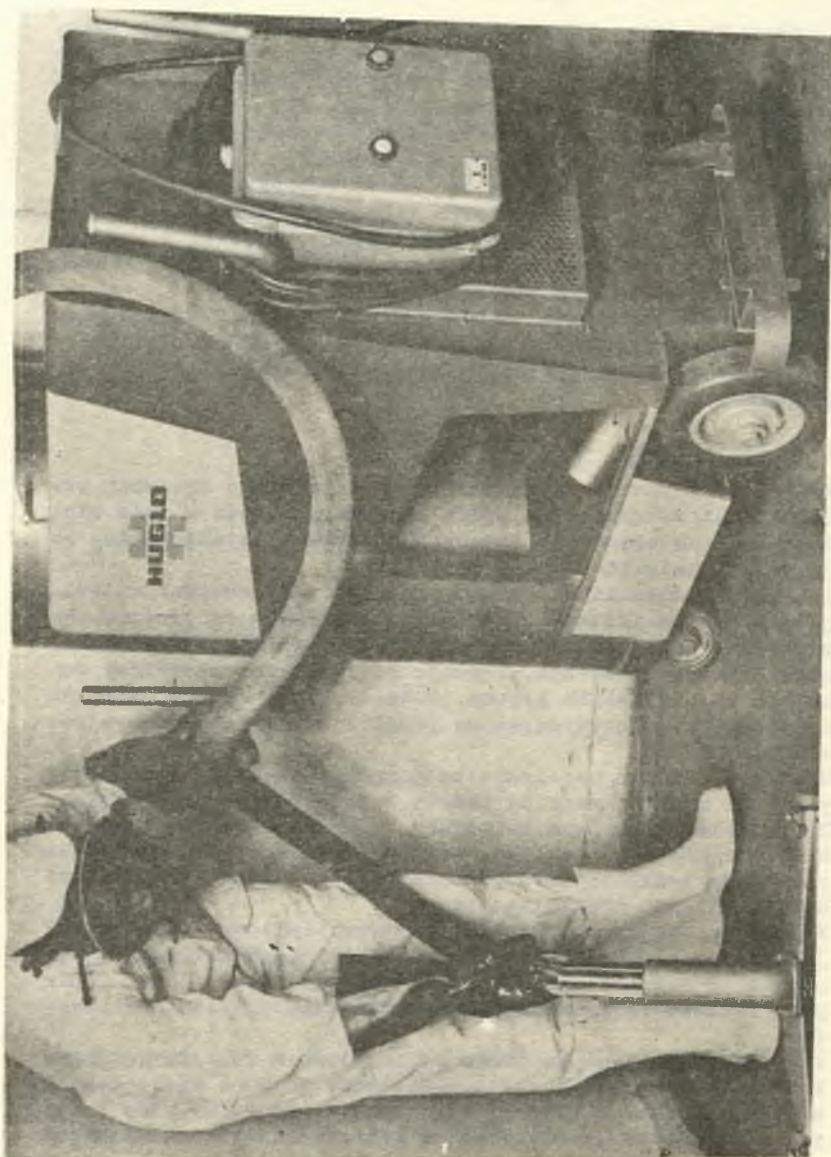
1. Ako je kontaminant čvrst, praškast radioaktivni materijal, treba ga prethodno sakupiti usisivačem za prašinu, opremljenim posebnim sigurnosnim filtrom (slika 1). Ukoliko nema ovakvog usisivača, prosuti radioaktivni materijal sakuplja se navlaženim krpama, vodeći računa o tome da se kontaminacija razmazivanjem ne proširi na čiste dijelove površine.

Upotreba običnih usisivača za domaćinstva nije pogodna, jer platneni mjeħ ne može da zadrži sve kontaminirane čestice. Dalji nedostatak ovih usisivača je u tome što im je izduvni otvor nisko postavljen, tako da izbačena struja vazduha razbacuje i uskovitlava prašinu po prostoriji i doprinosi daljem širenju kontaminacije.

2. Ako je kontaminant tečan (rastvori radioaktivnih materijala), sakuplja se prethodno suvim ili lako navlaženim tamponima od hidrofилnih materijala (krpe, vata, filter-papir) pazeći da se razmazivanjem kontaminirana površina ne povećava.

Površine na kojima je došlo do progipanja velikih količina kontaminanta treba zasuti piljevinom, koja će upiti tečnost. Ukoliko za to postoji mogućnost, tečnost se može sakupiti i naročitim usisivačima sa rezervoarom za sakupljanje-

Slika 1. Ususivač za prašinu od 7,5 KS opremljen filtrom za zadržavanje kontaminiranih čestica prašine



tečnosti.

3. Kada je glavna količina kontaminanta uklonjena, pristupa se detaljnoj dekontaminaciji primjenjujući neki od da - lje opisanih postupaka, u zavisnosti od kvaliteta površine poda i raspoloživih sredstava. Kada se radi o poroznim površinama (beton), treba nastojati da se tečnost što manje zadržava na površini, da ne bi došlo do upijanja i dublj eg prodiranja kontaminanta u materijal.

2.1. Dekontaminacija podova prekrivenih PVC izolacionim materijalom ili linoleumom

Podovi sa prekrivkom na bazi PVC ili od linoleuma dekontaminiraju se relativno lako ako se na njima nalazi zaštitni sloj od parketne masti. Izuzetak čini ako je kontaminant - rastvor nekog halogenog elementa (S 131), kada može doći do hemisorpcije na prekrivkama od PVC materijala. Poteškoću predstavljaju i prestarjele ispucale površine, kroz koje kontaminant lako prodire, čak i do cementne osnove. U ovom slučaju jedini efikasan postupak je potpuno odstranjanje prekrivke, eventualna dekontaminacija podloge i postavljanje novog materijala za pokrivanje.

2.2. Dekontaminacija poliranih, teraco (cementnih) površina

Uslov za laku dekontaminaciju ovakvih površina je dobra izolacija mašću. Na ovaj način, pored toga što se uobičajeno obavlja veoma lako mašinama za usisavanje prašine i glenjanje poda, eventualna dekontaminacija je znatno olakšana i svodi se u većini slučajeva samo na uklanjanje gornjeg - zaštitnog masnog sloja.

U slučaju da pod nije bio zaštićen slojem masti, uspješna dekontaminacija postiže se veoma teško.

2.3. Dekontaminacija površina od grubog, neobrađenog betona

Ovakve površine se veoma teško dekontaminiraju. Preporučavana obrada plamenom ne daje učinak koji bi se očekivao - prema podacima iz literature. Osim toga, ovim postupkom se znatno oštećuje površina, a prilikom rada mora se strogo voditi računa o zaštiti radnika zbog opasnosti udisanja radioaktivnih aerosola. Kada uobičajeni postupci ne daju zadovoljavajuće rezultate, pribjegava se izolaciji površina da bi se spriječilo širenje kontaminacije. Kada se radi o malim intenzitetima doze zračenja koja potiče sa kontinui-

rane površine, kontaminirana zona se izoluje prekrivkama od debljih PVC folija, ili se zaliva asfaltnom masom. Za slučaj većih doza, naročito ako bi one mogle predstavljati opasnost za duže vrijeme, betonski sloj se uklanja razbijanjem.

2.4. Dekontaminacija metalnih površina

Metalne površine zaštićene slojem masti dekontaminiraju - se relativno lako. Dekontaminacija je takođe olakšana ako je površina zaštićena bojom. Teži slučaj predstavljaju ne zaštićene metalne površine, koje zahtijevaju primjenu jakih hemijskih agenasa, što istovremeno dovodi i do znatne korozije.

Najteže se dekontaminiraju površine ploča od livenog gvožđa sa utisnutom reljefnom šarom.

3. Postupci za dekontaminaciju

3.1. Dekontaminacija organskim rastvaračima

Za uklanjanje zaštitnog masnog sloja (parketna mast) mogu se upotrijebiti praktično sve vrste organskih rastvarača, ali najbezbjedniji i izvanredno efektan učinak postiže se trihlor-etilenom. Ostali organski rastvarači nepogodni su za upotrebu bilo zbog zapaljivosti, bilo zbog štetnog dejstva njihovih para, ili im je, pak, upotreba neopravdana zbog visoke cijene koštanja. Prednost upotrebe trihlor-etilena sadržana je upravo u razlozima koji su navedeni - za eliminaciju ostalih organskih rastvarača.

Osim masnog sloja, trihlor-etilenom se mogu ukloniti i premazati boje koje su neotporne na ovu materiju. Boja - kao zaštitno sredstvo naročito je pogodna za izolaciju betonskih površina, kada se presvlake od plastičnih masa - ili linoleuma ne mogu upotrijebiti zbog njihove mehaničke neotpornosti na pritisak i habanje.

Prilikom čišćenja trihlor-etilenom upotrebljavaju se tamponi od vate, uz korišćenje posebne alatke "hvatača tampona" 1 (slika 2). Ovaj alat, napravljen adaptacijom komercijalnog brisača za pod sa gumenim jastukom, veoma je pogodan za rad i ima niz prednosti nad sličnim uređajima opisanim u literaturi.

Proces dekontaminacije odvija se tako što se prethodnim - uzimanjem briseva utvrđuje najviše kontaminirana zona zagađene površine, a zatim čišćenje obavlja idući od najniže prema maksimalno zagađenim zonama. Kada se radi o kon-



Slika 2.
Hvatač šampona - uređaj za dekontaminaciju velikih (a i b)
ravnih površina (podova i zidova) pomoću navlaženih tampona
od vate

taminaciji većeg intenziteta zračenja, u posao se uključuje po nekoliko ljudi, koji jedan za drugim prelaze tamponima preko zagađene površine. Kontaminirani tamponi odbacuju se u kante za radioaktivne otpatke, spolja i iznutra izolovane tankim vrećama od plastične mase. Na ovaj način grupa od 5 do 6 iskusnih radnika može da očisti dvije do tri stotine m² površine za efikasno radno vrijeme, koje na ovim poslovima iznosi oko 4 sata od ukupno 8 radnih časova.

3.2. Dekontaminacija rastvorima deterdženata

Primjena ovakvog postupka olakšana je ako se koriste mehaničke rotacione četke sa dozerom rastvora deterdženata i usisivači za tečnost (slika 3). Postupak se u suštini ne mijenja ako se čišćenje obavlja i običnim četkama za riba nje sa dugačkom drškom, uz obavezno sakupljanje tečnosti-tamponima.

Prije nego se započne sa pranjem kontaminirane površine, okolna čista mjesta treba izolovati folijama od PVC materijala da ne bi došlo do širenja tečnosti, tj. daljeg rasprostiranja kontaminacije.

Za dekontaminaciju su pogodne sve vrste domaćih deterdženata upotrebljene u koncentracijama 3-10%. Ovakav postupak dekontaminacije vrijedi ponavljati najviše tri puta, a ukoliko se ne dobije željeni učinak, treba preći na mehaničke postupke dekontaminacije. Kod dekontaminacije površina prekrivenih linoleumom ili sličnim mekim plastičnim masama treba biti vrlo obazriv zbog mogućnosti da se površina znatno izgrebe i ošteti što povećava njenu kasniju prijemčivost za kontaminaciju. Elastični i sjajni PVC podolit može se bez opasnosti obrađivati na opisani način.-

3.3. Dekontaminacija rastvorima neorganskih kiselina i al kalija

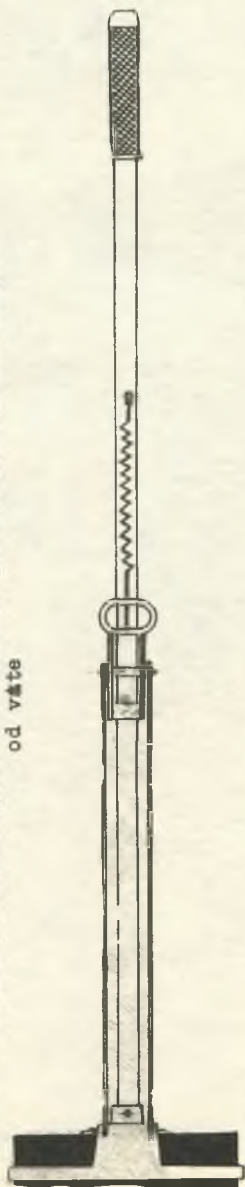
Ove hemikalije mogu se upotrijebiti samo na metalnim i metalnim obojenim površinama. Njihova upotreba na prekrivačima od plastičnih masa daje mali efekat, a rad je otežan zbog teških isparenja i njihovog agresivnog dejstva na kožu i sluzokožu disajnih organa.

Alkalije se upotrebljavaju za uklanjanje bojenih premaza. Njihovo dejstvo sastoji se u tome što se površina izloži dejstvu alkalija za vrijeme koje je potrebno da premaz omekša, kada se lako može ukloniti struganjem.

Za ovu svrhu upotrebljavaju se 5-10% rastvori NaOH, uz e-

Slika 2a.

Hvatač tampona - uređaj za dekontaminaciju velikih (a i b)
ravnih površina (podova i zidova) pomoću nsvlaženih tampona
od vate





Slika 3.

Mehanička rotaciona četka (lijevo)
i usisivač za kontaminirane sfil-
ente (desno)

ventualni dodatak skroba, naročito ako se radi o vertikalnim površinama. Skrob omogućuje čvršću vezu rastvora alkalijske na vertikalnim površinama; tečnost se sporo cijedi i vrijeme kontakta je povećano.

Jake kiseline ili smjese kiselina upotrebljavaju se za dekontaminaciju čistih metalnih površina. Prilikom primjene ovih postupaka potrebna je velika obazrivost zbog zaštite ljudi. Postupak je nepodesan i u odnosu na priručni materijal i alat, koji kiseline takođe nagriza. Dalje, postoji velika mogućnost unakrsne kontaminacije, tj. kontaminacije alata koji se koristi (hvatači tampona, manipulatori, usisivači za tečnost) u ovom postupku. Pored toga, obrađivana površina obavezno korodira, čime se povećava i njena kontaminabilnost.

Ovaj postupak koristi se samo u krajnjem slučaju, kada sve prethodne mjere ne mogu da daju zadovoljavajući rezultat.

3.4. Dekontaminacija mehaničkim putem

Najjednostavniji postupak dekontaminacije mehaničkim putem koji podrazumjeva uklanjanje gornjeg sloja površine u većoj ili manjoj mjeri, je upotreba grubog papira za glačanje ("šmirgl"-papira). Ovaj postupak daje često odlične rezultate na plastičnim ili linoleumskim prevlakama, kao i na teraco (cementnim) površinama. Površina se prethodno navlaži da bi se spriječilo podizanje prašine, a zatim se pogodnim komadom drveta prekrivenim papirom za glačanje obrađuju kontaminirana mjesta. Na ovaj način vrlo brzo mogu da se uklone kontaminirane "vruće tačke" koje zaostaju poslije dekontaminacije rastvaračima ili pranja sa četkanjem ili deterđentima.

Ako se radi o većim kontaminiranim površinama za koje se očekuje da će mehanička obrada dati povoljan rezultat, koriste se mašine za glačanje teraco podova.

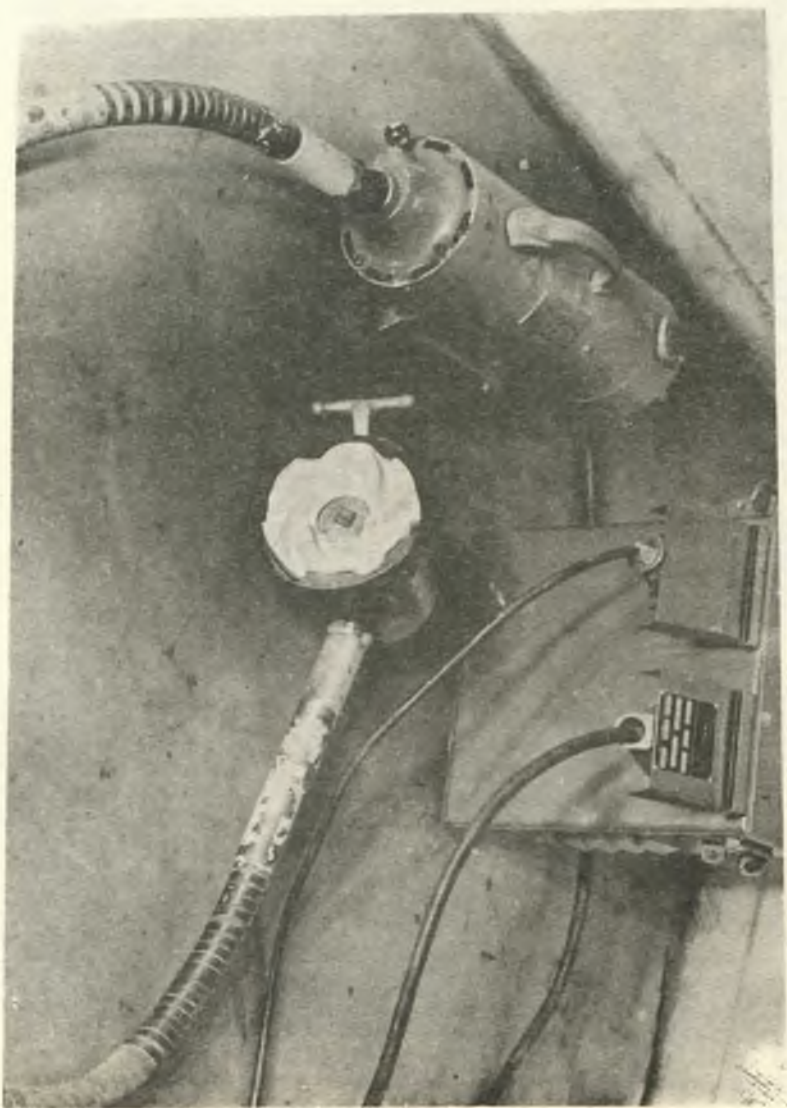
Obrađivana površina se navlaži i obrađuje različitim kamenim počev od grubih do najfinijih.

Za ovu svrhu mogu se koristiti stabilne velike mašine ili ručne sa manjim prečnikom kamena. Ove manje, ručne mašine, često su pogodnije zbog većeg izbora rotacionih glava koje omogućuju obradu uglova i ivica (slika 4 i 5).

Radioaktivni efluenti, odnosno kontaminirana suspenzija koja nastaje u toku ovog postupka, sakupljaju se usisivačima ili tamponima.

Po završenoj dekontaminaciji, odnosno glačanju poda, površinu treba dobro oprati, pustiti da se osuši i zatim dozime trijski kontrolisati.

Slika 4. Ručna mašina za glačanje teraco podova



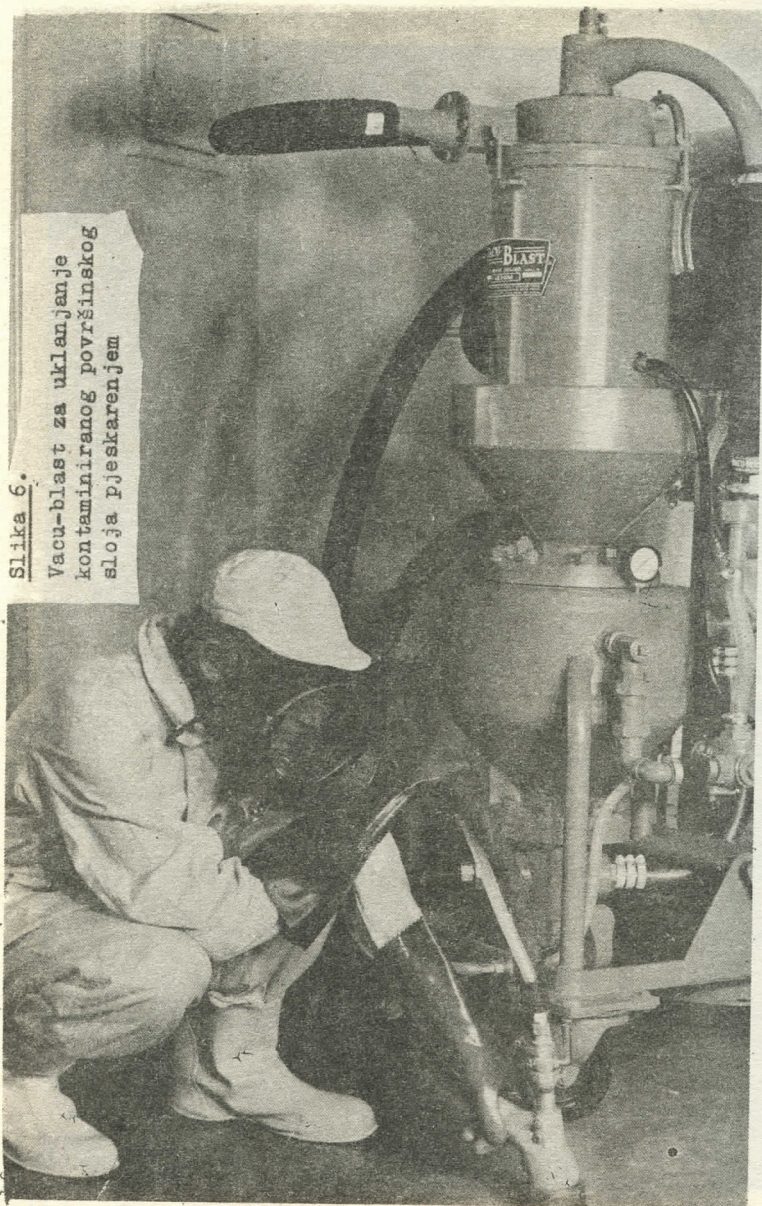


Slika 5.

Dekontaminacija betonske terace površine pomoću
ručne mašine za glažanje

Slika 6.

Vacu-blast za uklanjanje
kontaminiranog površinskog
sloja pjeskarenjem



U okvir ovog postupka spada i obrada površina pokretnim uređajima za pjeskarenje, ali kako to izlazi van okvira našeg iskustva, samo naglašavamo da se detaljnije informacije mogu naći u stručnoj literaturi (slika 6). Krajnji stupanj u mehaničkoj obradi površina je potpuno uklanjanje, odnosno demoliranje kontaminirane površine. Ovakav postupak primjenjuje se kada kontaminacija koja je duboko prodrla u površinu materijala (betona) ima visok-intenzitet doze zračenja, te predstavlja opasnost za osoblje zaposleno na takvom mjestu. Postupak se takođe primjenjuje i u slučajevima kada se radi o znatnim kontaminacijama koje nemaju visok intenzitet doze zračenja, ili kada su u pitanju visokotoksični radioizotopi (Ra, Sr, Pu i sl.) i ne postoji mogućnost izolacije. Ovakvo demoliranje obavlja se upotrebom pneumatičkih čekića i bušilica, uz strogu primjenu sredstava za zaštitu kože i respiratornih organa.

4. Zaključak

Iz dosadašnje prakse možemo zaključiti da se najlakše i najjeftinije dekontaminiraju površine prekrivene materijalom na PVC osnovi i zaštićene slojem parketne masti. Zaštitni sloj masti takođe znatno olakšava dekontaminaciju teraco i metalnih površina. Sprovođenje ovakve zaštite omogućuje upotrebu trihlor-etilena prilikom dekontaminacije. Ovakve operacije nisu komplikovane, a prilikom njihovog sprovođenja ne postoji mogućnost zagađivanja okolnih čistih površina. Ostali postupci zahtijevaju složenije operacije sa većim utroškom sredstava, materijala, opreme i vremena.

LA DECONTAMINATION DE GRANDES SURFACES

Le travail contient les methodes qu'on utilise pour la decontamination de grandes surfaces (planchers et murs) contaminées les radioisotopes. Il donne une description détaillée de tous les procedés en cas pareil et attire l'attention sur l'expérience acquise a l'Institut "Boris Kidrič" sur les travaux pareils.

Mogućnost i efikasnost dekontaminacije ultrazvukom

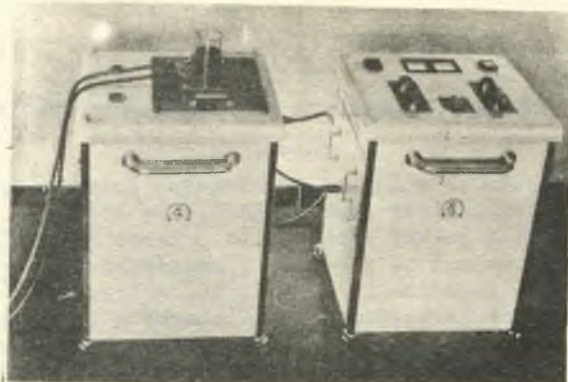
B. Pavlović, D. Mijović

Prva saopštenja u kojima se razmatra primjena ultrazvuka - za dekontaminacione svrhe datiraju iz 1953. i 1954. godine (1, 2), mada je već ranije bilo poznato da se ultrazvuk - može da primjeni za čišćenje i odmašćivanje površina. Prema novijim podacima iz literature, ultrazvučna dekontaminacija sada se koristi u SAD u Kentucky-u za uklanjanje urana sa zidova cijevi u postrojenjima za razdvajanje uranovih izotopa gasnom difuzijom (3) i za dekontaminaciju cijevi razmjenjivača toplote u nuklearnim reaktorima (4). U Njemačkoj (5) ultrazvuk se koristi za čišćenje mašinskih dijelova kontaminiranih uslijed kontakta sa radioizotopima. Engleski autori (6, 7) preporučuju ovu metodu, uz jednovremeno tretiranje kontaminiranih površina deterdžentima i kompleksonima, za dekontaminaciju manjih, složenih mehanizama, dijelova aparata i sl. izrađenih od aluminijuma, čelika, gume, stakla i polietilena. Ova metoda je specijalno podesna za dekontaminaciju površina koje poslije dekontaminacionog procesa treba da ostanu uglačane i neoštećene.

U našoj zemlji se na problemu dekontaminacije ultrazvukom počelo da radi 1960. godine. U ovom relativno kratkom razdoblju stečeno je iskustvo u vezi primjene ultrazvuka za dekontaminacione svrhe i publikovan je veći broj naučnih i stručnih radova koji tretiraju probleme iz ove oblasti (8-15).

U ovom referatu zadržaćemo se na rezultatima ispitivanja - koja su vršena u Institutu u Vinči i na Tehnološkom fakultetu u Beogradu. Naši dosadašnji radovi su, uglavnom, bili usmjereni na ispitivanje efikasnosti i brzine dekontaminacije površina metala, plastičnih masa, stakla i tekstila koji su kontaminirani jednim od izotopa kao što su ^{89}Sr , ^{134}J , ^{137}Cs , ^{210}Po , a takođe i smješom izotopa iz niza Ra, a u toku su ispitivanja dekontaminacije površina kontaminiranih smješom poznatih radioizotopa, kao i ispitivanje efikasnosti ultrazvuka za dekontaminaciju metalnih - površina kontaminiranih produktima (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce). Najveći dio ispitivanja dekontaminacionog efekta ultrazvuka vršen je u Vinči pomoću ultrazvučnog piezoelektričnog generatora USGL 300 (proizvodnja firme Schoeller). Ovaj generator (sl.1) ima vibrator od kvarca i može da radi sa frekvencijama od 22, 137, 300, 500, 1000 i 2000 kHz. Površina vibratora je 30 cm². Ukupna maksimalna izražena snaga ultrazvučnih talasa je 360 W. Sa ovakvim ultrazvučnim uređajem podesno je vršiti dekontaminaciju, jer se stakle-

Slika 1.



Ultrazvučni piezoelektrični generator
tipa USGT-300

na posuda za izvođenje dekontaminacije može mijenjati, tj. umjesto nje može da se stavi kupatilo, u kome se zatim mogu dekontaminirati veći predmeti. Ultrazvučni uređaj koji smo opisali posjeduje i nuklearni centar u Sacley-u (Francuska).

Drugi tip ultrazvučnog generatora koji smo koristili za ispitivanje dekontaminacionog efekta je magnetostriktivni generator tipa "Cirko". Pomoću ovog generatora dobivaju se ultrazvučne oscilacije frekvencije 40 kHz. Intenzitet ultrazvuka u posudi u kojoj vršimo dekontaminaciju iznosila je $0,2 \text{ W/cm}^2$. I, najzad, treći tip ultrazvučnog generatora koji smo koristili jedno kratko vrijeme za prva ispitivanja dekontaminacionog efekta ultrazvuka bio je izrađen u Institutu "Mihajlo Pupin" u Beogradu. Pomoću ovog generatora dobijene su ultrazvučne oscilacije frekvencija 800 i 3000 kHz.

Iako se u literaturi navodi (3,16-22) da su najoptimalniji dekontaminacioni efekti postignuti sa ultrazvukom nižih frekvencija, mi smo postizali dobre dekontaminacione efekte i pri radu sa ultrazvučnim generatorom frekvencija od 800 i 3000 kHz. Tako smo npr. pri prozvučavanju vodenog rastvora ovim frekvencijama postigli stepen dekontaminacije od 85 do 100% za cink, nikl, PVC, gumu, aluminijum, pleksi staklo i obično staklo, koji su bili kontaminirani jodom-131 (8). Površina bakra kontaminirana fosforom 32 takođe se odlično dekontaminira pri navedenim uslovima (9). Detaljnije ispitivanje uticaja frekvencije ultrazvuka na veličinu stepena dekontaminacije za razne grupe materijala kon

taminiranih različitim izotopima i ispitivanje uslova izvodenja dekontaminacije ultrazvukom pri višim frekvencijama-nismo vršili. U daljim istraživanjima orijentisali smo se na rad sa nižim frekvencijama, uglavnom, u opsegu od 40 do 300 kHz.

Tabela 1.

Metal	Dekontaminacioni efekat u %		
	u toku 20 min. 2%-ni rastvor "Tajma"	u toku 5 min. ,1 N HCl	u toku 60h ultrazvuk u H ₂ O
Al	14-17	35-42	65
Cu	26-34	69-78	89
Fe	26-34	45-65	90
Zn	2-6	52-60	76
Pb	6-10	33-40	84
Cr	9-16	62-66	67
Ag	12-20	58-78	78
Ni	10-41	73-81	57

Ispitujući u jednom protočnom sistemu brzine dekontaminacije i dekontaminacione efekte 2%-nog vodenog rastvora deterdženta ("Tajm") na 20-24°C, zatim 0,1 N HCl na sobnoj temperaturi, kao i ultrazvuk frekvencije 40 kHz u vodenoj sredini na površine Al, Cu, Fe, Zn, Pb, Cr, Ag, Ni, koje su kontaminirane polonijumom 210 - došli smo do zaključka da se ultrazvukom postiže znatno veća brzina dekontaminacije i veći dekontaminacioni efekat nego li pri dekontaminaciji drugim metodama, iako je djelovanje ultrazvuka trajalo znatno manje. U tabeli 1 su uporedo navedeni rezultati ovih ispitivanja.

Do sličnih rezultata smo došli i pri ispitivanju dekontaminacije poliranih i nepoliranih površina aluminijuma i -nikla, koje su bile kontaminirane sa ⁹⁰Sr i ¹³⁷Cs. Kontaminirani uzorci navedenih metala dekontaminirani su 1%, u 2% rastvorom deterdžentata "Tajm", "Radion" i "Versen" na temperaturama od 21 C i 60 C, kao i pod dejstvom ultrazvuka u vodenoj sredini i u vodenim rastvorima navedenih deterdžentata (tabele 2 i 3). Trajanje dekontaminacije bez djelovanja ultrazvuka iznosilo je 30 minuta, a sa ultrazvukom svega 3 minuta. Dakle, ultrazvučna dekontaminacija je deset puta brža.

Upoređujući izgled metalnih površina prije i poslije dekontaminacije, zapazili smo, posmatranjem pod mikroskopom

Tabela 2.

Upoređivanje dekontaminacije sa i bez djelovanja ultrazvuka frekvencije 300 kHz i zvučnog intenziteta 5 W/cm za metal niki

Sredstvo za dekontaminaciju	Obrada površine	Kontaminant Cs 137		Kontaminant Sr 89			
		Dekontaminacioni efekat u %		Dekontaminacioni efekat u %			
		Bez djelovanja UZ na 20 C	Uz djelovanje UZ na 37 C	Bez djelovanja UZ na 20 C	Uz djelovanje UZ na 37 C		
Voda	polirana	29	35	44	46	50	64
	nepolirana	28	35	27	39	46	62
1%-ni vodeni rastvor EDTA	polirana	30	38	43	54	65	67
	nepolirana	27	35	41	39	45	62
1%-ni vodeni rastvor Tajma	polirana	24	50	60	30	50	65
	nepolirana	25	40	55	27	50	66
1%-ni vodeni rastvor "Radiona"	polirana	39	45	75	42	60	76
	nepolirana	31	50	59	40	50	62

Tabela 3.

Upoređivanje dekontaminacije sa i bez djelovanja ultrazvuka frekvencije 300 kHz i zvučnog intenziteta 5 W/cm za metal aluminijum

Sredstvo za dekontaminaciju	Obrada površine	Kontaminant Cs ¹³⁷		Kontaminant Sr ⁸⁹	
		Dekontaminacioni efekat u %		Dekontaminacioni efekat u %	
		Bez djelovanja UZ na 37 C	Uz djelovanje UZ na 37 C	Bez djelovanja UZ na 37 C	Uz djelovanje UZ na 37 C
Voda	polirana	46	54	19	32
	nepolirana	30	37	17	30
1%-ni vodeni rastvor EDTA	polirana	68	84	60	70
	nepolirana	63	69	40	68
1%-ni vodeni rastvor "Tajma"	polirana	73	80	49	53
	nepolirana	71	69	40	43
1%-ni vodeni rastvor "Radiona"	polirana	69	86	50	50
	nepolirana	67	81	33	40

da bi pri djelovanju ultrazvuka u trajanju od tri minuta - nije dolazilo do promjene u površinskoj strukturi metalnih pločica. Nasuprot ovome, prilikom dekontaminacije samo deterđentom u trajanju od 30 minuta, na nekim uzorcima su - zapažena izvjesna oštećenja, a pri dekontaminaciji kiselinama, na svim uzorcima je zapažena promjena izgleda površine.

Naša ispitivanja dekontaminacije različitih tekstilnih materijala običnim pranjem u vodi, pranjem deterđentima i, - najzad, djelovanjem ultrazvukom na temperaturama 18°C i - 50°C - ukazuju da je suština fizičko-hemijskog procesa dekontaminacije površina metala, PVC i stakla. Pri dekontaminaciji tekstila ultrazvukom u vodenoj sredini, ili sredini sa deterđentom, postižu se za znatno kraće vrijeme isti, a katkad i bolji dekontaminacioni efekti nego ako se dekontaminacija vrši bez djelovanja ultrazvuka. Međutim, da bi se ovo postiglo, potrebno je za svaki materijal, odnosno kontaminant kojim je kontaminiran tekstil, izabrati povoljnu - frekvenciju ultrazvuka kojim se vrši dekontaminacija. Osim toga, ultrazvučna dekontaminacija mora da se vrši u protočnom sistemu da bi radioaktivni izotopi skinuti sa površine bili uklonjeni, jer se inače uspostavlja, s jedne strane, - ravnoteža između koncentracije kontaminanta u rastvoru i - na površini tekstilnih vlakana, a s druge strane, dužim djelovanjem ultrazvuka u zatvorenom sistemu rastvor - tekstilno vlakno, jedan dio kontaminanta biva utisnut u unutrašnjost tekstilnih vlakana, odakle ga je veoma teško odstraniti. Dakle, u ultrazvučnom polju se poboljšavaju uslovi dekontaminacije, ali ujedno dolazi i do ubrzavanja difuzije kontaminanta u vlakno. Ovo je u saglasnosti sa postignutim rezultatima pri dekontaminaciji tekstila pomoću ultrazvuka, jer se u većini slučajeva nije mogla da postigne - 100%-na dekontaminacija. U tabeli 4 navedeni su rezultati dekontaminacije materijala bez i pomoću ultrazvuka. Fizičko-hemijska kinetika dekontaminacionih procesa, a posebno kinetika ultrazvučne dekontaminacije, malo je poznata, pa smo stoga preduzeli izvjesna ispitivanja u oblasti kinetike ovih procesa (10, 11), vodeći računa o tome da je ultrazvučna dekontaminacija posljedica kavitacionih pojava. Konstatovali smo da će pri većim brzinama dekontaminacione energija aktivacije biti manja. U tabeli 5 navedene su vrijednosti aktivaciono-energijskog broja za neke tekstilne - materijale, i iz ovih podataka se vidi da procesi ultrazvučne dekontaminacije imaju za isti materijal najmanju vrijednost aktivaciono-energijskog broja (izuzev za pamuk). Ovo je u saglasnosti sa eksperimentalnim nalazima da se proces

Tabela 4.

Materijal	Dekontaminacioni efekat u %		
	u toku 20 min. 2%-ni rastvor "Tajma"	u toku 5 min. ultrazvuk u vodi 1%-ni rastvor "Tajma", a po dekontaminaciji ultrazvukom	u toku 20 min. 1%-ni rastvor "Tajma", a po dekontaminaciji ultrazvukom
Pamuk	74,5	56,2	34,1
Prirodna svila	47,0	49,7	0
Vještačka svila	37,9	42,0	5,9
Vuna	41,0	29,8	25,6

Tabela 5.

Materijal	Vrsta dekontaminacionog procesa		
	dekontaminacija vodom	dekontaminacija deterdžentom	dekontaminacija ultrazvukom
Vuna	4680	750	- 940
Pamuk	- 150	- 3290	- 910
Prirodna svila	240	- 1140	-7350
Vještačka svila	5110	1160	170

dekontaminacije pod dejstvom ultrazvuka ubrzava
Na osnovu jednačine

$$v = dI/dt = - \frac{A \cdot I_0}{t \cdot 4 \cdot \pi} I_0$$

koju smo ranije izveli (11), izračunali bmo brzinu v dekontaminacije za gore navedene materijale. U ovoj jednačini je I_0 aktivnost koja zaostaje na uzorku poslije vremena t , a A i ϵ su empirijske konstante.

Da bi proces dekontaminacije pod dejstvom ultrazvuka bio poboljšan, može se u rastvor koji se prozvučava staviti, sem deterdženata (8, 18, 23 - 25), neko kompleksirajuće sredstvo (6, 17, 23), adsorbent (26), pa čak i neka so koja ima isti jon kao i kontaminant. U nizu oglada sa bakrom kontaminiranim fosforom 32 i mi smo ustanovili da dodatkom soli koja ima isti jon kao kontaminant biva povećana brzina ultrazvučne dekontaminacije.

Na osnovu navedenih radova raznih autora, a imajući u vidu i rezultate našeg rada na ovome problemu, kao i već stečeno iskustvo, može se izvesti zaključak da je ultrazvučna dekontaminacija jedna od metoda dekontaminacije kojoj kod nas treba posvetiti više pažnje, jer pruža veoma velike mogućnosti za brzu, efikasnu i relativno jeftinu dekontaminaciju. Osim toga, njena je specifičnost i u tome što ne oštećuje površine, a utrošak sredstava za dekontaminaciju (voda, deterdžent, organski rastvarači) je znatno manji nego ako se dekontaminacija vrši bez djelovanja ultrazvuka. Mogućnost automatizovanja ultrazvučne dekontaminacije je također jedna od pogodnosti ove metode. Nađamo se da će kod nas rad na daljem proučavanju i primjeni ultrazvuka u dekontaminacione svrhe biti mnogo veći u budućnosti.

POSSIBILITIES AND EFFICIENCY OF DECONTAMINATION BY ULTRASOUND

Ultrasound has been applied for the decontamination of surfaces with more or less success in the last 10 years, but the data obtainable in the literature are rather poor. In our country the research of the application of ultrasound for the decontamination of metal surfaces, textile fibres and synthetic materials surfaces began since 1960 and the results obtained were published in several papers.

This report considers the results obtained in other countries and with us by application of ultrasonic decontamination and points out the possibilities and the efficiency of such kind of decontamination.

Literatura

1. J.J. Lisle-Hood, The effects of ultrasonic agitation - on the surface decontamination rates Ministry of Supply, Gt Brit. Techn. Note 113, Dec. 1953.;
2. M.J. Feldman, Advantages of ultrasonic cleaning, Nucleonics, 12 (1954) 11, 65-66;
3. J.L. Myers, Ultrasonic and uranium, Chem. Eng. Progress 58(1962) 96-98;
4. N.J. Schenectady, G.E. Henry, Ultrasonics for radioactive decontamination, AECU 3590, 1957.;
5. W. Lehfeldt, Kerntechnik, 4 (1962) 415-416;
6. A. Cook, Principles and recommended practice for decontamination of radioactive areas and equipment, UK Atom. Energy Auth., AHSB (S) R33, 1962;
7. B. Carlin, Ultrasonics, McGraw Hill Comp., 1960.;
8. J. Gligorijević, B. Pavlović, D. Novčić, Dejstvo ultrazvuka frekvencije 800 i 3000 kHz na dekontaminaciju nekih - površina zagađenih jodom 131, "Glasnik Hemdruštva", Beograd, 27 (1962), 65-75;
9. D. Novčić, B. Pavlović, Primjena ultrazvuka za dekontaminaciju površina bakra kontaminiranih fosforom 32, "Radovi Zavoda za fiziku", Beograd, 2(1962) 33-37;
10. B. Pavlović, D. Mijović, Neka iskustva u vezi dekontaminacije površina i tekstila pomoću ultrazvuka, IX Jugoslovenska konferencija ETAN, Bled, nocembar 1964;
11. B. Pavlović, D. Petrović, Ispitivanje energija aktivacije nekih dekontaminacionih procesa, III jugoslovenski simpozijum o primjeni radioaktivnih izotopa u industriji, Herceg Novi, maj 1965;
12. J. Gligorijević, Đ. Đurđević, D. Novčić, Č. Rusov, Ispitivanje dekontaminacionog efekta terapijskih kvaliteta ultrazvuka, "Veterinarski glasnik", 15 (1962) 977-980,
13. J. Gligorijević i dr., Ultrazvučna dekontaminacija organskih materija, I jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, Portorož, oktobar 1963;
14. B. Pavlović, D. Novčić, Ultrazvučna dekontaminacija, - "Vojnotehnički glasnik", 5(1962) 358-361;
15. B. Pavlović, D. Novčić, "Dekontaminacija ultrazvukom", "Tehnika" - Radioaktivni izotopi i zračenja, 2(1962) 229 - 232;

16. D.O. Campbell, The decontamination of stainless steel, Oak Ridge National Lab., Progress Rep., 1955.;
17. R.F. Corlett, J.W. Colb, Investigation of ultrasonics-decontamination, Interim. Rep. 1955, HW 34811;
18. R.L. Rod, Recent advances in ultrasonic decontamination, Nucleonics, 16 (1958) 7, 104-105;
19. P. Cerre, E. Mestre, J. de Kerdeleau, La decontamination des surfaces par l'emploi des ultrasons, Raport CEA, - 2209, France, 1962;
20. L.M. Behr, W.L. Bryant, Radioactivity decontamination - by ultrasonics, Suppl. Proc. VII Hot Laboratories and equipment Conference, Am. Soc. Mech. Engineers, 1959.;
21. E. Mestre, La decontamination des surfaces, Energie Nucléaire, 3(1961), 309;
22. D.L. Collins, Cleaning radioactive parts, Am. Mach. - Metalw. Manuf., 108 (1964) 72-73;
23. B. Schmidt, D. Hartmann, Dekontamination ³²P verunreinigter Glasgeräte mit Ultraschall, Atompraxis, 2 (1965) 65;
24. Britanski patent, 839402, jun 1960;
25. A. Sivyer, Ultrasonic cleaning of radium appliances, - Brit. J. Radiology, 34 (1961) 817-818;
26. Njemački patent, 1069791, Kl. 21g, 21/33, nov. 1959.;
27. O.A. Antony, Technical aspects of ultrasonic cleaning, - Ultrasonics, 1 (1963) 194-198.

Hvatač tampona - uređaj za dekontaminaciju velikih površina

B. Stojanović, R. Blagojević

1. Uvod

Prilikom rada sa radioaktivnim materijalom u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči dolazi do kontaminacije većih površina podova i zidova u laboratorijuma.

Ovakvo velike kontaminacije rjeđe su posljedica akcidenata - sa radioaktivnim materijalima, već najčešće nastaju prilikom remontnih radova na reaktorskim postrojenjima, na ćelijama za visoku aktivnost i na ćelijama za proizvodnju radioaktivnih izotopa.

U ovakvim slučajevima često nije moguće upotrijebiti mašine za pranje i čišćenje podova, pa se pribjegava ručnoj - dekontaminaciji.

Sve površine podova potencijalno izložene kontaminaciji u laboratorijama Instituta "Boris Kidrič" premazane su izolacionim slojem parketne masti, koja se veoma lako uklanja - trihloretlenom. Kontaminant se, uglavnom, zadržava u masnom izolacionom sloju, te kada se on ukloni, podloga ostaje čista.

Ranije se ovaj posao obavljao uglavnom ručno - tamponima - od vate namočenim u trihloretlen. Ovakav način dekontaminacije bio je veoma naporan za ljude koji su taj posao obavljali, jer se radilo u klečećem položaju, što je uz kombi nezon od plastične mase i gas-masku iziskivalo veliki fizički napor. S druge strane, u ovakvom položaju radnik je bio izložen većoj mogućnosti kontaminacije odjeće i otkrivenih dijelova kože lica i nešto većim dozama zračenja nego kada bi ovaj posao obavljao u stojećem stavu i sa rastojanjem.

Upotreba sredstava za rad na rastojanju koja smo izradili na osnovu podataka iz inostrane literature, pokazala se - kao nepodesna i nefunkcionalna.

Adaptacijom ručnog aparata za pranje poda tipa "Soger" dobili smo veoma pogodnu spravu koja znatno olakšava rad i - izvrsno zadovoljava sve uslove za primjenu postupka dekontaminacije trihloretlenom.

2. Opis uređaja

Adaptirani uređaj prikazan je na slici 1. Umjesto sunderaste gume, na kraju metalnog štapa, dugog 1,5 m, postavlja se metalna ploča u obliku ćirilskog slova "p", koja služi kao hvatač i sa nepokretnom pločom čini čeljust koja-

čvrsto drži zahvaćeni predmet, odnosno tampon.

3. Upotreba uređaja

Na slikama 1, 2 i 3 prikazane su faze upotrebe hvatača tampona.

Iz priloženih slika vidi se da radnik koji obavlja dekontaminaciju na ovaj način nema nikakav direktan kontakt sa kontaminiranom površinom ili tamponom. Rastojanje od kontaminirane površine koje omogućuje dovoljno dugačka drška hvatača dovoljno je da se prilično efikasno ostvari zaštita - rastojanjem.

Kada se radi o velikim zagađenim površinama, u posao se uključuje po nekoliko ljudi koji rade sa hvatalima tampona. U zavisnosti od stanja površine, sa jednim tamponom može se očistiti 3-5 m² površine, dok grupa od 6 ljudi može da za efikasno radno vrijeme očisti površinu od nekoliko stotina kvadratnih metara.

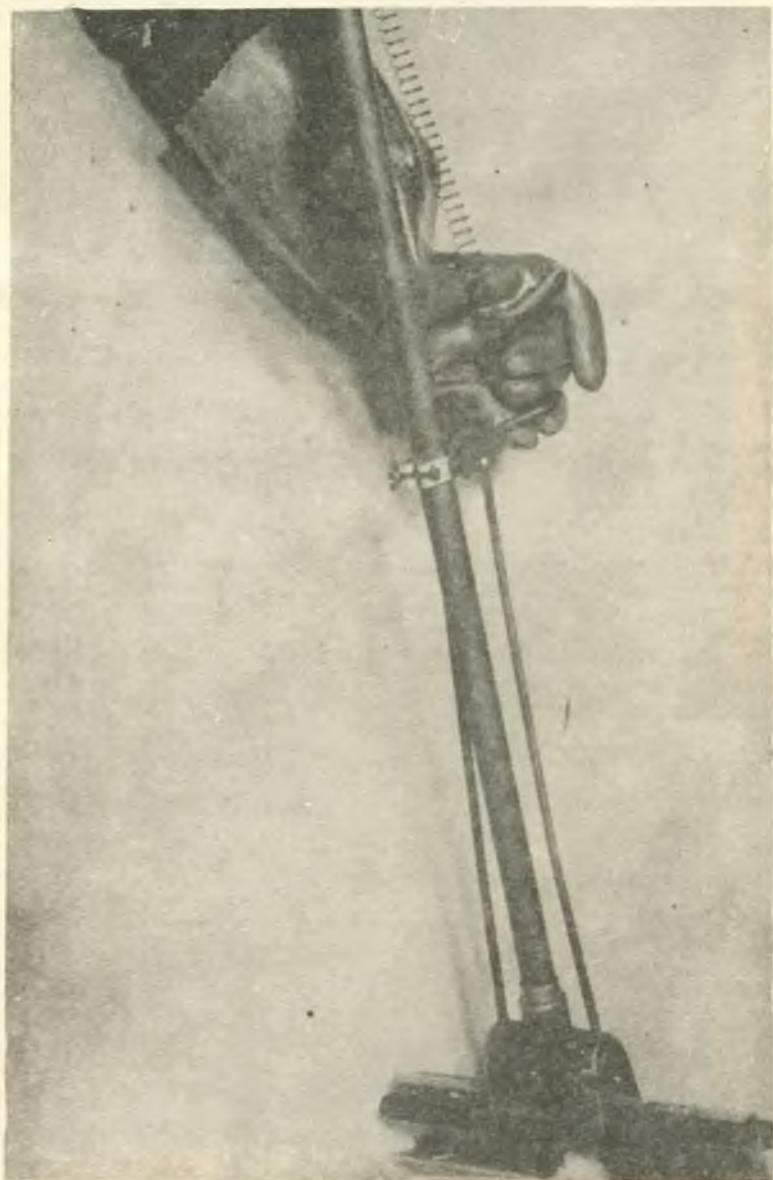
4. Zaključak

1. Opisani uređaj pokazao se u praksi kao veoma efikasno - priručno sredstvo, koje svojim osobinama omogućuje brzo - i lako čišćenje velikih površina;
2. ovaj uređaj je vrlo jeftin, a adaptacija komercijalnog "Soger" uređaja za čišćenje poda može se obaviti veoma lako u svakoj malo bolje opremljenoj priručnoj radionici;
3. mišljenja smo da, na osnovu našeg iskustva (poslije očišćenih 5-6.000 m² površine), možemo preporučiti ovako adaptiran uređaj za dekontaminaciju površina, sa uvjerenjem - da će svugdje naići na dobar prijem.

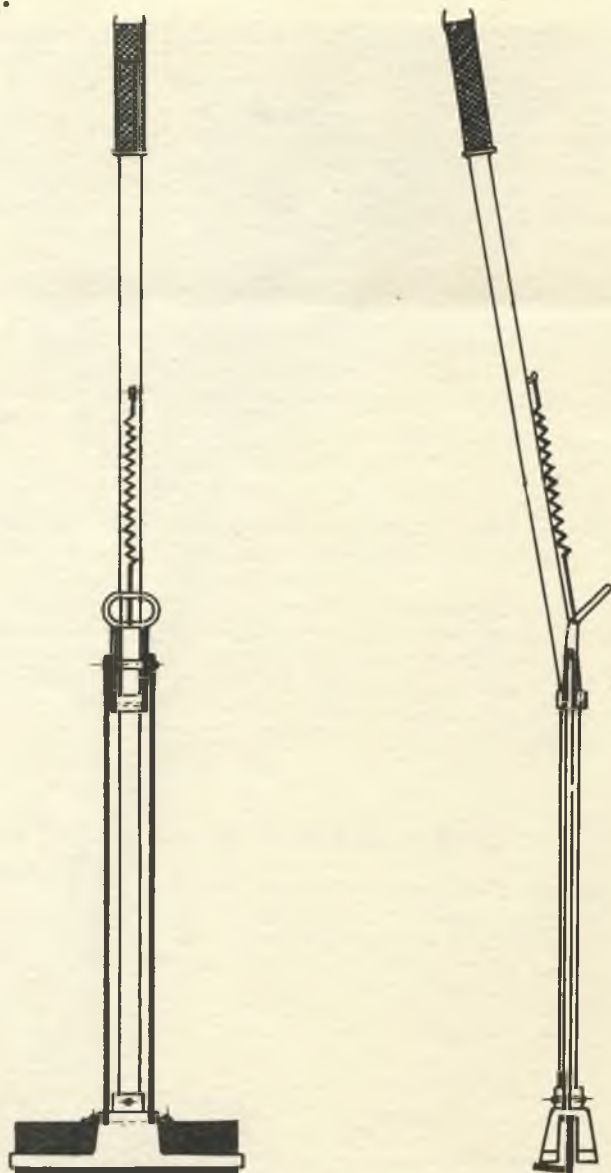
APPAREIL POUR LA DECONTAMINATION DE GRANDES SURFACES

On y a décrit l'appareil pour le lavage du plancher, nécessaire pour la decontamination de grandes surfaces. Le procédé d'adaptation est décrit plus largement les détails techniques sont donnés que la description de l'emploi de la machine.

Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.



Literatura:

1. Gordinskij S.M., Panfilova Z.E., Goldštejn D.S., Nosova L.M., Dezaktivacija sredstv individualnoj zaštiti i zaščitnih pokritij, Atomizdat, Moskva, 1964.

MOVIBON

tablete
čepići

antiemetik produženog djelovanja

kod

medikamentoznog i
postoperativnog povraćanja
mučnine i povraćanja nakon zračenja

1 tableta: 25 mg diadrila
50 mg vitamina B₆

1 čepić: 50 mg diadrila
50 mg vitamina B₆

oprava: 4, 20 i 100 tableta
10 čepića



PLIVA

TVORNICA FARMACEUTSKIH I KEMIJSKIH PROIZVODA
ZAGREB

HEMATOFOLIN

ampule

Kombinacija antianemijskih faktora koja omogućuje brzu i optimalnu regeneraciju eritrocita,

Perniciozna anemija i njoj slične hiperhromne anemije.

Leukopenija i granulocitoza usled zračenja ili primene izvesnih lekova.

Hepatitis, ciroza jetre, toksiinfektivna oštećenja jetre, usporena rekonvalescencija.

NOVANDROL

lingvalette

Sintetički androgen bez virilizirajućeg dejstva.

Opšti roborans.

Klimakterične tegobe kod žena, naročito kad postoji sklonost ka krvavljenju iz materice.

Sindrom hiperfolikulinemije.

Osteoporoza i senilna artropatija.

Paliјativno, kod karcinoma dojke kod mlađjih žena i u slučaju kad postoje metastaze u kostima.

Kao adjuvans prilikom dugotrajne terapije kortikosteroidima, citostaticima ili u toku radioterapije.

OLIGOVIT

dražeje

Fiziološki uravnotežena kombinacija hidrosolubilnih i liposolubilnih vitamina sa oligometalima.

U pedijatriji, hematologiji, gerontologiji, radiologiji, za supstitucionu terapiju u stanjima neadekvatne ishrane i patološkim poremećajima u kojima su potrebe za vitaminima i mineralnim solima povećane.



GALENIKA

FARMACEUTSKO-HEMIЈKA INDUSTRIЈA

BEOGRAD

AVAFORMAN

dražeje à 20
" à 100
amp. à 5x5 ccm.
" à 100x5 ccm.

objedinjuje optimalna svojstva spasmolitikuma Avacana sa pouzdanim analgetskim dejstvom Phenyl-dimethyl-pyrazolom-methylamino-metansulfanat- Natriumom.

Indikacije:

- za terapiju teških bolnih grčeva, napr.: kolika žučnih i mokraćnih puteva,
- kod angine pectoris,
- kod migrene itd.

JECTOFER

amp. à 10x2 ccm.
" à 100x2 ccm.

je intramuskularni preparat željeza, sa-
drži kompleks željeza-sorbitola-limunske
kiseline, 80% Jectofera apsorbira se di-
rektno u krvotok te dovodi do brzog po-
većanja koncentracije hemoglobina i do
brzog i osjetnog poboljšanja općeg sta-
nja pacijenta. Nema antigenih osobina.
Pokusna doza je nepotrebna. Ekstremno
dobra tolerancija.

Indikacije

- za vrijeme trudnoće i dojenja,
- kod ishrane ne obezbjedjuje potrebne količine željeza,
- kod pomanjkanja željeza uslijed krvarenja: menstruacije, povrijede, kronična krvarenja,
- poslije operativnih zahvata,
- kod diareje,
- kod intestinalnih oboljeñja.

ULCOSAN

kut. sa 20 kes. à 4 g.
boca à 65 g.

je novo sredstvo koje pretstavlja spe-
cifični lijek za tretiranje ulcusa i po-
vezanih digestivnih smetnji.

- Indikacije
- ulcus duodeni,
 - ulcus duodeni pepticum,
 - gastro-intestinalne smetnje.

Proizvodi: ***bosnalijek*** SARAJEVO

TVORNICA LIJEKOVA I KEMIJSKIH PROIZVODA

PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL WORKS

TELEFONI: 23-485, 23-552



Šumaprodukt

SPECIJALIZOVANO SPOLJNO-TRGOVINSKO PREDUZEĆE ZA
OTKUP, PROMET, PROIZVODNJU I PRERADU LJEKOVITOG
BILJA I ŠUMSKIH PLODOVA — S A R A J E V O

P r o i z v o d i : U SVOM LABORATORIJU "FITONIJA" U BLAŽUJU
OVE RENOMIRANE FARMACEUTSKE PREPARATE:

BERGOL dražeje slijedećeg sadržaja:
Belapan /Ukupni alkaloid iz
Belladonna Folia/..... 0.10 mg.
Ergotamin tartarat..... 0.30 mg.
Phenobarbiton..... 20.00 mg.

BERGOL je novi iskušani stabilizator nervnog siste-
ma, koji se upotrebljava: kod vegetativnih
smetnja raznovrsnih organa probavnog trak-
ta /ulkusna bolest, vegetativne smetnje že-
ludca i crijeva/ i kardiovaskularnog siste-
ma /srčana neuroza/. Kod vegetativnog pore-
mećaja endokrinog sistema /klimakterium, po-
većana tireodna funkcija itd./ Kod vege-
tativnih poremećaja i nervnih oboljenja.

**OLIVIN
GRANULAT** Čaj za sniženje povišenog krvnog pritiska sa-
stavljen u obliku granulata, u kojem su aktiv-
ni hipotenzivni principi ekstrahirani iz ma-
slinovog lišća.

I n d i k a c i j e: Renalne hipertenzije najraz-
novrsnije prirode. Esencijalne hipertenzije
raznovrsne geneze. Arteriosklerotične hiper-
tenzije sa ili bez povećanog holesterina. di-
jabetična hipertenzija.

**URSIN
GRANULAT** Čaj za dezinfekciju mokraćnih putova ovog sa-
stava: Uvae ursi folium pulv. 30%, Herniariae
herba pulv. 15%, Betulae folium pulv. 15%, Gra-
minis rhizoma pulv. 20%, Glycerhizae radix
pulv. 10%, Maydis stigmata pulv. 10%.

I n d i k a c i j e: subakutni i kronični cisti-
tis i pijelitis kao i prevencija infekcija mo-
kraćnih putova.

**RAMNA
GRANULAT** Čaj za čišćenje.
Sastav: Chamomillae flos pulv. 10%, Graminis
rhizoma pulv. 16%, feeniculi fractus pulv.
16%, Frangulae cortex pulvis 58%.

I n d i k a c i j e: Habitualna opstipacija i raz-
ni drugi oblici kronične opstipacije. Odličan
laksans bez privikavanja.



MEDIKOMERC

SARAJEVO — Maršala Tita ulica 30

PREDUZEĆE ZA UVOZ — IZVOZ I UNUTRAŠNJU
TRGOVINU MEDICINSKIM I FARMACEUTSKIM
PROIZVODIMA I MEDICINSKIM INSTRUMENTIMA

Obavještava

svoje cijenjene kupce: zdravstvene ustanove, domove
zdravlja, bolnice, laboratorije, kao i ostale zdrav
stvene institucije, da raspolaže sa bogatim asorti
manom i kvalitetom robe iz uvoza i domaće proizvod
nje i to:

medicinskim aparatima i instrumentima, labora
torijskim kemikalijama, laboratorijskim i elek
tromedicinskim aparatima, laboratorijskim stak
lom, zubarskim materijalom i bolničkom opremom.

Za sva obavještenja možete se obratiti
putem telefona:

Direktor	36-473
Sektor unutrašnje trgovine	25-461
Uvoz	36-471 i 36-473
Centralni magazin	23-776
Prodavnica i magazin zubarstva i kemikalija	24-939
Prodavnica medicine i laborat.	23-776
Telex:	41-160
Telegram: "MEDIKOMERC" Sarajevo	
Poštanski fah	90
Predstavništvo Beograd Ruzveltova 46	40-406

Vašom posjetom preduzeću „MEDIKOMERC“
uvjerićete se u kvalitet i asortiman robe

