

## MEDICINSKA ZAŠTITA

### *Dejstvo zračenja na živu materiju*

Ljudi i sva živa bića na zemlji stalno su izloženi uticaju radioaktivnih zračenja iz slobodnih prirodnih izvora koji se nalaze svuda u prirodi: u zemlji, vodi i vazduhu.

Zračenje koje dolazi iz viših delova atmosfere, iz kosmosa, zove se kosmičko. Zračenje iz zemlje potiče iz uranovih ruda i gasa radona koji se oslobađa iz uranovih soli. Prirodne radioaktivne vode potiču od rastvorenih elemenata koji se nalaze u njima, naravno u malim količinama. I ljudski organizam predstavlja izvor zračenja, jer se u njemu nalaze u tragovima radioaktivni elementi,

Tabela 36 — *Godišnje doze iz prirodnih izvora u miliradima*

|                       | gonade | osteociti |
|-----------------------|--------|-----------|
| Spoljni:              |        |           |
| kosmičko zračenje     | 28     | 28        |
| zračenje sa zemlje    | 47     | 47        |
| zračenje iz atmosfere | 2      | 2         |
| Unutrašnji:           |        |           |
| kalijum 40            | 19     | 11        |
| ugljenik 14           | 1,6    | 1,6       |
| radijum               | 2      | 38        |
| Ukupno:               | 100    | 128       |

kao što su: K-40, C-14, Ra-226 i prirodni Th, koji su deponovani u raznim organima. Sada, posle učestalih atomskih eksplozija, u ljudskom organizmu mogu da se nađu i Sr-90 i Cs-137.

Kolika je prosečna vrednost zračenja koju organizam prima od prirodnih izvora u toku jedne godine, vidi se iz tabele 36. U toj tabeli iznete su prosečne vrednosti. Međutim, u pojedinim delovima sveta postoje mesta gde su godišnje doze znatno veće, na primer, u Indiji (u Kerali) i Brazilu (u Gvarapari), gde doze zračenja iz zemlje iznose oko 830 milirema na čitavo telo godišnje. Takođe je poznato da na većim visinama dolazi do znatnog izražaja kosmičko zračenje.

Znatno veći značaj po ljudski organizam ima ozračivanje iz veštačkih izvora, kako u ratu, tako i u miru. U ratu radiološka opasnost dolazi od ozračivanja i kontaminacije koji nastaju kao posledica nuklearne eksplozije. U mirnodopskim uslovima primene nuklearne energije glavna opasnost dolazi od nuklearnih akcidenata i prekomerne upotrebe rendgenskih uređaja u dijagnostičke svrhe. Od glavnih mogućnih radioloških akcidenata, najvažniji su oni koji nastaju pri eksperimentalnim ozračivanjima uzoraka na reaktorima, neutronske generatore, remontu reaktora, radu akceleratora itd.

O prekomernoj upotrebi rendgenskih uređaja u medicinske svrhe, i to naročito za postavljanje dijagnoze, govori se veoma često na radiološkim kongresima. Prema podacima objavljenim na međunarodnom radiološkom kongresu u Kopenhagenu 1953. godine, pri radioskopiji grudnog koša pri jačini od 3 mA, doza se kreće od 3 r/min (60 kV, 3,5 mm Al) do 20 r/min (100 kV, 1,5 mm Al). Te doze nisu male. Imajući u vidu genetske efekte zračenja, očigledno je da radioskopsko ispitivanje predstavlja opasnost da dođe do oštećenja kod potomstva ispitivanih osoba.

*Mehanizam dejstva i biološki efekti.* Kao posledica osnovnog dejstva jonizujućih zračenja na živu materiju javlja se proces jonizacije u sredini kroz koju zračenje prolazi. Promene koje jonizujuća zračenja izazivaju pri-

likom prolaska kroz živu materiju mogu biti trajne ili privremene, što zavisi od više faktora.

Razlike u biološkom dejstvu pojedinih vrsta jonizujućih zračenja nastaju samo u kvantitativnom pogledu, dok su kvalitativne promene u živoj materiji kroz koju zračenje prolazi uvek iste bez obzira na vrstu zračenja.

Za dobijanje istog radiološkog efekta potrebne su različite doze  $\alpha$ , X,  $\gamma$  ili neutronske zračenja. Step en oštećenja zavisi kako od vrste i količine zračenja, tako i od stanja u kojem se živa materija nalazi u trenutku zračenja. Poznato je da su manja lica osetljivija na zračenje nego ona preko 50 godina starosti. Naročita osetljivost na zračenje zapažena je kod djece.

Jonizacija žive sredine je primarni fizičko-hemijski proces prenošenja energije zračenja na živu materiju. Jonizujuća zračenja, pre svega, menjaju tečnu sredinu organizma jonizacijom vode. Za živu materiju je karakteristično što promene izazvane jonizacijom predstavljaju samo početni period složenog kompleksnog procesa, u kojem primarna oštećenja povlače sa sobom čitav niz drugih disfunkcija žive materije, po obimu iznad početnih oštećenja.

Ova sekundarna oštećenja u biološkom i medicinskom pogledu mnogo su važnija od primarnih, jer postoji mogućnost da se na njih utiče. Terapijskim merama se sekundarna oštećenja menjaju i prekida lanac promena koje su počele jonizacijom sredine, čiji je kraj oštećenje ćelija i tkiva organizma.

Klinička manifestacija ovih oštećenja, sa svim simptomima, zove se akutna ili hronična bolest zračenja.

Radiološka reakcija žive materije može se podeliti na dva dela: na proces ekscitacije i jonizacije pod neposrednim dejstvom jonizujućeg zračenja — primarni efekat; i na niz daljih promena koje nastaju posle primarnog efekta, kada je prenošenje energije završeno i kada su se već dogodila primarna oštećenja žive materije. Ta oštećenja postaju uzrok daljih, dubljih i komplikovanijih poremećaja koji čine sekundarni efekat jonizujućeg zračenja.

Pod dejstvom jonizujućeg zračenja jonizuje se tečnost u organizmu i obrazuje slobodni radikali H, OH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> koji su veoma reaktivni i stupaju u reakciju sa živom materijom. Nastaje inhibicija fermentnih sistema, narušava se sinteza materija, izazivaju se degenerativne promene u ćelijama i dolazi do slabljenja procesa rasta i regeneracije tkiva. Dejstvom jonizacije, složeni molekuli belančevina, masti, ugljenih hidrata i drugih materija pretvaraju se u prostije, nesvojevne organizmu, materije koje izazivaju trovanje.

Zahvaljujući ovom saznanju o načinu dejstva jonizujućeg zračenja na živu materiju došlo je do upotrebe određenih zaštitnih hemijskih sredstava čija je uloga da smanje štetno dejstvo zračenja suzbijanjem slobodnih radikala.

Promene na organizmu, izazvane zračenjem, mogu da se ispolje neposredno posle zračenja ili da se pojave posle nekoliko dana, nedelja ili godina. Prve promene koje se javljaju neposredno posle zračenja ogledaju se u biohemijskim promenama ekskreta — aminoaciduriji (pojavi aminokiselina u mokraći), smanjenju broja krvnih elemenata i promenama u jedrima ćelija. Kasnije se javljaju: akutna ili hronična bolest zračenja, oštećenje očnog sočiva i druge pozne posledice, leukemija i genetske mutacije.

Između primarnog efekta zračenja (procesa jonizacije) i vremena kad promene postaju vidne, postoji vremenski razmak koji se zove latentni period. Pojave koje se ispoljavaju neposredno posle zračenja nazivaju se ranim, a one za čiju je pojavu potreban vremenski period od više meseci ili godina poznim pojavama.

*Opšte i parcijalno ozračivanje.* Kada je celo telo izloženo zračenju, govori se o opštem ozračivanju. Pri eksperimentalnom totalnom ozračivanju životinja, a i kod ljudi koji su bili totalno ozračeni pri eksploziji atomske bombe u Hirošimi i Nagasakiju, kao i pri akcidentima, zapaženo je da stepen oštećenja pojedinih organa nije bio isti. Ako se posmatraju promene koje nastaju, na primer, dve nedelje posle zračenja dozom od nekoliko

stotina rendgena, utvrdiće se da su pojedini organi i tkiva veoma oštećeni, dok su drugi samo delimično ili bez ikakvih znakova oštećenja.

Uopšte je poznato da postoje organi i tkiva koji su veoma osetljivi na jonizujuće zračenje i koji su neosetljivi, odnosno manje osetljivi na zračenje. Francuski naučnici Bergonije i Tribondo zapazili su ovu pojavu i ovako je definisali: tkiva i organi su osetljiviji na zračenje ako se nalaze na nižem stepenu embrionalnog razvoja, ako se u njima nalazi veći broj mitozna i ako su ćelije manje diferencirane. Suprotno ovome, ćelije i tkiva su rezistentniji na zračenje ako se sporije množe i ako su više diferencirani.

Zavisno od trajanja ekspozicije i intenziteta zračenja, manifestacije koje se javljaju posle opšteg ozračivanja organizma ispoljavaju se ili kao akutna ili kao hronična bolest zračenja.

Za razliku od opšteg ozračivanja, kada je celo telo ozračeno, kod parcijalnog veći ili manji deo tela ostaje uvek neozračen. Reakcije organizma na određene doze zračenja, kod parcijalnog ozračivanja, razlikuju se umnogome od onih kod opšteg. Ista količina zračenja izazvaće teže posledice na organizmu pri opštem ozračivanju nego kod parcijalnog. Pri zračenju tumora u unutrašnjosti organizma daju se velike doze, pri čemu vrlo često dolazi do teških oštećenja kože. Ako se na kožu iznad tumora stavi izbušena olovna ploča, X-zraci prolaze kroz otvore na ploči i ozračuju tumor, a kožne reakcije se javljaju veoma retko. Dovoljno je da deo površine kože bude zaštićen pa da cela njena površina postane manje osetljiva na zračenje. Ovaj fenomen, pri parcijalnom ozračivanju, naročito je poznat u eksperimentima sa životinjama. Ako se eksperimentalne životinje (pacovi, miševi) ozrače dozama od 700 do 850 r, nastupiće smrt u vremenu od 10 do 15 dana, a ako se pri istim uslovima zračenja zaštititi butna kost ili slezina, smrt neće nastupiti kod svih životinja.

Parcijalno ozračivanje se često događa pri radu sa radioaktivnim izvorima. Dozvoljene doze kod ovog zra-

čenja su mnogo veće za pojedine organe i delove tela nego pri ozračivanju celog tela. Tako je, na primer, neželjna dozvoljena doza za ozračivanje šaka, skočnih zglobova i stopala 1,5 r, dok je za celo telo samo 0,1 r. Kao što postoje razlike u osetljivosti na zračenje pojedinih tkiva i delova tela jednog istog organizma, isto postoje razlike u osetljivosti pojedinih životinjskih vrsta. Poznato je da su sisari najosetljiviji na zračenje. Srednja smrtna

Tabela 37 — srednja smrtna doza odraslih sisara za X i  $\gamma$ -zrake

| životinjska vrsta | srednja smrtna doza u radima |
|-------------------|------------------------------|
| zamorac           | 250                          |
| pas               | 340                          |
| koza              | 350                          |
| majmun            | 500                          |
| miš               | 500—700                      |
| svinja            | 550                          |
| pacov             | 600—700                      |
| hrčak             | 700                          |
| kunić             | 800                          |

doza za neke sisare vidi se na tabeli br. 37. Srednja smrtna doza za čoveka smatra se da je oko 300 r, odnosno 300—500 r.<sup>29</sup>

*Akutno i hronično ozračivanje.* Dosad su dobro poznati podaci pri opštem ozračivanju celog tela posle eksplozije atomske bombe nad Hirošimom i Nagasakijem 1945. godine, zatim posle probne eksplozije termonuklearne bombe na Maršalskim ostrvima 1954. godine, pri raznim nesrećama na reaktorima i rendgenskom ozrači-

vanju čitavog tela bolesnika obolelih od malignih bolesti.

Pod akutnim se podrazumeva ozračivanje celog tela ili većeg dela organizma gde se nalaze kritični organi, i to dovoljnom dozom kojoj se organizam izlaže nekoliko časova do nekoliko dana. Pri akutnom ozračivanju organizma postoji određena zakonitost u odnosu između primljene doze i težine oštećenja, odnosno kliničkih manifestacija koje se javljaju kao posledica ovakvog tipa ozračenja: što je doza zračenja veća, oštećenje je teže. Pored doze zračenja, efekat zavisi od brzine doze, vrste zračenja i stanja u kojem se nalazi organizam podvrgnut zračenju. Posledice koje izaziva akutno ozračenje kod ljudi mogu biti fatalne. Smrt može nastupiti trenutno,

<sup>29</sup> H. L. Andrews; Poltavec I. M. i sarad.

na primer, kod ozračenja vrlo visokim dozama od oko 100 000 r, a može nastupiti posle kraćeg ili dužeg, tzv. kritičnog perioda, na primer, dozama od 1000 r i više. Ozračenje može biti i kompatibilno sa životom za relativno dugo vreme posle samog tog akta. Prema krajnjem efektu koji navedene doze izazivaju, akutno ozračivanje može biti supraletalno, letalno i subletalno.

Široka primena radioaktivnih materija i izvora zračenja u industriji i medicini uzima sve više maha u savremenom svetu. Kad se izvori zračenja koriste u navedene svrhe, iako se poštuju pravila rada sa radioaktivnim izvorima i materijama, nije retkost da ipak dođe do izlaganja jonizujućem zračenju preko dozvoljene doze. Lekari rendgenolozi za vreme skopije, radiolozi prilikom aplikacije radioaktivnih igala i preparata u tkiva i telesne šupljine, lica koja rade na defektoskopiji, proizvodnji radioaktivnih izotopa, rudari u uranskim rudnicima itd. — svi se oni za vreme rada izlažu većem ili manjem ozračivanju.

Pod hroničnim ozračivanjem se podrazumeva izlaganje organizma manjim dozama zračenja kroz duži vremenski period, na primer, više meseci ili godina. Hronično zračenje je kumulativno i manifestuje se tek pošto u organizmu dođe do reakcije ćelija i tkiva. Pri ovakvom ozračivanju se obično radi o dozama nešto iznad dozvoljenih, a o kojima se često ne vodi dovoljno računa. Karakteristični efekti koji se javljaju kao posledica hroničnog ozračivanja su u prvom redu genetske promene na potomstvu ozračenih lica, ili hronična radijaciona bolest na ozračenim osobama. Prema opštim uslovima nastanka, hronično ozračivanje može da bude spoljnje, unutrašnje i mešovito.

*Spoljnje i unutrašnje ozračivanje.* Zavisno od položaja izvora jonizujućeg zračenja prema organizmu, ozračivanje može da bude spoljnje i unutrašnje. Kod spoljnjeg ozračivanja izvor zračenja se nalazi izvan organizma kao, na primer, rendgen-aparat, kobaltna bomba itd. Unutrašnje ozračivanje se sreće posle interne kontaminacije

radioaktivnim materijalima, bez obzira na puteve prodiranja u organizam.

Efekti, međutim, ne zavise samo od položaja izvora u odnosu na organizam, nego i od vrste i prirode zračenja. Poznato je da  $\gamma$ - i X-zraci i neutroni predstavljaju veliku opasnost kao spoljnji izvori zračenja zbog izuzetno velike prodorne moći, dok su  $\alpha$  i  $\beta$ -izračivači naročito opasni ako dođu u unutrašnjost organizma. Specifična jonizacija  $\alpha$  i  $\beta$ -izračivača je mnogo veća nego kod X i  $\gamma$ -zračenja i ta njihova osobina, u stvari, predstavlja glavnu opasnost prilikom prodiranja u ljudsko telo. Ako se  $\alpha$  i  $\beta$ -izračivači nalaze izvan organizma neće doći do oštećenja organizma zbog njihove male prodornosti.

$\alpha$ -zraci imaju vrlo malu prodornu moć i već ih površinski slojevi epiderma kože zaustavljaju i potpuno apsorbuju, te oni kao spoljnji izvori zračenja ne predstavljaju nikakvu opasnost za organizam.  $\beta$ -zraci imaju veću prodornu moć od  $\alpha$ -zraka, i površinski sloj epiderma ih ne zaustavlja, te prodiru dublje u tkivo i mogu da izazovu teža oštećenja kože. Nisu retki primeri da se pri neopreznom radu sa  $\beta$ -izračivačima javljaju opekotine na koži koje po izgledu podsećaju na opekotine od naglog sunčanja, a ako se radi sa jačim  $\beta$ -izvorima, može da dođe i do dubljih oštećenja kože.

Unutrašnje zračenje ima poseban značaj za organizam zato što, pored vrste zračenja, efekat zavisi i od hemijsko-toksičkih svojstava i afiniteta radioelemenata prema određenim tkivima.

Radioaktivne materije mogu prodreti u organizam organima za disanje, želudačno-crevnim putem ili kroz kožu, nepovređenu ili oštećenu. Bez obzira na koji način radioaktivni materijal dospe u unutrašnjost organizma, njegova radiotoksičnost je veoma važna zbog mesta gde se deponuje. Ako je zahvaćen organ koji reguliše funkciju hematopoeze — stvaranje krvi, na primer, i bolest do koje dolazi imaće naglašen karakter promene hematopoeze, itd. Težina oštećenja zavisi od vremena poluraspada radioelemenata, brzine eliminacije iz organizma,



selektivne koncentracije i vrste zračenja. Sva ova četiri faktora određuju tzv. biološko poluvreme radioelementa.

Od radioaktivnih materija unesenih u organizam, posebnu opasnost predstavljaju radijum, plutonijum i uran, zato što  $\alpha$ -izračivači imaju dugo vreme poluraspada i visoku radiotoksičnost.

*Somatski i genetski efekti zračenja.* Pojava somatskih efekata koje jonizujuća zračenja izazivaju na ljudima, direktno zavisi od veličine primljene doze i vremena ekspozicije. Po vremenu nastanka, somatski efekti mogu biti akutni i hronični. Akutni nastaju kada je celo telo naglo izloženo dejstvu visokih doza zračenja. Prvi put u istoriji čovečanstva, masovni akutni somatski efekti bili su ispoljeni u Japanu posle eksplozije atomskih bombi u Hirošimi i Nagasakiju avgusta 1945. godine. Osim ovih, akutni somatski efekti su zabeleženi posle nuklearnih akcidenata u raznim nuklearnim centrima, kada je došlo do naglog ozračivanja visokim dozama pri radu pored jakih izvora zračenja.

Akutni somatski efekti se ispoljavaju određenim kliničkim simptomima koji se zajedničkim imenom nazivaju akutnim bolestima zračenja. Od posebnog su značaja somatski efekti koji se javljaju posle ozračivanja žena u prvim nedeljama trudnoće. Smatra se da je najosetljiviji period trudnoće za žene, pa i sve životinje sisare vreme od oplođivanja do 6—7 nedelja. Eksperimentalno je na životinjama utvrđeno da ozračivanje ženki pre nego što se ugnjezdi plod dovodi do visokog procenta smrtnosti prilikom rađanja, ali ne i do nakaznosti. Ozračivanje u periodu stvaranja organa i udova izaziva delimično visoku smrtnost, ali i pojavu mnogih nakaznosti kod rođenih mladunaca.

Genetski efekti nastaju i kao posledice i akutnog i hroničnog ozračivanja, a po značenju daleko prevazilaze somatske. Za genetske efekte ne postoji prag-doza. Čelije u deobi pokazuju najveću osetljivost u početku profaze, tj. u toku pripreme za deobu. Ovaj period se poklapa sa fazom intenzivne sinteze nuklearnih kiselina koje su no-

sioci procesa deobe. Poznato je da se sinteza nuklearnih kiselina zaustavlja pod dejstvom zračenja, pa se osetljivost ove faze dovodi u vezu sa opisanim fenomenom. U toku kasnijih faza deobe (metafaza, anafaza i telofaza) osetljivost prema zračenju je smanjena. Izgleda da već formirani hromozomi nisu osetljivi na zračenje. Genetski efekat zračenja je proučavan na raznim vrstama živih bića i ukazuje na sledeće: broj mutacija je povećan pod dejstvom jonizujućeg zračenja; promene na hromozomima pokazuju tendenciju da se reprodukuju i da budu stalne; pojedinačne doze zračenja se u genetskom smislu akumuliraju u periodu rasplodne sposobnosti, te je genetski efekat ravan zbiru svih doza koje su do tada primljene; u pojavi mutacija postoji određen vremenski faktor — potrebne su najmanje tri generacije da bi se ispoljio mutageni faktor; mutacije ne moraju uvek da budu očigledne. One mogu biti biohemijske ili fiziološke prirode, ali su po pravilu nepovoljne za vrstu. Ako se posmatraju ćelije u deobi, posle zračenja zapažaju se ove promene: lepljenje hromozoma; prekid na nivou centromera; greške u stvaranju vretena; greške u spirilizaciji i odvajanju hromatida; prekid hromatida i hromozoma; stvaranje nuklearnih fragmenata. Prve četiri promene nazivaju se fiziološkim i javljaju se veoma brzo posle zračenja, traju nekoliko časova i ne izazivaju trajni poremećaj ni pojavu mutacija. Ako su jako izražene, mogu da izazovu smrt ćelije. Kod ovih poremećaja, brzina doze zračenja ima važnu ulogu. Prekid hromozoma može da nastupi pre nego što dođe do uzdužne podele na hromatide. Kada dođe do prekida hromozoma ili hromatida, postoje tri mogućnosti. Nastaje potpuna cikatrizacija i rekonstrukcija, fragmenti ostaju u nepromenjenom obliku ili se sjedinuju stvarajući nove kombinacije između hromatida-sestara ili nehomolognih hromatida.

Pri obrazovanju novih hromatinskih tvorevina, hromatinski materijal, koji je ušao u proces deobe, neće biti podjednako raspoređen na dve novostvorene ćelije i te ćelije neće imati iste osobine kao ćelija-majka od koje su potekle. Na ovaj način dolazi do pojave mutacija.

*Biološke osnove normi zračenja.* Za dobijanje što potpunijih normi sigurnosti pri radu sa izvorima jonizujućih zračenja, neophodno je poznavanje činjenica i faktora koji utiču na određivanje radiobioloških efekata. Radiobiološki efekti zavise od količine energije koju organizam apsorbuje, vremenske raspodele doze, topografske raspodele doze, vrste zračenja, prirode, odnosno svojstva zračenog tkiva. Štetni radiobiološki efekt zavisi od ukupne količine apsorbirane energije u određenoj zoni ćelije ili tkiva nekog organizma. Količina apsorbirane energije u pojedinim tačkama te zone je različita, te se mora bliže odrediti srednja vrednost za ukupnu apsorbiranu energiju zračenja u čitavoj ćeliji ili u svim zračenim mestima jednog organizma.

Iz iskustva je poznato da vremenska raspodela primljene doze ima veoma važnu ulogu u nastajanju radiobiološkog efekta i da je on obrnuto proporcionalan dužini ozračivanja. Doza koja prouzrokuje smrt organizma pri kratkom potpunom ozračivanju visokim dozama neće izazvati naglu smrt ako se jednakomerno prima tokom celog života, ali će izazvati povremeno starenje i više drugih posledica.

Radiobiološki efekat se znatno razlikuje ako je totalno zračenje nastalo od parcijalnog. Kod parcijalnog zračenja efekti tada zavise od toga koji je deo tela ozračen: efekat je sasvim različit ako se parcijalno zrači noga i, npr. trbuh.

Ista doza zračenja sa istom raspodelom u organizmu i primljena za isto vreme može da ima različite efekte, zavisno od vrste zračenja. Radiobiološka efikasnost zračenja je u direktnoj vezi sa specifičnom jonizacijom koja je različita za različite vrste zračenja. Na tabeli br. 38 nave-

Tabela 38 — *Relativne biološke efikasnosti za najčešća zračenja*

| vrsta zračenja          | RBE (relativna biološka efikasnost) |
|-------------------------|-------------------------------------|
| X, $\beta$ , $\gamma$   | 1                                   |
| termalni neutroni       | 2,5                                 |
| protoni i brzi neutroni | 10                                  |
| $\alpha$ -zraci         | 20                                  |

dene su relativne biološke efikasnosti za najčešća zračenja.

Podaci o RBE često se praktično koriste. Navedene cifre znače da se za postizanje istog štetnog efekta posle zračenja određenom dozom  $\alpha$ -zraka mogu uzeti 20 puta veća doza X ili  $\gamma$ -zraka.

Po osetljivosti pojedinih tkiva na dejstvo jonizujućeg zračenja izrađena je tabela (br. 39) u kojoj se vidi postupno opadanje osetljivosti.

Tabela 39 — Redosled radioosetljivosti pojedinih ćelija i tkiva

---

spermatogonije  
limfociti  
eritroblasti  
ostali hematopoetski elementi  
crevni epitel, želudac, debelo crevo  
koža  
centralni nervni sistem  
mišićne ćelije  
koštane ćelije  
koštano tkivo  
rskavica

---

Na osnovu poznavanja navedenih faktora i činjenica, izrađene su norme sigurnosti za rad sa radioaktivnim zračenjem. Maksimalno dozvoljenu dozu zračenja definisala je međunarodna komisija za radiološku zaštitu. To je doza koja ne izaziva nikakve posledice po život, a izražava se u remima.

Maksimalno dozvoljena doza kojoj se ljudski organizam može izložiti bez štetnih posledica iznosi 0,1 rem nedeljno, ili 5 rema godišnje. Formula za izražavanje ukupne doze za određeni period života, odnosno rada, predstavljena je izrazom  $D = 5(N-18)$  gde je D doza zračenja za računski period, a N godine starosti. Kada se na ovaj način odredi doza, nadležni organ zaštite uzima u obzir sve navedene eventualnosti i preduzima odgovarajuće mere (dozvoljava dalji rad, udaljava od izvora, upućuje na lečenje itd.). Za ograničeni period od

13 uzastopnih nedelja akumulisana doza može iznositi 3 rema, s tim da godišnja ne pređe 5 rema. Za delimično izlaganje delova tela (šake, stopala), maksimalno dozvoljena doza iznosi 1,5 rema nedeljno, odnosno 75 rema godišnje.

Pri opravkama nuklearnih postrojenja i uređaja koji usled kvara pojačano zrače, dozvoljeno je da lica koja učestvuju u radu prime veću dozu jonizujućih zračenja od dozvoljene, ali najviše 12 rema godišnje, pod uslovom da ovakve poslove ne obavljaju lica mlađa od 30 godina.

Za norme sigurnosti kod unutrašnjeg zračenja važe vrednosti koje se odnose na maksimalno dozvoljene koncentracije u vazduhu, pitkoj vodi i životnim namirnicama, a zavise od toksičnosti određenih radioelemenata.

### *Radiopatologija*

Nauka koja proučava patološke pojave u organizmu, nastale pod dejstvom jonizujućeg zračenja, naziva se radiopatologijom. To je relativno mlada nauka i zahvaljujući razvoju nuklearne energije dobija sve veći značaj, zato što primena nuklearne energije u nauci i industriji sadrži realne opasnosti za ceo živi svet, a za profesionalno izložene ljude posebno.

*Promene na koži.* Organizam čoveka i drugih sisara je obavijen omotačem koji ga štiti od štetnih uticaja različitih spoljnih faktora. Koža kao spoljni omotač ljudskog tela predstavlja prirodnu zaštitu organizma samo od  $\alpha$ -izračivanja koji imaju veoma malu prodornu moć. Opasnost se javlja jedino ako je koža povređena i  $\alpha$ -izračivači kroz krv uđu u organizam. Oštećenje kože izazvano zračenjem poznato je pod imenom radiodermita. Javlja se većinom kod lica zračenih u terapijske svrhe, zatim kod medicinskog osoblja koje primenjuje izvore zračenja u dijagnostici i terapiji, osoba koje nepažljivo rukuju radioaktivnim izotopima i lica koja su akcidentalno ozračena.

Radiodermiti se dele po vremenu nastanka u dve grupe. Prva, tzv. rani ili akutni radiodermiti, i druga, kasni i hronični. Rani ili akutni se javljaju posle jednokratnog ili višekratnog ozračivanja visokim dozama u kratkom vremenskom razmaku. Kasni ili hronični se javljaju posle ponavljanog ozračivanja malim dozama u toku od više meseci ili godina i obično predstavljaju oštećenja.

Rani ili akutni radiodermiti se javljaju od drugog do sedmog dana posle izlaganja visokim dozama zračenja. Vreme njihove pojave i karakter lezija zavise od veličine doze i vremena ozračivanja. Zajednička osobina akutnih radiodermita je pojava crvenila — eritema, kao prve reakcije kože na zračenje. Ovo crvenilo je u uskoj vezi sa dozom zračenja i javlja se posle određenog kraćeg ili dužeg latentnog perioda. Njegova rana pojava, veoma izražen intenzitet i evolucija ka višim morfološkim oštećenjima kože znače da je doza bila visoka. Prema izraženim morfološkim promenama razlikuju se tri stepena oštećenja kože: I stepen ili eritematozni radiodermis, II stepen ili bulozni radiodermis i III stepen ili ulcerozni radiodermis.

I stepen predstavlja najblaži oblik oštećenja kože zračenjem. Javlja se nekoliko dana posle ozračivanja dozom koja je dovoljna, najčešće posle 4—7 dana. Sličan je eritemu koji se javlja posle naglog sunčanja i karakteriše se crvenilom kože koja je topla. Subjektivno osećanje je praćeno lakim peckanjem i utiskom da je koža zategnuta. Po iščezavanju crvenila, koža je lako pigmentovana, a krajem treće nedelje počinje fino perutanje i koža postepeno dobija normalan izgled. U periodu perutanja koža je suva. Patohistološka slika nije karakteristična i promene su slične onima kod sunčanog eritema. Epiderm je bez izrazitih promena, dok derm pokazuje zapaljivu reakciju sa proširenim kapilarima i malim leukocitnim infiltratima, naročito oko znojnih žlezda i korena dlake.

II stepen — bulozni radiodermis — se javlja pri ozračivanju visokim dozama. Početak ovog stepena ošte-

ćenja kože veoma je sličan početku kod radiodermisa prvog stepena. Između prvog i petog dana javlja se crvenilo, ali za razliku od prethodnog, koža ubrzo dobija tamnocrvenu, gotovo ljubičastomodru boju. U ovom periodu bolesnik oseća da ga ozračeno mesto boli i svrbi, a takođe ima osećaj pećenja nalik na opekotinu plamenom. Istovremeno sa promenom boje opečene kože počinju da se javljaju i plikovi ispunjeni seroznom tečnošću. Izgled plikova veoma podseća na klasične opekotine drugog stepena. Kada puknu, iz plikova izlazi tečnost i pokožica se oljušti. Na mestima gde su se nalazili plikovi ostaje glatka, jako crvena ili sa beličastom nijansom površina, iz koje se cedi serozna tečnost. Epitelizacija počinje sa ivica i odvija se veoma lagano. Koža na mestu oštećenja postaje suva i beličasta, i tek posle nekoliko nedelja dobija normalan izgled. U izvesnim slučajevima klinički tok je drukčiji i mogu da se stvore rane. Histološka slika pokazuje oštećenje epiderma, naročito njegovog bazalnog sloja, čije su ćelije nekrotične. U dermu postoji otok koji dovodi do odvajanja istanjenog epiderma i pojave plikova.

III stepen — ulcerozni radiodermis — nastaje vrlo brzo posle ozračivanja visokim dozama. Razvija se već posle 48 časova i predstavlja najteži oblik akutnog radiodermisa. Na ozračenim mestima se javljaju veoma izraženo crvenilo i otok kože. Ubrzo se stvaraju rane koje duboko prodiru u tkivo i zahvataju sve slojeve. Pojava rana je praćena veoma intenzivnim bolovima. Rane su nepravilnog oblika, oštih ivica. Dno rane je pokriveno suvim žučkastim ili beličastim naslagama. Veoma sporo zarašćuju, a ukoliko se inficiraju, dolazi do apscesa. Proces zarašćivanja ovih rana je veoma spor usled čestih recidiva i zbog toga je za definitivno izlećenje potrebno više meseci, pa čak i godina. Ožiljci stvoreni na ovim mestima bele su boje i nepravilnog oblika. Koža u okolini je suva, jer su lojne i znojne žlezde potpuno uništene. Zbog poremećaja u ishrani kože dolazi do atrofično-sklerotičnih promena. Na histološkom preparatu se vidi duboka nekroza kojom su zahvaćeni svi slojevi kože.

*Promene na organima za varenje.* Organi za varenje su u celini veoma osetljivi na zračenje i njihovo oštećenje kod akcidentalnog ozračivanja celog tela je od presudnog značaja za život. Najosetljiviji deo organa za varenje je sluzokoža, i pojave na njoj približno su slične onima kod ozračivanja kože. Doza što dovodi do eritema koža izaziva u usnoj šupljini promene koje odgovaraju eritemu. Sluzokoža jednjaka je nešto rezistentnija na zračenje od sluzokože usne duplje. Sluzokoža tankog creva je najosetljivija od svih sluzokoža za varenje. Kad se radioaktivne materije unose kroz usta dolazi do direktnog ozračivanja želudačno-crevnih organa, a oštećenja koja nastaju zavise od vrste radioelemenata i njihove količine. Pri ozračivanju želuca najjače reaguje sluzokoža, i to sekretorni aparat. Čelije sluzokože pokazuju piknozu jedara. Kod ozračivanja manjim dozama, normalno uspostavljanje funkcije nastupa posle dvadesetak dana, dok kod većih doza dolazi do atrofije celokupne želudačne sluzokože. Prestanak mitotske aktivnosti je prva reakcija ćelija. Ukoliko nisu ireverzibilno oštećene, do regeneracije dolazi posle nekoliko dana. U slučaju ozračivanja subletalnim dozama, na sluzokoži želuca se pojavljuju rane koje mogu izazvati obilna krvarenja.

Creva predstavljaju najosetljiviji deo organa za varenje, izuzev debelog, koje je relativno otpornije na zračenje. Prilikom ozračivanja najviše su oštećeni sekretorni aparat i ćelije crevnih resica. Zavisno od veličine doze, mogu da se pojave rane koje narušavaju anatomsku građu zidova creva. Osnovni proces koji dovodi do ovih pataloško-anatomskih promena je difuzno zapaljenje epitela sluzokože. Rane koje se pojavljuju u crevima predstavljaju ulazna vrata za masovno prodiranje bakterija iz creva u krv. Oštećenja želuca i creva izazvana zračenjem odražavaju se na funkcionalno stanje ovih organa. Tako kod atrofičnih promena sluzokože želuca smanjuje se količina želudačnog soka i proizvodnja pepsina. Oštećenja tankog creva se klinički ispoljavaju poremećajem varenja i smanjivanjem crevne pokretljivosti. Ovi poremećaji su praćeni bolovima u trbuhu sa neodređenom



lokalizacijom, tzv. »migrirajući bolovi«. Kod difuznog ulceroznog enteritisa, koji se javlja posle letalnih doza zračenja, javljaju se krvavi proliivi, klinička slika akutnog abdomena i sepsa, kao posledica prelaska mikroorganizma kroz narušenu crevnu barijeru iz creva u krv.

*Promene na očima.* Očne jabučice sa konjunktivama dolaze u red radiosenzibilnih organa. Neutronska zračenja dovode do najtežih oštećenja. Prilikom akutnog ozračivanja pojavljuju se zapaljive promene na konjunktivi i rožnjači. Klinička slika se manifestuje veoma izraženim crvenilom konjunktiva. Pored ovih ranih promena na spoljnjim delovima oka, na sočivu se javlja zamućenje, za čiju je manifestaciju potreban kraći ili duži latentni period od više meseci. Histopatološka slika zamućenja očnog sočiva pokazuje da se radi o vakuolizaciji.

*Promene na polnim žlezdama.* Polne žlezde muškarca i žene spadaju takođe u red veoma radiosenzibilnih organa. Muške polne žlezde pokazuju veću osetljivost nego ženske. Ozračivanje polnih žlezda daje dvostruke efekte: somatske i genetske. Čelije testikula pokazuju varijacije u osetljivosti na dejstvo jonizujućeg zračenja. Skala njihove osetljivosti ide sledećim redom: spermatoцити prvog reda, spermatoцити drugog reda, spermatoгоније, spermatozoidi i Sertolijeve ćelije koje su relativno neosetljive. Kod osoba muškog pola, akcidentalno ozračeni većim dozama, dolazi do pojave azoospermije koja se dugo održava. U kasnijem periodu se javljaju oligospermija i nekrospermija. Ovakvo stanje dovodi do privremenog steriliteta koji zavisi od primljene doze zračenja, a može da se popravi posle dužeg vremenskog perioda.

Ako u predelu polnih žlezda dođe do lokalnog akcidentalnog ozračivanja muškarca dozom od 500—600 r, sterilitet koji posle toga nastaje je definitivn. Libido i potencija nisu za ovo vreme znatnije izmenjeni. Kod žena koje su bile izložene dejstvu većih doza zračenja dolazi do promena u menstruacionom ciklusu. Menstrualna krvavljenja su neredovna i dugo traju, a posledica toga je veoma izražena anemija. Na jajnicima dolazi do pore-

mećaja sa odgovarajućim promenama u generativnoj funkciji. Ovulacija izostaje kod većih doza, što drugim rečima znači da zračenje jajnika visokim dozama ima iste posledice kao i hirurska kastracija.

*Promene na krvotvornim organima.* Hematopoetsko tkivo spada među veoma osetljiva tkiva na jonizujuća zračenja, te je zato i svrstano u kritične organe. Laboratorijskim pregledima lica ozračenih visokim dozama utvrđeno je da brzo dolazi do oštećenja krvotvornih organa i elemenata periferne krvi. Citoliza, uz zaustavljanje deoba ćelija, osnovni je mehanizam zbog koga se smanjuje broj krvnih elemenata (citopenija) u perifernoj krvi.

Pored toga, broj ćelijskih elemenata se smanjuje i zbog promene u vremenu sazrevanja onih ćelija koje su u toku evolutivnog ciklusa, a ukupni vek trajanja ćelijske populacije koja je pretrpela zračenje je skraćen, te se brzo pojavljuje manjak, koji koštana srž i drugi hematopoetski organi nisu u stanju da nadoknade. Stepem smanjenja broja ćelijskih elemenata u perifernoj krvi zavisi od veličine doze, a brzina nastajanja ovog smanjenja od osetljivosti krvnih elemenata. Osetljivost elemenata periferne krvi ide sledećim redom: limfociti, retikulociti, granulociti, trombociti i eritrociti. Kod čoveka pri ozračivanju dozama od 500 do 700 r posle 24 h dolazi do znatnog smanjenja broja limfocita. Retikulociti praktično iščezavaju iz cirkulacije četvrtog do petog dana, granulociti pokazuju najmanji broj na kraju druge, odnosno početkom treće nedelje, a trombociti opadaju paralelno sa granulocitima. Broj eritrocita se smanjuje znatno kasnije s obzirom na njihov dugi vek života.

Navedene pojave u perifernoj krvi su posledica mnogobrojnih funkcionalnih i organskih promena koje se krvotvornim organima (koštanoj srži, slezini, limfnim žlezdama) događaju pod uticajem jonizujućeg zračenja.

Kod lica ozračenih visokim dozama, a umrla su u trećoj do pete nedelje posle ozračivanja, zapažena je izrazita atrofija limfnih žlezda i slezine i hipoplazija i

aplazija koštane srži, u kojoj su naročito zahvaćeni granulocitna loza i trombociti. Čelije retikuloendotelijalnog sistema su najotporniji elementi hematopoetskog sistema i iz njih se kasnije započinje regeneracija.

### *Kasne posledice na ozračenim ljudima i životinjama*

*Pojava malignih neoplazmi leukemije i fibroze koštane srži.* Kasne posledice oštećenja zračenjem predstavljaju, u stvari, hronične somatske efekte koje zračenje izaziva na živim organizmima. Prva zapažanja štetnog dejstva jonizujućih zračenja utvrđena su na koži lica koja su duže radila sa izvorima X-zračenja. Ove promene su dobile naziv hronični radiodermis koji može da se javi i kao posledica akutnog radiodermisa (tada se razvija ranije nego u prvom slučaju). Do pojave hroničnog radiodermisa često prođe više godina i najčešće se sreće kod lica profesionalno izloženih jonizujućem zračenju (radiologa, medicinskog i drugog osoblja koje radi sa izvorima zračenja). Kod profesionalno izloženih osoba, kožne promene su lokalizovane na rukama i to na leđnim stranama prstiju i šaka. Kod osoba koje rade sa  $\beta$ -izračivačima promene se javljaju na jagodicama prstiju. Prsti postaju osetljivi na temperaturne promene. Koža kod hroničnog radiodermisa ima karakterističan izgled. Suva je, gubi normalan reljef, nabori na jagodicama prstiju su zbrisani, Postepeno postaje atrofična i istanjena, zbog čega je lako podložna mehaničkim i hemijskim povredama. Pojavljuju se proširenja malih krvnih sudova i bradavičaste formacije, hiperkeratotične naslage. Nokti gube sjaj, postaju krti, lako lomljivi i sa uzdužnim pukotinama. Ako je uništen matični sloj oni otpadaju.

S obzirom na to da hronični radiodermis tokom spore evolucije mogu da pretrpe malignu transformaciju, hronične radiolezije se smatraju prekarceroznim stanjima. U slučaju maligne evolucije, rak kože koji se javlja,

najčešće je spinocelularni epitelion, ređe bazocelularni, a izuzetno sarkom<sup>30</sup>.

Rak na plućima je bio česta pojava kod rudara u uranskim rudnicima Šneberga i Joakimstala u Čehoslovačkoj. Ispitivanja izvršena 1939. godine su pokazala da je gotovo polovina rudara umrla od ove bolesti, jer je vazduh u galerijama rudnika sadržavao oko 30 puta veće koncentracije radona od onih koje se danas smatraju dozvoljenim.

Rak na kostima je zapažen kod radnika na poslovima u industriji svetlećih brojčanika, gde su kao materijal upotrebljavani radijum i torijum. Utvrđeno je da su radnici nepažnjom unosili radioaktivni materijal u telo, što je dovodilo do pojave raka na kostima i to najviše osteosarkoma donje vilice.

Leukemije se takođe javljaju kao kasne posledice dejstva jonizujućeg zračenja. Mogu da se jave posle jednog jedinog ozračivanja većom dozom ili posle češćih ekspozicija malim dozama. Statistička proučavanja u Americi pokazuju da procenat lekara radiologa umrlih od leukemije iznosi 4,7% a kod lekara drugih specijalnosti 0,5%, što je oko 10 puta manje. Ovaj podatak jasno ilustruje uticaj zračenja na pojavu leukemije. Pretpostavlja se da je u Hirošimi pri eksploziji atomske bombe bilo ozračeno oko 225.000 lica, a oko 173.000 u Nagasakiju. Učestalost pojave leukemije u oba ova grada je znatno veća nego u drugim gradovima. Između 1947. i 1957. godine zabeležena su u Hirošimi 83 slučaja leukemije, a preračunato je na 100.000 stanovnika za jednu godinu dobija se 8,9 slučajeva. Zapaženo je da se leukemija 10 puta češće javlja kod lica koja su se u trenutku eksplozije atomske bombe nalazila na području do 2 km od epicentra nego kod ostalih. Broj leukemičara u drugim gradovima u Japanu u ovom periodu je iznosio 1—2 godišnje na 100.000 stanovnika. Tabela 40 pokazuje da je

---

<sup>30</sup> Kao potvrda ovoga, zabeleženo je da je na klinici Majo u Americi 39 radiologa lečeno u toku poslednjih 20 godina od raka kože koji se pojavio na ožiljku radiodermita.

učestalost leukemije utoliko veća ukoliko su izložene osobe bile bliže epicentru eksplozije.

Dugotrajna zračenja malim dozama mogu da prouzrokuju dublje promene na unutrašnjim organima, slične onima koje se vide kod akutnog ozračivanja, ali bez ispoljavanja akutne bolesti zračenja. Naročito su izražene

Tabela 40 — Učestalost leukemije kod preživelih iz Hirošime

| godina pojave  | broj obolelih | udaljenost od centra eksplozije |           |           |           |             |
|----------------|---------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|                |               | manje od 1000 m                 | 1000—1499 | 1500—1999 | 2000—2999 | 3000—i više |
| 1945           |               |                                 |           |           |           |             |
| 1946           |               |                                 |           |           |           |             |
| 1947           | 3             |                                 | 1         |           | 2         |             |
| 1948           | 7             | 2                               | 4         |           | 1         |             |
| 1949           | 5             | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1           |
| 1950           | 9             | 3                               | 5         |           |           | 1           |
| 1951           | 11            | 3                               | 7         | 1         |           |             |
| 1952           | 11            | 3                               | 5         | 1         |           | 2           |
| 1953           | 12            | 2                               | 6         | 2         | 1         | 1           |
| 1954           | 6             | 2                               | 2         | 1         | 1         |             |
| 1955           | 8             | 1                               | 4         | 2         |           | 1           |
| 1956           | 5             |                                 | 1         | 1         |           | 3           |
| 1957           | 6             | 1                               | 3         |           | 1         | 1           |
| <b>Ukupno:</b> | <b>83</b>     | <b>18</b>                       | <b>39</b> | <b>9</b>  | <b>7</b>  | <b>10</b>   |

promene na krvotvornim organima. Koštana srž je potpuno lišena regenerativne sposobnosti, osiromašena, sa veoma malo krvnih elemenata. U perifernoj krvi se ispoljavaju znaci uporne i teške anemije, sa smanjenjem svih elemenata krvi. Ovakvo stanje odgovara fibrozi koštane srži koja predstavlja teško oboljenje, često sa fatalnim ishodom. Da bi se predupredilo ovo teško oboljenje, neophodna je redovna kontrola krvne slike lica koja su profesionalno izložena jonizujućem zračenju.

Zamućeno očno sočivo, katarakta, dolazi, takođe u red kasnih posledica oštećenja usled zračenja. Sovjetski autori

su katarakte izazvane zračenjem podelili na četiri tipa. Oni mogu da nastanu i posle naglog ozračivanja visokom dozom, a i kao posledica hroničnog ozračivanja malim dozama.

I tip: veoma rano i lako zamućenje, koje ne može da se utvrdi pri oftalmoskopiji. Ispitivanjem biomikroskopom zapaža se neravnomerno, mrljasto zamućenje, raspoređeno na zadnjoj kapsuli sočiva, sastavljeno od mnogobrojnih zrna.

II tip: zamućenje se sastoji od manje količine granulata u oblasti zadnjeg pola, ne opaža se pri bočnom osvetljenju, ali se dobro vidi pri oftalmoskopiji.

III tip: zamućenje zadnje kapsule se zapaža pri bočnom osvetljenju. Pri oftalmoskopiji na zadnjem polu se vidi intenzivno zrnasto zamućenje praćeno vakuolizacijom. Prednji deo grudvastog zamućenja se često vidi pod biomikroskopom. Mnogobrojna tačkasta, beličasta zamućenja se primetno razlikuju od fizioloških zamućenja sočiva. Ovaj tip zamućenja se pojavljuje na obema kapsulama i pruža se više prema periferiji.

IV tip: zamućenje na prednjoj kapsuli se opaža pri bočnom osvetljenju. Zadnje subkapsularno zamućenje može da se otkrije bilo kojom metodom. Pri oftalmoskopiji se zapaža poligonalno zamućenje, kristalasto ili neravnomerno difuzno u prednjoj subkapsularnoj oblasti i prednjoj kori. S obzirom na to da se katarakta izazvana zračenjem češće javlja kod mlađih osoba, da može biti obostrana i da vremenom dovodi do progresivnog gubitka vida, neophodno je da se takva lica odmah uklone sa poslova na kojima su izložena zračenju.

Prevremeno starenje i skraćena dužina života su posledice oštećenja bilo akutnim bilo hroničnim zračenjem. Zračenje znatno utiče na dužinu života ne samo izazivanjem malignih oboljenja (raka, leukemije) već i smanjivanjem opšte otpornosti organizma, favorizovanjem distrofičnih promena. Statistička ispitivanja na Kalifornijskom univerzitetu u Berkliju i Ouk Ridžu ukazuju da je skraćenje života veće za akutno ozračivanje nego za hronično. Kod akutnog iznosi 8 do 15 dana po jednom rend-

genu doze, a kod hroničnog ozračivanja malim dozama 3 do 6 dana po jednom rendgenu.

Poremećaji u generativnim funkcijama posle ozračivanja većim dozama javljaju se i kod ljudi i kod životinja. Da li će u toku života doći do privremene ili stalne sterilnosti, zavisi od veličine primljene doze u predelu polnih žlezda i vremena ekspozicije. Vršena su ispitivanja na eksperimentalnim životinjama koje su zračene malim dozama za duži vremenski period. Utvrđeno je da doza od 0,1 r dnevno dovodi do smanjenja broja spermatozoida, a doza od 5 r dnevno do potpune sterilnosti eksperimentalnih životinja.

### *Dijagnoza i lečenje radijacione bolesti*

Utvrđivanje primljene doze pri akutnom akcidentalnom ozračivanju celog tela predstavlja problem, jer od toga zavise i medicinske mere koje će se preduzeti. Procena veličine primljene doze zasniva se na sledećem: dozimetrijskim podacima dobivenim fizičkim merenjem, razvoju kliničke slike bolesti, kao i laboratorijskim nalazima, naročito biohemijskim i hematološkim.

Pri donošenju procene o veličini primljene doze neophodna je puna saradnja lekara i zdravstvenog fizičara. Lični dozimetri, koji se upotrebljavaju za redovnu kontrolu individualno primljenih doza, obično se ne mogu upotrebiti za merenje doza pri akcidentalnom ozračivanju, jer im je opseg merenja u većini slučajeva mnogo manji od ozračivanja u udesu. Rekonstrukcija uslova pod kojima se akcident odigrao: geometrijski uslovi zračenja, utvrđivanje neutronskeg spektra, odnos između  $\gamma$ - i neutronskeg zračenja, merenje indukovane aktivnosti ozračenih osoba itd. je zadatak fizičara koji treba da što preciznije odredi veličinu primljene doze.

Pojava ranih, opštih znakova razvoja bolesti zračenja: gađenja, povraćanja, proliva, temperature, opšte slabosti itd. u direktnom je odnosu sa veličinom primljene doze. Ovi se znaci utoliko ranije javljaju i jače su izraženi ukoliko je doza bila veća.

Pojava prvih opštih znakova oštećenja zračenjem pomaže da se na osnovu njihovog razvoja omogući postavljanje dijagnoze i približno utvrdi o kojem se obliku bolesti radi.

Za cerebralni oblik bolesti zračenja je karakteristično izostajanje latentnog perioda i brzi fatalni ishod koji nastaje u vremenu do 48 h od ozračivanja vrlo visokim dozama od 2000 r i više. Simptomi koji se javljaju kod cerebralnog oblika akutne bolesti zračenja su posledica teškog oštećenja centralnog nervnog sistema. Posle muke i povraćanja, koji su veoma intenzivni, brzo se javlja somnolencija — pospanost — koja uskoro prelazi u besvesno stanje, komu i smrt.

Želudačno-crevni oblik akutne bolesti zračenja ima isti početak kao i hematološki, ali se od njega razlikuje intenzivnijim povraćanjem, prolivom i kraćim latentnim periodom. Ovaj oblik akutne bolesti zračenja nastaje kad je doza ozračivanja oko 2000 r. Simptomi se javljaju već u prvom satu posle ozračivanja i celom kliničkom slikom dominiraju promene želudačno-crevnog trakta.

Kod hematološkog oblika hematološke promene omogućavaju relativno brzu orijentaciju o veličini primljene doze, jer postoji jasno izražena korelacija između smanjenja broja perifernih krvnih elemenata i težine kliničke slike bolesti. Pad belih krvnih elemenata, posebno limfocita, nastaje veoma brzo i može da posluži kao rani dijagnostički test. Smanjenje broja retikulocita je vrlo uočljivo, ali pošto se njihov broj ne može izraziti u apsolutnim vrednostima, a pored osetljivosti, ovaj test nije najpovoljniji za postavljanje dijagnoze. Pad granulocita napreduje brzo i progresivno. Kao jedan od ranih i pouzdanih testova je određivanje mitotskog indeksa koštane srži. Kod normalnih osoba on iznosi oko 1%, a kod doza od 250 do 300 rada, četvrtog dana posle ekspozicije pada na oko 0,1%.

Od biohemijskih nalaza izgleda da kvalitativno i kvantitativno izlučivanje aminokiselina, putem urina, najbolje izražava odnos između doze zračenja i odgovara-



jućeg efekta. Preporučuje se i od koristi je merenje izlučivanja urinom betaamino-izobuterne kiseline, kreatina i glikoze.

*Klinička slika akutne radijacione bolesti.* Kod ljudi ozračenih velikim dozama zapažaju se različite povrede i funkcionalni poremećaji koji zajedno čine kliničku sliku akutne bolesti zračenja. Skup svih simptona koji se tom prilikom ispoljavaju zove se akutni radijacioni sindrom. Oboljenje se izražava složenim kompleksom kliničkih simptoma kojima se održavaju patološki procesi u svim sistemima i tkivima.

Akutna radijaciona bolest se karakteriše kliničkim tokom koji se prema vremenu ispoljavanja znakova bolesti deli na četiri perioda-faze: period ranih reakcija, latentni period (period prividno dobrog stanja), period izraženih kliničkih simptoma i period oporavka.

Utvrdjivanje faze kliničkog toka, pored teorijskog, ima i veoma veliki praktičan značaj. Tako, na primer, transport povređenih i neophodne hirurške intervencije sprovedene u latentnom periodu ili po mogućnosti u prvoj fazi bolesti mnogo su efikasniji nego u trećoj fazi. Poznavanje vremenskog perioda toka bolesti omogućava ne samo da se pravovremeno odredi lečenje i da se blagovremeno sprovedu profilaktične mere. Prema izraženosti kliničkih simptona i težine toka bolesti razlikuju se četiri stepena akutne bolesti zračenja. Težina bolesti zračenja ne zavisi samo od primljene doze i lokalizacije nego i od reaktivnosti i osetljivosti organizma na zračenje. Naime, pri istoj dozi zračenja mogu uslediti funkcionalni poremećaji unutrašnjih organa različitog stepena, usled čega će se razviti i različita klinička slika bolesti zračenja.

I stepen — lakši oblik bolesti zračenja — obuhvaća lica ozračena dozom od 100 do 200 r. Prve reakcije se javljaju nekoliko časova posle ozračivanja u vidu glavobolje i slabosti, a može da bude bez ikakvih simptoma. U latentnom periodu, koji traje 4—5 nedelja, postoji umerena limfopenija i leukopenija. Teško je zapaziti jasnu granicu između pojedinih perioda. U fazi izraženih kliničkih pojava, leukopenija se ne spušta niže od 2000

do 3000 leukocita u  $\text{mm}^3$ . Izražena anemija i druge promene u krvi često se normaliziraju sa 2—3 nedelje. Bolesnik subjektivno oseća povremene glavobolje, vrtoglavicu, slabost i smanjenje apetita. Krvavljenja u vidu petehija na koži u sluzokožama su vrlo retka i pojedinačna. Funkcionalne promene organa i sistema su neznatno izražene, a najviše je izražena okolnost ka nastajanju proliva.

II stepen — srednje teški stepen bolesti zračenja obuhvata lica ozračena dozom od 200 do 300 r. Prve reakcije se javljaju u toku prvih 24 časa, a češće 3—5 č. posle ozračivanja u vidu uzbuđenja koje se brzo smenjuje apatijom i adinamijom; javlja se i uporna glavobolja. Prvog dana bolesti zapažaju se slabost, muka, povraćanje, odsustvo apetita i pojava proliva do 5 dnevno. Temperatura se povećava do  $37,5^{\circ}\text{C}$ . Javlja se i tahikardija i hipotonija. Drugog ili trećeg dana bolesti sve se ove pojave smanjuju i bolest prelazi u latentni period koji traje do 3 nedelje. U krvi se zapaža leukopenija od 1000 do 3000 neutrofilima, kao i umerena anemija. Pri kraju latentnog perioda zapaža se delimično opadanje kose sa glave. Kosa se znatno proređuje ili ispada u pramenovima. Potpuna ćelavost se samo ponekad zapaža. Period izraženih kliničkih simptoma počinje povišenom temperaturom  $38—38,5^{\circ}$  i pogoršanjem opšteg stanja. Ponovo se javljaju glavobolja, muka i povraćanje, a često i tečna stolica. Krv u stolici i mokraći može da se utvrdi samo mikroskopski. Tačkasta krvavljenja na koži se nalaze kod 10—15% obolelih, javljaju se posle 5—6 nedelja bolesti i imaju mili-jarni karakter. Retko se javljaju grizlice u usnoj šupljini i duž želudačno-crevnog puta.

Promene na sluzokoži su obično izražene u vidu otoka i zapaljenja. Funkcije jetre mogu biti narušene. Svi simptomi bolesti traju dva meseca.

Period oporavka počinje snižavanjem temperature, prestankom glavobolje i opštim poboljšanjem subjektivnog stanja. Postepeno iščezava zapaljenje sluzokože usta, a stolica se normalizuje. Dugo se zadržava naklonjenost ka želudačno-crevnim poremećajima.

III ili teški stepen se ispoljava neposredno posle ozračivanja ili 1—2 č. kasnije, a javlja se kod lica ozračenih dozom od 300 do 500 r. Period prvih reakcija traje 1—5 dana i karakteriše se uznemirenošću, glavoboljama, vrtoglavicom, ponekad i bunilom i meningealnim znacima. Javljaju se prolivi (10—20 u toku 24 č.), bol u želucu i štućanje. Hipersekrecija želuca u prvom periodu se brzo smanjuje smanjivanjem sekrecije, a katkad dolazi i do ahilije. U ovom periodu dolazi do adinamije, krajnje malaksalosti, smanjivanja mišićnog tonusa i pada krvnog pritiska. Ponekad se već u ovom periodu zapaža krv u mokraći, krvavljenje iz nosa i drugih organa. Od 2 do 5 dana posle ozračivanja nastaje latentni period koji se karakteriše slabljenjem svih simptoma, osim izražene opšte slabosti. Opšte stanje se popravlja, ali povišena temperatura, tahikardija i hipotonija mogu dalje da perzistiraju.

Period izraženih kliničkih simptoma nastupa posle 10—12 dana i traje do dva meseca. Ponovo se javljaju teške glavobolje, vrtoglavica, muka i povraćanje, zatim teško disanje, ubrzan rad srca, aritmija i pad krvnog pritiska. Jezik i sluzokoža usta postaju suvi, na njima se javljaju krvni podlivi, ragade i grizlice. Usled pojave grizlica u crevima, stolica postaje krvava.

Promene u nervnoj regulaciji i sekretornoj funkciji želudačno-crevnog puta veoma narušavaju resorpciju, što još više dovodi do iscrpenosti bolesnika. Javljaju se krvavljenja u svim organima i tkivima. Krvavljenja i smanjena otpornost organizma uslovljavaju pojavu sekundarne infekcije koja može da dovede do septičnog stanja. U celom toku bolesti se održava visoka temperatura od 39°C i sve se više izražavaju simptomi opšte intoksikacije.

U krvi se zapaža veoma izražen pad svih krvnih elemenata, krvnom slikom dominiraju limfopenija, leukopenija i trombopenija. Smrt može da nastupi zbog krvavljenja u organima važnim po život, paralize disanja ili centra za srce i krvotok ili od sekundarne infekcije, najčešće od zapaljenja pluća.

IV ili najteži stepen akutne bolesti zračenja javlja se kod lica ozračenih od 600 do 2000 r i više, ako je radijacija bila usmerena na mozak ili celo telo. Simptomi se ispoljavaju neposredno posle ozračivanja u vidu jake muke, neizdrživog povraćanja i proliva koji se brzo smenjuju somnolencijom, apatijom i krajnjom malaksalošću. Kasnije nastaju tremor, ataksija i somnolencija. Bolesnik je skoro stalno u besvesnom stanju, sa temperaturom koja se održava na 39—40°C i ostaje u tim vrednostima do smrti koja nastaje u komi posle jednog do dva dana, zbog poremećaja rada centra za disanje, srca i krvotoka. Ovaj stepen akutne bolesti zračenja je zapažen kod ozračenih u Hirošimi i Nagasakiju 1945. godine i pri akcidentu u Los Alamosu 1958. godine, kada je prvi put detaljnije razmotren i analiziran.

*Klinički tok i lečenje akutne radijacione bolesti zavisi od kliničkog oblika.* Akutni radijacioni sindrom se razlikuje od obične vrste povreda po tome što biološki fenomeni koji se odigravaju u organizmu nemaju kontinuiranu kliničku manifestaciju, tako da posle dramatičnog početka dolazi klinički-asimptomatski-latentni period. Neprekidno se događaju skrivene histološke promene, od vremena ekspozicije pa do pojave simptoma i, eventualno, do smrti.

Stvarno oporavljanje od početnih simptoma ne znači i potpuno biološko oporavljanje. Radijaciona povreda se sastoji kako iz ireparabilne tako i reparabilne komponente. Ireparabilna komponenta postoji do eventualne smrti, mesecima, pa i godinama kasnije i ima mnogobrojne manifestacije. Klinička slika akutnog radijacionog sindroma zavisi od primljene doze, i prema simptomima koji dominiraju kliničkom slikom ima tri tipa: cerebralni-moždani, želudačno-crevni i hematopoetski.

Cerebralni tip — nastaje kod direktnog ozračivanja glave ili celog tela visokim dozama od nekoliko hiljada rendgena i uvek je fatalan. Klinički tok ovog tipa akutne bolesti zračenja je prvi put detaljno opisan posle pomenutog akcidenta u Los Alamosu 1958. Kod ozračenog je 30 sekundi posle ozračivanja zapažena ataksija — nesi-

gurnost u pokretima, i dezorijentacija. On nije mogao da stoji bez tuđe pomoći. Pet minuta posle ozračivanja izgubio je svest, a posle deset minuta je bio u teškom šoku sa ružičastom bojom lica. Dvadeset pet minuta posle nesreće bolesnik je primljen na kliniku u polusvesnom stanju, sa slabom orijentacijom prema okolini. Na vežnjačama je zapažena izrazita hiperemija. Često se javljao nagon za povraćanjem, a deset minuta posle dolaska na kliniku javile su se tečne stolice. Krvni pritisak je bio 80/40, plus 160 u minutu.

Glavni zadatak u ovom periodu bio je preduzimanje mera protiv šoka. Bolesnik je dobio sredstva za umirenje i infuziju 5% dekstroze u fiziološkom rastvoru sa 20 ml. 10% kalcijum-glukonata. Kasnije je izvršena transfuzija plazme i pune krvi. Oko 2 časa i 15 minuta od ozračivanja nizak krvni pritisak i ubrzan rad srca su se i dalje održavali, temperatura tela je iznosila 39,4°C.

Pet časova posle ozračivanja, stanje povređenog je bilo nešto bolje. Bio je svestan, miran i dobrog raspoloženja. Broj leukocita u 1 mm<sup>3</sup> dostigao je maksimum od 28.000, a limfociti su u toku 6 časova nestali iz periferne krvi. Ovo se smatralo kao veoma loš prognostički znak. Smanjena količina mokraće je takođe bila veoma izražena. Iako je tokom bolesti bolesnik primio oko 14 litara tečnosti, za isto vreme je izlučio samo do 600 ml mokraće. U organizmu je došlo do naglog povećanja rest-azota, kao posledica poremećaja bubrežnog krvotoka i povećanog raspadanja ćelija.

Oko 30 časova posle ozračivanja opšte stanje povređenog se naglo pogoršalo. Pojavili su se sve jači bolovi u trbuhu, počela je da se javlja uznemirenost koja nije mogla da se suzbije nikakvim sredstvima za umirenje. Uznemirenost je u jednom trenutku prešla u nekontrolisano stanje i bolesnik je izvadio iglu iz vene. Krvni pritisak je u tom momentu iznosio 160/110. Bez obzira na davanje kiseonika, cijanoza se sve više pojačavala. Povređenom su dali sredstvo za spavanje. Međutim, on je došao u stanje slično komi i umro je oko 35 časova posle ozračivanja, zbog prestanka rada srca.

Želudačno-crevni tip akutne bolesti zračenja se javlja posle ozračivanja od 500 r i više, ali ne više od 2000 r. Klinički tok počinje simptomima koji karakterišu akutni radijacioni sindrom. Uznemirenost, strah, muka i povraćanje javljaju se ubrzo posle ozračivanja, dok se proliv javlja posle jednog časa ili nešto kasnije.

U celom toku bolesti dominiraju simptomi u vezi sa želudačno-crevnim putem. Prolivi i povraćanja su veoma učestani, zbog čega dolazi do velikog gubitka tečnosti i elektrolita. Zbog odsustva apetita, povraćanja i proliva, bolesnik počinje naglo da gubi na težini. Ovo se nastavlja u nešto manjoj meri i u latentnom periodu, koji je kratak i traje 5—10 dana.

U periodu prividnog smirivanja bolesti, bolesnik se oseća nešto bolje, jer se simptomi smiruju. Za to vreme mu se daje dijetalna ishrana, tečna ili kašasta, bez grubljih sastojaka, bogata vitaminima i belančevinama. Preporučuje se davanje manjih obroka, a posebno mlečna ishrana, na primer, jogurt, kiselo mleko, mladi sir itd. Kiselo mleko i jogurt su veoma važni zbog prisustva acidofilnih bakterija koje deluju povoljno na crevnu floru. Međutim, posle kratkog latentnog perioda, svi simptomi se ponavljaju sa još većim intenzitetom. Pored povraćanja i proliva, u truhu se javljaju bolovi bez određene lokalizacije. Na sluzokožama usta, jezika, želuca i creva, stvaraju se grizlice i iz njih otpočinje krvarenje. Zbog oštećene hematopeze smanjuje se broj limfocita, leukocita i trombocita, što se manifestuje pojavom infekcije i krvarenja iz svih organa i tkiva. Usled pojave sekundarne infekcije, temperatura naglo poraste. Kroz oštećenu crevnu barijeru bakterije prolaze iz creva u krvotok, te dolazi do baterijemije i septičnih stanja. U ovom periodu je neophodna primena antibiotika širokog spektra. Veliki značaj za sprečavanje sekundarne infekcije u latentnom periodu pridaje se nezi i dezinfekciji usne šupljine. Pre svakog uzimanja hrane preporučuje se ispiranje usta blagim dezinfekcionim rastvorima (bornom kiselinom, rivanolom, kalijum-permanganatom). Posle jela usta treba ponovo ispirati.

Pored simptomatske terapije u periodu manifestnih kliničkih simptoma daju se transfuzije krvi, plazme i leukocita. Međutim, sve te mere ne mogu da utiču na regeneraciju crevnog epitela. Usled difuznog oštećenja crevnog epitela dolazi do poremećaja svih funkcija želudačno-crevnog puta. Smrt nastupa zbog teške intoksikacije i komplikacija kod organa za varenje u vremenu od dve do tri nedelje posle ozračavanja, zavisno od primljene doze.

Hematopoetski oblik akutne bolesti zračenja nastaje kod lica ozračenih dozom od 400 do 800 r. Odlikuje se aplazijom koštane srži i pancitopenijom. Veruje se da regeneracija koštane srži nije mogućna posle doza koje dovode do ozbiljnog želudačno-crevnog sindroma.

Posle ozračivanja navedenom dozom, prvi simptomi se pokazuju posle nekoliko časova. Na koži se javlja crvenilo, a konjunktive su takođe jače crvene. Opšti simptomi su: muka, gađenje i povraćanje. Izraženost prvih simptoma može da dostigne maksimum posle 6—12 časova od ozračivanja, a zatim otpočinje smirivanje, a posle 24—36 časova simptomi mogu da iščeznu. Ovaj prodromalni period je u vezi sa brzim periodom nekroze radiosenzitivnih tkiva i može da rezultira iz cirkulirajućih toksina koji imaju histaminske odlike. Ispitivanjem periferne krvi za vreme prvih nekoliko časova posle ozračivanja uočila se izražena leukocitoza, sa relativnom i apsolutnom limfopenijom.

Latentni period traje 2—3 nedelje i sem opadanja kose, koje se javlja od 15 do 20 dana, nema drugih vidljivih znakova oštećenja. Opšte stanje ozračenih je relativno dobro, što je u suprotnosti sa hematološkim nalazima, kožnom reakcijom i promenama na unutrašnjim organima. Mnogi japanski vojnici su se u periodu relativno dobrog stanja vratili na dužnost, da bi kasnije u periodu manifestacije bolesti umrli od pancitopenije.

U latentnom periodu se zapaža progresivno smanjivanje broja formiranih elemenata krvi. Naročito se jako smanjuje broj limfocita, zatim se postepeno smanjuje broj granulocita i trombocita. Broj crvenih krvnih zrnaca značajnije se smanjuje u periodu izraženih kliničkih sim-

ptoma. Broj limfocita se spušta do nule za prvih pet dana. Retikulociti potpuno iščezavaju u toku prvih nekoliko dana posle ozračivanja, a u drugoj nedelji se započinje retikulocitna kriza.

Posle završetka latentnog perioda nastaje period izraženih kliničkih simptoma i on obuhvata 4—7 nedelja. Opšte stanje se naglo pogoršava, dolazi do gubitka apetita, povraćanja, profuznog noćnog znojenja i temperature. Pojava ovih simptoma ukazuje na gotovo potpunu aplaziju koštane srži. Krajem četvrte nedelje javlja se poremećaj hemostaze. Za vreme pranja zuba dolazi do krvavljenja iz nosa i desni. Na koži i sluzokožama se javljaju tačkasta krvarenja. Poremećaj hemostaze je posledica veoma smanjenog broja trombocita i smanjene aktivnosti protrombina, akcelerina i konvertina.

Pri pregledu koštane srži može da se utvrdi njena regenerativna sposobnost na osnovu nekoliko pokazatelja. Na primer, ako se u koštanoj srži u prva 3—4 dana dođe do neznatnih kvantitativnih morfološko-funkcionalnih poremećaja, ili, ako između dva i osam dana dođe do znakova abortivne regeneracije (prolazan porast mitotičkog indeksa sa mnogo patoloških mitozama i stvaranja nenormalno velikih ćelija). Ovo se u perifernoj krvi odražava u »usporenom padu trombocita« koji je sporiji nego što bi se moglo pretpostavljati, imajući u vidu njihovo trajanje u krvotoku (6—7 dana). Regeneraciju koštane srži treba očekivati ako posle tri nedelje počne da raste mitotički indeks raznih tipova ćelija koštane srži, što ukazuje na njihovo obnavljanje.

Spontana regeneracija koštane srži nije verovatna, ako se u prva četiri dana pokažu teški morfološki poremećaji u njenim ćelijama i ako broj granulocita, trombocita i eritrocita opadne proporcionalno trajanju njihovog sazrevanja i preživljavanja.

Iz stečenog iskustva pri lečenju hematološkog oblika akutne bolesti zračenja izlazi da je neophodno simptomatsko i specifično lečenje u specijalizovanim ustanovama. U prvom periodu bolesti treba preduzeti sve mere asepse i antiseptičke, obezbediti potreban mir, uz perma-



nenčno praćenje promene broja elemenata periferne krvi. U kritičnom periodu bolesti anemija se brzo popravlja davanjem transfuzije celokupne krvi ili samo opranih eritrocita. Hemoragični sindrom se suzbija transfuzijama trombocita. Te transfuzije dovode do poboljšanja kliničke manifestacije sindroma — zaustavljaju krvarenje. U slučaju fibrinolize daje se fibrinogen, a kod smanjene aktivnosti protrombinskog kompleksa — veće količine vitamina K. Antibiotici se daju samo kod ispoljenih infekcija, a biraju se prema antibiogramu. Za sprečavanje gljivičnih infekcija preporučuje se primena mikostatika. Za povećanu otpornost organizma u fazi infekcije mogu se davati  $\gamma$ -globulini naročito ako im je nivo smanjen u serumu. Kod upornih febrilnih stanja mogu se davati preparati kortiko-steroida.

U slučajevima aplazije koštane srži daje se transfuzija ćelija koštane srži, pri čemu treba strogo voditi računa o potpunoj podudarnosti krvi davaoca i primaoca. Ta transfuzija omogućuje obolelima da prežive najkritičniji period bolesti, dok ne nastupi oporavljanje sopstvene koštane srži.

*Rehabilitacija ozračenih.* Prema dosadašnjim iskustvima, ozračivanja do 100 r ne izazivaju teže posledice u smislu bolesti, sem lakog zamora. Ovakve osobe mogu nastaviti da rade uz lekarsku i hematološku kontrolu svakog šestog meseca. Pošto je smrtnost kod cerebralnog i želudačno-crevnog oblika akutne bolesti zračenja uvek stoprocentna, ostaje samo pitanje rehabilitacije ozračenih koji su preležali hematopoetski oblik akutne bolesti zračenja. Prema podacima prikupljenim posle akcidenata u raznim nuklearnim centrima, period rekonvalescencije ozračenih kreće se od 3 meseca do oko 3 godine. Ovaj vremenski period zavisi direktno od primljene doze i individualne osetljivosti organizma prema zračenju. Posle završenog kliničkog lečenja bolesnicima se dozvoljava slobodno kretanje i boravak u mestima gde mogu da postignu što bolju psihičku i fizičku rekreaciju. To su obično klimatska mesta sa umerenom nadmorskom visinom. Radi utvrđivanja daljeg oporavka povremeno se ispituju peri-

ferna krv, koštana srž, biohemijski sastav krvi i mokraće i funkcije jetre i bubrega. Pored toga, sprovode se i oftalmološki i neuropsihijatrijski pregledi. U ovom periodu se zapaža postepeno normalizovanje funkcija svih sistema. Najduže se održavaju smetnje želudačno-crevnog puta i još duži vremenski period, a pri uzimanju grublje hrane pojavljuju se muke i laki bolovi u trbuhu. Kod muškaraca se dugo održava poremećaj u spermatogenezi sa tendencijom ka sporom normalizovanju broja spermatozoida. Kod žena se dugo održava poremećaj u menstrualnom ciklusu. U ovom periodu se još povremeno javlja glavobolja. Lak zamor i smanjena radna sposobnost traju do kraja perioda rekonvalescencije, posle čega se preporučuje promena radnog mesta ili prekvalifikacija. Neobično je važno da lica koja preleže akutnu bolest zračenja do kraja života ne dođu u situaciju da rade sa izvorima zračenja zbog mogućih manjih ozračivanja.

### *Hemijska sredstva zaštite od jonizujućih zračenja*

U traženju odgovora na pitanja kako dolazi do oštećenja organizma zračenjem, kojim mehanizmom jonizujuće zračenje deluje na živi organizam, postavljeno je nekoliko teorija. Među njima dominiraju dve koje su dobile i najviše eksperimentalnih potvrda. To su teorija mete i teorija slobodnih radikala, a nazivaju se teorija direktnog i teorija indirektnog dejstva zračenja.

Primena hemijskih supstanci radi zaštite živih organizama od oštećenja jonizujućim zračenjem bazira se na nekim bitnim postavkama teorije indirektnog dejstva zračenja. Prema teoriji slobodnih radikala, proces oštećenja organizma zračenjem odvija se u dve faze. Prva se karakteriše nastajanjem tzv. slobodnih radikala, vrlo reaktivnih hemijskih supstancija koje nastaju dejstvom zračenja na tkivne tečnosti, slično procesu koji prati dejstvo zračenja na vodu. Druga faza oštećenja organizma je dejstvo slobodnih radikala na pojedine centre i neke supstancije iz sastava ćelije koje su često nosioci važnih vitalnih funkcija.

Dva su momenta bitna u procesu oštećenja organizma zračenjem: uloga kiseonika u procesu nastajanja slobodnih radikala i reakcija slobodnih radikala sa vitalnim konstituentima ćelije usled čega se narušavaju normalni biohemijski procesi. Polazeći od ovako uprošćenog shvatanja mehanizma dejstva zračenja, pitanje zaštite od zračenja svodi se na dva osnovna cilja: smanjenje tenzije kiseonika, ili inaktivaciju slobodnih radikala pre nego što stupe u reakciju sa konstituentima ćelije. Drugim rečima, ili smanjiti mogućnost nastajanja slobodnih radikala smanjivanjem tenzije kiseonika, ili sprečiti drugu fazu procesa oštećenja organizma reakcijom hemijskog sredstva sa slobodnim radikalima, odnosno prolaznom blokadom vitalnih ćelijskih konstituenata unetim hemijskim sredstvom.

Među mnogim hemijskim sredstvima najsvestranije su ispitana, u smislu zaštite organizma od jonizujućeg zračenja, ona koja imaju SH-grupu, poznata pod imenom sulfohidrilnih jedinjenja. Osnovu za obimna i intenzivna ispitivanja ove grupe hemijskih supstancija pružili su danas već klasični radovi Barrona. Radeći sa rastvorima nekih enzima, ovaj autor je dokazao da se primenom SH-jedinjenja mogu ne samo zaštititi neki enzimi od dejstva zračenja već i reaktivirati zračenjem inaktivisani enzimi *in vitro*.

Među SH-supstancijama najviše i najdetaljnije su ispitivani: cistein, cistin, cisteamin, cistamin, glutation, tiourea i mnogobrojni derivati ovih supstancija, među kojima svakako dominira po značaju AET (aminoetil-izotiouronijum). Cisteamin, koji je hemijski amin aminokiseline sicteina, obrađivan je ili pod imenom becaptan (beta-merkaptotetil-amin) ili MEA (merkaptotetil amin).

Izuzev cistina, sva pobrojana hemijska sredstva pružala, su zavisno od eksperimentalnih uslova, visok stepen zaštite eksperimentalnih životinja od dejstva zračenja. Zajednička karakteristika njihovog delovanja je u tome što ne sprečavaju razvoj primarnih promena niti smanjuju intenzitet tih promena, ali su kod šticećenih životinja procesi reparacije raniji i intenzivniji. Ispitujući zaštitno

delovanje pojedinih preparata na miševima ozračenim dozom od 700 r Bacq, i drugi autori došli su do efikasnosti pojedinih preparata (na tabeli 41).

Naročito visok stepen zaštite od jonizujućeg zračenja ostvaren je primenom AET-a. Po mišljenju nekih autora ovaj je preparat, pri istoj molekularnoj koncentraciji, tri puta efikasniji od MEA.

Tabela 41 — Efikasnost pojedinih preparata

| supstancija                 | broj preživelih životinja od 10 | inicirana količina u M |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| cisteamin (Becaptan, MEA)   | 9,7                             | $4 \times 10^{-5}$     |
| cistein                     | 3                               | $4 \times 10^{-5}$     |
| homocistein                 | 5                               | $4 \times 10^{-5}$     |
| glutation                   | 4                               | $4 \times 10^{-5}$     |
| merkaptotiazolin            | 5                               | $0,7 \times 10^{-5}$   |
|                             | 4                               | $4 \times 10^{-5}$     |
| merkaptobenzotiazol         | 10                              | $4 \times 10^{-5}$     |
| cistamin                    | 10                              | $2 \times 10^{-5}$     |
| SN-diacetil-merkaptotilamin | 1—9                             | $4 \times 10^{-5}$     |
| S-metil-cisteamin           | 3                               | $12 \times 10^{-5}$    |

Vrlo pozitivni rezultati ispitivanja mogućnosti hemijske zaštite od jonizujućih zračenja kod eksperimentalnih životinja doveli su na ideju da se pokuša sa primenom cisteamina u humanoj praksi. Cisteamin je izabran zbog toga što je u eksperimentalnim ispitivanjima pružio visok stepen zaštite i što je to supstancija koja nije strana organizmu, jer se stavlja kao njegov normalni konstituent. Grupa belgijskih istraživača pokušala je primenu cisteamina radi suzbijanja simptoma koji se javljaju pri terapiji zračenjem, zbog kojih se lečenje mora prekinuti. Pokušaji su dali vrlo dobre rezultate pa autori smatraju da nema nikakve smetnje da se protiv bolesti zračenja upotrebe cisteamin ili cistamin, pod uslovom da se injiciraju posle zračenja. Autori smatraju da se radi o metaboličkom dejstvu ovih amina.

U istom cilju grupa sovjetskih istraživača primenila je aminazin i strihnin-nitrat kod bolesnika koji su lečeni od kancera genitalnih organa kombinovanom radijum-metodom. Zabeležena je manja pojava simptoma radijacione bolesti, niži stepen leukopenije i limfopenije. Autori smatraju da se strihnin-nitrat može upotrebiti radi sprečavanja nezgoda za vreme lečenja velikim dozama jonizujućeg zračenja. Upotrebljen je 0,1% rastvor strihnin-nitrata.

Ispitivanja zaštitnog delovanja SH-supstancija i njihovih derivata nedvosmisleno su pokazala da su ta sredstva efikasna jedino pod uslovom da se u momentu ozračivanja nalaze u organizmu u dovoljno visokoj koncentraciji, a to znači da se moraju upotrebiti pre zračenja. Štaviše, samo aplikacija neposredno pre zračenja obezbeđuje visok stepen zaštite. Ukoliko je vremenski interval između aplikacije i ozračivanja duži, utoliko je stepen zaštite manji. Eksperimentalna ispitivanja zaštitnog delovanja AET-a najbolje su pokazala njegovu zavisanost od vremena kad je apliciran (tabela 42). Ovaj momenat znatno umanjuje praktični značaj rezultata eksperimentalnih ispitivanja zaštitnog delovanja SH-supstancija. Mnoge od njih su vrlo toksične ako se upotrebe

Tabela 42 — Zaštitno delovanje AET prema vremenu aplikacije

| tretman  | vreme injiciranja pre zračenja | broj životinja | procenat preživljavanja |
|----------|--------------------------------|----------------|-------------------------|
| kontrole | —                              | 366            | 50                      |
| AET      | 15 min                         | 50             | 100                     |
| (8,0 mg) | 30 min                         | 50             | 88                      |
|          | 60 min                         | 50             | 92                      |
|          | 2 h                            | 50             | 86                      |
|          | 3 h                            | 50             | 80                      |

u većim količinama. Štaviše, i količine koje se smatraju dozvoljenim i efikasnim pokazuju izvesna štetna dejstva. Tako je ustanovljeno da MEA oštećuje jetru, a cistein bubrege. Kombinovanjem ova dva preparata mogu

se izbeći njihova pojedinačna štetna delovanja. Najpogodnijom se smatra kombinacija NEA 100 mg/kg i cisteina 500 mg/kg.

Što se tiče mehanizma delovanja SH-supstancija, po mišljenju mnogih autora, kompeticija za slobodne radikale sa radio osetljivim delovima ćelije javlja se kao najopštiji mehanizam. Po mišljenju Bacqa, najbolja interpretacija preživljavanja ozračenih glodara pod dejstvom cisteamina, cisteina, a možda i drugih zaštitnih sredstava, mogla bi biti sledeća: zaštitno sredstvo smanjuje citolitičko destruktivno dejstvo jonizujućeg zračenja u slezini i koštanoj srži, koje su u stanju 2—3 dana posle zračenja nesamo da se aktivnije regenerišu već i da pruže organizmu jedan ili više faktora regeneracije.

Činjenica da je cistein neaktivan ili manje aktivan u odsustvu kiseonika dovodi do zaključka da deluje i smanjivanjem intracelularne tenzije kiseonika. U prilog ovom mišljenju govori i činjenica da se cisteamin pokazao kao izvrsno zaštitno sredstvo prilikom trovanja životinja čistim kiseonikom. Po mišljenju Patta, zaštitno delovanje cistamina trebalo bi pripisati tome što utiče na oslobađanje histamina, ako se injicira u venu ili potkožno. Bacq osporava ovakvu interpretaciju mehanizma zaštitnog delovanja cistamina, a Lecompte pripisuje cisteaminu i cistaminu antiedemni i antiinflamatorni efekat. Zaštitno delovanje derivata cisteamina i cisteina svodi se na delovanje ovih dveju supstancija, jer se javljaju kao produkti degradacije svojih derivata u organizmu.

Novija izučavanja mehanizma zaštitnog delovanja SH-supstancija dovela su do hipoteze tzv. mešovitih disulfida.

Smatra se, naime, da SH-supstancije, unete u organizam, formiraju sa SH i S-S grupama tkivnih proteina tzv. mešovite disulfide, dajući tako privremenu zaštitu ili prolazno blokirajući pojedine tkivne konstituente. Na taj način su pojedine ćelijske funkcije zaštićene od dejstva slobodnih radikala, a kasnije se, dejstvom odgova-

jućih enzimskih sistema, iz mešovitog disulfida regenerišu blokirani konstituenti.

Pored SH-supstancija ispitivano je i zaštitno delovanje velikog broja drugih hemijskih supstancija. Mnoge su, kod eksperimentalnih životinja, pokazale visok stepen zaštite od zračenja.

Ispitivanja su pokazala da su aminokiseline slaba zaštitna sredstva, kao u eksperimentima na mikroorganizmima, tako i na sisarima. Međutim, za razliku od aminokiselina, amini, naročito aromatični, pokazali su mnogo veći zaštitni efekat od odgovarajućih amina aminokiselina. Naročito efikasni, kao zaštitna sredstva, pokazali su se triptamin, 5-hidroksitriptamin (serotonin), adrenalin i noradrenalin. Derivati triptamina, naročito produkti njegove metilacije, pokazali su visok stepen zaštite od dejstva jonizujućeg zračenja (tabela 43).

Tabela 43 — Zaštitno dejstvo derivata triptamima

| preparat             | doza<br>mg/kg | broj<br>životinja | broj<br>preživelih<br>životinja | %<br>preživelih | srednje<br>produženje<br>života<br>u danima |
|----------------------|---------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|---|
| triptamin            | 100,0         | 100               | 40                              | 40,0            | 14,5  |
| 4-metil<br>triptamin | 54,5          | 60                | 21                              | 35,0            | 16,0  |
| 5-metil<br>triptamin | 54,5          | 140               | 54                              | 38,5            | 13,7  |
| serotonin            | 55,0          | 60                | 39                              | 65              | 15  |
| 6-metil<br>triptamin | 54,5          | 60                | 2                               | 3,3             | 10  |
| 5-hlor-triptamin     | 121,6         | 40                | 25                              | 62,5            | 12,8  |
| 6-hlor-triptamin     | 60,8          | 40                | 6                               | 15,0            | 9,5   |

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja ukazali su na zavisnost između koncentracije askorbinske kiseline u organizmu i njegove radioosetljivosti. Zapažanja su se odnosila uglavnom na biljne organizme i nisu potvrđena eksperimentima na životinjama. Pa ipak, pokušaji zaštite životinja od X-zračenja ili tretman obolelih od bolesti

zračenja samom askorbinskom kiselinom ili njenom kombinacijom sa cisteaminom dali su, mada ne uvek, impresivne rezultate.

Vitamini B-kompleksa nemaju zaštitnog delovanja, ali vitamin B-12 smanjuje oštećenje nekih funkcija retikuloendotelijalnog sistema, baktericidne funkcije kože i krvnih elemenata eksperimentalnih životinja.

Citrin (vitamin grupe P), sam i u kombinaciji sa cisteinom, pružio je kod eksperimentalnih životinja visok stepen zaštite od zračenja. Smatra se da jedinjenje sa izraženom P-vitaminskom aktivnošću ne deluje neposredno već indirektno, štiteći adrenalin od oksidacije, što omogućuje da dođe do izražaja uticaj adrenalina na povećavanje kapilarne stabilnosti.

Od hormonskih preparata, najpovoljniji efekat postignut je sa ACTH koji osetno smanjuje procenat smrtnosti eksperimentalnih životinja. Povoljno zaštitno delovanje ACTH zadržava se delimično ako se ACTH injicira i posle zračenja.

Radi iznalaženja najpogodnijeg i najefikasnijeg sredstva zaštite od dejstva zračenja ispitan je veliki broj supstancija vrlo različitih hemijskih i drugih svojstava. Osim već pomenutih, solidna zaštitna svojstva su pokazali: rezerpin, morfin, polivinil-prirolindon, derivati fenola i naftola. Mnoge od tih supstancija su vrlo toksične, čak i u količinama znatno manjim od onih koje su potrebne da bi se ispoljilo njihovo zaštitno delovanje.

Vrlo obiman i intenzivan istraživački rad na ispitivanju mogućnosti zaštite od zračenja hemijskim sredstvima doneo je obilje rezultata koji, iako ne daju rešenje problema zaštite hemijskim sredstvima, imaju ne mali značaj u radiobiologiji, jer su doprineli boljem razumevanju mnogih bioloških efekata zračenja i predstavljaju solidnu osnovu za dalji rad.



## DEKONTAMINACIJA POVRŠINA

Fisioni produkti predstavljaju glavni izvor radioaktivnosti padavina koje nastaju posle nuklearnih eksplozija i sadrže jonizovanu i nejonizovanu komponentu. Nejonizovanu komponentu predstavljaju čestice sinte-rovanih oksida, kao i materije u koloidnim suspenzijama i rastvorima. Jonski oblik fisionih produkata sačinjavaju katjoni i anjoni, od kojih katjoni predstavljaju veću opasnost s obzirom na trajanje njihove radioaktivnosti, a naročito zbog toga što sadrže radioizotope, koji dugo žive — cezijum-137 i stroncijum-90.

Obe komponente mogu se javiti u različitim proporcijama, što zavisi od okolnosti u kojima je eksplozija izvršena.

Prilikom eksplozije u vazduhu, usled visokih temperatura nastaju uglavnom oksidni oblici, sa znatnim primesama oksida urana i gvožđa — materijala od kojeg je izrađena bomba.

U slučaju prizemne eksplozije najveći deo katjona nalazi se u obliku sinte-rovanih silikata nastalih interakcijom sa glinama i silikatnim materijalima tla, dok će anjona biti znatno manje. Silikatni materijal javlja se u obliku staklenih perli. 81% perli je veličine 75—150  $\mu$ , a 15% nalazi se u oblasti 150—250  $\mu$ . Može se očekivati da će se radioaktivni materijal, nastao prilikom eksplozije ovakvog tipa, sastojati od teško rastvorljivog materijala, iz kojeg se može isprati samo deo anjona i manji deo katjona, uglavnom alkalni i zemnoalkalni elementi.

U slučaju podzemnih eksplozija, deo rastvornih oblika radioaktivnog materijala znatno je veći u poređenju

sa materijalom nastalim prilikom površinske eksplozije (oko 10%, prema manje od 1%).

Posebnu vrstu izvora kontaminacije predstavlja eventualna upotreba radioaktivnog materijala radi zagađivanja određenih rejona. Može se pretpostaviti da će fisioni produkti upotrebljeni u ovakvim oružjima, sa izuzetkom rutenijuma, biti u potpuno jonizovanom stanju. Prilikom korišćenja ovakve vrste oružja, kontaminacija će biti ograničena na manje rejone i neće biti tako ravnomerna kao prilikom nuklearne eksplozije.

Upotreba ovakvih borbenih sredstava nije dovoljno ispitana i zbog toga zaslužuje posebnu pažnju prilikom planiranja odbrane i zaštite. U slučaju namernog rasejavanja radioaktivnog materijala, učinak kontaminacije može da se povećava i kontroliše po nahođenju napadača, jer se za kontaminaciju mogu upotrebiti radioaktivni materijali visoke specifične aktivnosti, određene energije zračenja, kraćeg ili dužeg poluraspada, veće ili manje radiotoksičnosti itd.

Među nuklearnim oružjima koja mogu da prouzrokuju naročito značajne kontaminacije izdvaja se onaj tip termonuklearne bombe koja sadrži i veću količinu urana 238 (tzv. trofazna ili fisiono-fuziono-fisiona bomba) i kobaltna bomba.

Bombardovanjem urana-238 neutronima, čija je kinetička energija reda 6—17 MeV, dolazi do fisije i nastaju velike količine radioaktivnog pepela. Ako se u bombu stave 3 tone urana-238 i pretpostavi da će samo  $\frac{1}{3}$  od ukupne količine da pretrpi fisiju, radioaktivnost stvorenog pepela će 24 časa posle eksplozije odgovarati radioaktivnosti 400.000 tona radijuma! Prilikom bombardovanja urana-238 brzim neutronima uporedo sa fisijom, dolazi do drugih nuklearnih reakcija, pa se stvaraju uran-237, plutonijum-239 i niz drugih transuranskih elemenata.

Kobaltna bomba predstavlja tipično kontaminaciono oružje. Kobalt prilikom eksplozije bombe prelazi u radioizotop Co-60 čije je vreme poluraspada veće od 5 godina. Smatra se da bi nekoliko stotina eksplozija ovakvih

bombi bilo dovoljno da se potpuno uništi svaki trag života na zemlji.

*Zaštita od radioaktivnih padavina.* Pitanja zaštite od radioaktivnih padavina, opasnosti ozračavanja, kao i opasnosti od unutrašnje i spoljnje kontaminacije, od neposrednog su interesa za sve stanovništvo, a posebno za osoblje civilne zaštite, lekare, farmaceute i ostalo sanitarno i tehničko osoblje. Ovo osoblje, po prirodi posla, mora obavezno da ulazi i kraće ili duže boravi u kontaminiranoj zoni radi spasavanja ljudi, organizovanja punktova medicinske pomoći, organizovanja saobraćaja i dekontaminacije ljudi i materijala.

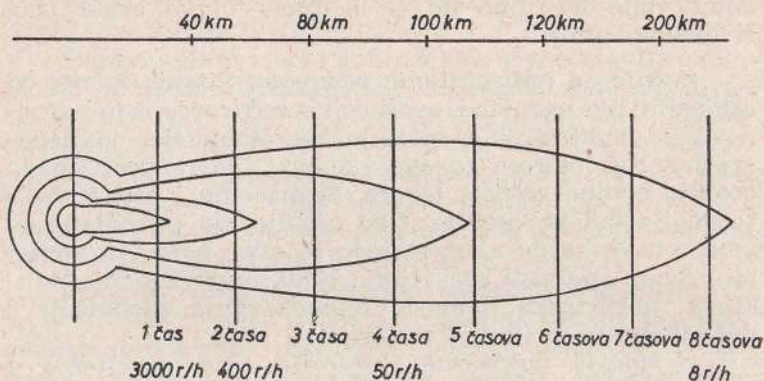
U slučaju nuklearne eksplozije, prva saopštenja o eksploziji za posmatrače koji se nalaze na znatnom rastojanju od epicentra eksplozije biće vrlo neprecizna. Uzimajući u obzir nedostatak iskustva, nepregnutost situacije i narušavanje sistema veza i saobraćaja, svakako će u prvo vreme posle napada biti znatnih grešaka u ocenjivanju mesta eksplozije. Ove greške mogu da variraju u rasponu 30—50 kilometara. A to može da dovede do verovanja da je eksplodiralo nekoliko bombi, ili da su porušene građevine koje stvarno nisu srušene, odnosno da su sačuvani objekti koji su porušeni i sl.

Pomenute greške mogu dovesti do toga da će biti praktično nemoguće utvrditi gde bi moglo doći do padavina nekoliko časova posle eksplozije.

U rejonima snabdevenim uredajima za merenje doze zračenja ova neizvesnost će u izvesnom stepenu biti rešena u trenutku početka radioaktivnih padavina, ali to istovremeno ne znači da će biti poznat intenzitet zračenja u susednim rejonima.

Pod optimističkom pretpostavkom da postoji široko organizovan sistem dozimetrijskih punktova sa dobrim sistemom veza i da te veze funkcionišu besprekorno, mogu se u principu utvrditi zone sa odgovarajućim dozama zračenja, kao i granice kontaminiranog prostranstva.

Idealizovan prikaz moguće situacije dat je na slici 61 na kojoj je prikazano vreme dolaska padavina na površinu zemlje posle eksplozije bombe jačine 1 MT, kao



Sl. 61 — Vreme dolaska padavina posle eksplozije

i približan intenzitet padavina na raznim mestima u vreme njihovog dolaska, za slučaj da vreme dolaska padavina zavisi jedino od brzine vetra.

Naravno, shema je data kao gruba aproksimacija i stvarna slika može da varira ne samo zbog brzine, već i usled pravca i visine vetra, mikroklimatskih uslova, topografije terena itd.

Na sličan način mogu se proceniti i ukupne doze zračenja kojima bi ljudi bili izloženi u ovim zonama.

Na slici 62 prikazane su ukupne doze zračenja u raznim rejonima, u vremenu od 48 sati od trenutka eksplozije bombe jačine 1 MT.

Polazeći od toga da je zračenje koje potiče od radioaktivnih padavina neprekidno (sa ravnomernim opadanjem intenziteta), i da će u slučaju rata biti verovatno više slučajeva kad će zračenje izazvano radioaktivnim padavinama biti dugotrajno, mogu se očekivati sledeće situacije:

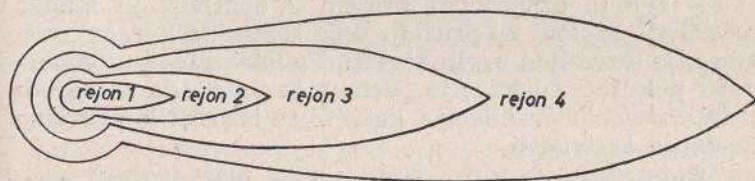
*Zagađivanje velikih naseljenih oblasti, gde će u velikoj meri biti onemogućeno funkcionisanje saobraćaja.* Sa gledišta zaštite, najcelishodnija mera za spasavanje stanovništva bila bi evakuacija pogođenih oblasti. Na ža-

lost, ove mere sputane su ozbiljnim ograničenjima. Na osnovu saopštenja američke komisije za atomsku energiju o površinama koje mogu biti zahvaćene padavinama od jedne bombe, očigledno je da će, tada verovatno biti uništeni sredstva veze i transport usled eksplozivnog i toplotnog dejstva bombe, pa će za evakuaciju biti potrebni dani, a verovatno i nedelje;

*operacije spasavanja, kontrola oštećenja i preduzimanje mera dekontaminacije u rejonima zagađenim radioaktivnim padavinama.* Prilikom sprovođenja ovakvih mera ljudstvo će biti izloženo dejstvu zračenja. Zato je neophodno da bude poznato dozvoljeno vreme za koje se ljudi mogu izlagati zračenju, ili vreme posle kojeg se bez opasnosti može ulaziti u pogođene rejone;

*uspostavljanje normalne delatnosti u pogođenim rejonima.* Na osnovu izloženog nameće se zaključak da je od životnog značaja problem — koliko se može boraviti u nekoj kontaminiranoj zoni pre nego što se primi opasna doza zračenja.

Analizirajući situaciju pokazanu na sl. 62, a uzimajući u obzir oštećenja organizma koja prouzrokuju velike



| Primljena doza                  | Rejon 1 | Rejon 2 | Rejon 3 | Rejon 4 |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Ljudstvo na otvorenom zemljištu | 8100r   | 2000r   | 450r    | 100r    |
| Ljudstvo u zaklonima            | 650r    | 160r    | 35r     | 8r      |

Sl. 62 — Ukupne doze zračenja u raznim rejonima

doze zračenja, može se doći do procena koje su od bitne važnosti za organizovanje operacije zaštite i spasavanja u ugroženoj zoni. Mada će intenzitet doze varirati na raznim mestima duž pojedinih linija ili između njih, mogu se prilično sigurno izvući ovi zaključci:

Izvan linija datih na sl. 62 čovek može da se kreće i deluje bez zaštite, a da ne bude izložen naročitoj opasnosti niti oštećenju organizma.

U rejonu označenom brojem 4 ljudi na otvorenom prostoru, za vreme od 48 časova, mogli bi da pretrpe manja oštećenja, ali bi uglavnom sačuvali radnu sposobnost. Međutim, ljudi koji bi se nalazili u zaklonima (zgradama, podrumima) biće zaštićeni u velikoj meri, a broj ozleđenih biće minimalan. Ako bude neophodno, ljudi se prvog dana mogu kretati van zaklona najviše 2 sata, a drugog dana 5 časova. Ovakvo ograničeno vreme boravka van zaklona pruža znatne mogućnosti za kretanje i akciju, a istovremeno garantuje da neće biti ozbiljnije povređenih. Takođe, ljudi koji bi ovaj rejon napuštali ili u njega ulazili 48 časova posle eksplozije mogli bi da se kreću po otvorenom terenu, a da ne pretrpe ozbiljnija oštećenja.

U rejonu označenom brojem 3 opasnost je mnogo veća. Ovde zakloni ne pružaju veću zaštitu, a boravak van njih nije dozvoljen prvih 48 sati. Po isteku ovog vremena treba pokušati evakuaciju. Veoma je važno da se odredi pravi momenat evakuacije, kako bi se iskoristilo prirodno opadanje aktivnosti.

Ljudi koji ulaze u ovu zonu i po prirodi posla se u njoj zadržavaju, moraju da se koriste odgovarajućim zaklonima, boraveći u njima više časova.

U rejonima označenim brojevima 1 i 2 zračenja su krajnje opasna i dovode do velikih gubitaka u ljudstvu, bez obzira na preduzete mere. Ali, čak i u ovakvim uslovima, uz postojanje dobre organizacije koja efikasno funkcioniše mogu se gubici znatno smanjiti. Najefikasniju zaštitu treba ostvariti u prvim časovima od početka radioaktivnih padavina (najkritičniji su prvih 6 časova), jer će i zračenje biti najintenzivnije.

Najgrublji orijentacioni početak radioaktivnih padavina u nekoj tački može se odrediti deljenjem rastojanja od tačke eksplozije sa srednjom brzinom vetra. U početku padavina doza zračenja je mala i raste sa količinom taloga, da bi pred kraj dostigla maksimum.

Vrlo jednostavnim računom može se doći do podataka neophodnih za kontrolisan boravak u kontaminiranoj zoni.

Primljene doze zračenja u rejonima zahvaćenim radioaktivnim padavinama, gde postoje rejoni sa određenim intenzitetom zračenja, izračunavaju se tako što se vreme boravka u zoni zračenja pomnoži sa intenzitetom zračenja dobijenim pomoću dozimetrijskog uređaja<sup>31</sup>.

No, takav način izračunavanja veoma je pojednostavljen i nedovoljan za tačno određivanje potrebnih parametara. Preciznija izračunavanja mogu se obaviti nešto komplikovanim računskim putem ili se mogu dobiti iz

<sup>31</sup> Izračunava se pomoću obrasca:  $D = t \cdot P$  (gde je  $D$  = primljena doza zračenja (r);  $t$  = vreme (h);  $P$  = intenzitet zračenja (r/h).

1. Primer: Koliku će dozu zračenja primiti čovek bez ikakve zaštite koji na terenu, gde doza zračenja iznosi 12 r/h, boravi 3 sata?  $D = t \cdot P$   $D = 3 \cdot 12$ ,  $D = 36$  r.

2. Primer: Koliku će dozu zračenja primiti čovjek koji je 2 časa proveo na terenu gde intenzitet zračenja iznosi 6 i 14 r/h? Najpre se nađe srednji intenzitet zračenja na ovom terenu po

formuli:  $P$  srednje =  $\frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{6 + 14}{2} = 10$  r/h zatim se određuje

doza  $D = t \cdot P$  srednje =  $10 \cdot 2 = 20$  r. Proračun je približan jer nije utvrđeno tačno vreme boravka osobe u zonama sa različitim intenzitetom zračenja.

3. Primer: Koliku će dozu zračenja primiti osoba koja se u automobilu sa faktorom zaštite  $k = 2$ , brzinom od 30 km/h kreće putem dugim 20 km, gde intenzitet zračenja iznosi 80 r/h? Vreme za koje će lice u automobilu proći ovaj put određuje se po obrascu:

$t = \frac{s}{v}$  (gde je:  $s$  = dužina puta u km;  $v$  = brzina kretanja km/h).

Prema tome, obrazac za primljenu dozu zračenja dobija oblik:  $D = t$

$$D = t \cdot \frac{P}{k} = \frac{s}{v} \cdot \frac{P}{k} = \frac{20 \cdot 80}{2 \cdot 30} = 27 \text{ r.}$$

odgovarajućih grafikona. Takođe se koriste naročiti računari koji omogućuju veoma tačno izračunavanje potrebnih podataka.

*Zaštitna odeća.* Odmah valja naglasiti da ne postoji takva zaštitna odeća koja bi efikasno štitila od prodornog  $\beta$  i  $\gamma$ -zračenja. Pokušaji da se napravi takva odeća odbačeni su posle niza ispitivanja<sup>32</sup>.

Razne vrste odeće od plastičnih masa ili gume koja pruža zaštitu od radioaktivne kontaminacije, veoma su nepogodne za duže nošenje i rad. Već posle nekoliko minuta dolazi do preobilnog znojenja i neprijatne toplote. Takva odeća koristi se u mnogim nuklearnim centrima za rad u kontaminiranim zonama, ali uz nošenje naročitih potkombinezona za provetranje i hlađenje tela, tako da je rad donekle olakšan<sup>33</sup>.

Osobitu pažnju zahteva zaštita disajnih organa. Za ovu svrhu dovoljne su obične zaštitne maske koje efikasno mogu da zaustave čestice radioaktivnih padavina. U toku upotrebe zaštitne maske treba povremeno kontro-

---

4. Primer: Lice koje je prethodnih dana primilo dozu zračenja od 10 r, treba da boravi na terenu gde intenzitet zračenja iznosi 20 r/h. Odrediti koliko to lice, bez ikakve zaštite, sme da boravi u onoj zoni zračenja, a da ne primi dozu veću od 50 r. Prethodno se nađe maksimalna doza koju lice sme da primi u ovim uslovima:

$D = D_{\text{koju treba da primi}} - D_{\text{koju je već primilo}} = 50 - 10 = 40 \text{ r}$ , a dozvoljeno vreme boravka dobija se iz:  $t = \frac{D}{P} = \frac{40}{20} = 2 \text{ časa}$ .

<sup>32</sup> Tako je, na primer, za potrebe Nacionalne službe zaštite Francuske bilo izrađeno zaštitno odelo od plastičnog materijala i olovnog lista debljine 1 mm. U toku ispitivanja utvrđeno je da je ovakva odeća isuviše teška za nošenje, a list olova mogao je da snizi dozu zračenja za najviše 10%, što se svakako može zanemariti.

<sup>33</sup> Iz pomenutih razloga razumljiva je i prihvatljiva odluka američke federalne administracije civilne zaštite, koja je još 1951. god. preporučila svojim jedinicama civilne zaštite da sličnu zaštitnu odeću protiv kontaminacije treba nositi samo u slučaju krajnje nužde.



lisati filter (cedilo) i ako se utvrdi da je kontaminiran, treba ga odbaciti i zameniti novim. U nedostatku zaštitne maske, zaštita se može postići upotrebom vlažne tkanine koja se vezuje preko usta kao hirurška maska.

Za vreme boravka i rada u kontaminiranoj zoni, preko odeće se navuku zaštitni mantili od običnog pamučnog materijala, na primer, kakvi se nose u bolnicama i laboratorijima. Ako pada kiša, odlično mogu da posluže obični, gumirani ili kišni mantili od plastične mase. Po prestanku radova i izlasku iz kontaminirane zone, ova gornja odeća se odbacuje. Cipele ili čizme čvrsto se obaviju folijama od plastične mase (PVC) ili običnim krpama, a ruke se štite gumenim, kožnim ili pamučnim rukavicama. Glava i kosa štite se kapom.

Opisana sredstva svakako su primitivna ali će u velikoj meri sprečiti kontaminaciju većih površina kože.

Ne isključuje se korišćenje pogodnije odeće, ukoliko se njome raspolaže. Jednostavan komplet se može sastojati od posebnog radnog odela, mantila, gumene kecelje, gumenih čizama i prekrivača za glavu.

Polazeći od toga da će čak i kratka intervencija u visoko kontaminiranoj zoni brzo iscrpsti raspoložive zalihe ličnih zaštitnih sredstava, osoblje zaštite biće prinuđeno da ih improvizuje od priručnog materijala. Navedene sugestije pomoći će da se ljudstvo bez preterane bojazni, ali sa uvećanom oprežnošću kreće i efikasno dejstvuje u ugroženom rejonu.

Za vreme boravka u kontaminiranoj zoni neophodna je naročita pažnja da bi se izbegla unutrašnja kontaminacija organizma česticama radioaktivne prašine. Najlakši put da prašina dopre u organizam je, svakako, preko disajnih organa. Zato je veoma opasno svako neoprezno skidanje maske i drugih prekrivki koje se stavljaju preko nosa i usta. Stoga je u kontaminiranom rejonu zabranjeno piti, jesti i pušiti. Ovo se čini samo na dobro izolovanom i proverenom mestu, gde nema nikave kontaminacije.

## Organizovanje dekontaminacije

*Detekcija zračenja.* Nuklearna zračenja opasna po čoveka mogu da potiču od indukovane radioaktivnosti, od kontaminacije radioaktivnim padavinama koje nastaju posle eksplozije nuklearnog oružja i od kontaminacije radioaktivnim materijalom koji se raspršuje namerno radi zagađivanja. Stoga je prilikom organizovanja dekontaminacije veoma važno da se utvrdi poreklo registrovanog zračenja. Ako do eksplozije nuklearnog oružja dođe na većoj visini, ona neće za sobom ostaviti radioaktivnu kontaminaciju većeg stepena, već će u pitanju biti uglavnom indukovana radioaktivnost. To znači da se radioaktivnost nikakvim sredstvima ne može ukloniti sa ozračenih ljudi, stoke ili materijala. Ako je eksplozija na površini zemlje javljaju se oba izvora radioaktivnosti — indukovane i one koja potiče od radioaktivne kontaminacije produktima fisije.

Zadatak onih za detektovanje zračenja je da odrede: da li se može ući u neku kontaminiranu zonu i koliko se u njoj može boraviti; da li se može izaći iz zaklona i eventualno evakuisati iz kontaminirane zone; da li su koža i odeća ljudi kontaminirani radioaktivnim materijalom; da li su kontaminirana prevozna sredstva, pokrivke, predmeti lične upotrebe, mesto na kojem se ljudi trenutno nalaze (skloništa), zatim voda, hrana, medikamenti i sl.

Za merenja koja se poduzimaju da bi se detektovalo radioaktivno zračenje, važno je da se izaberu odgovarajući instrumenti. Ovde se u prvom redu misli na njihovo napajanje strujom. Jasno je da se u zoni izloženoj rušilačkom dejstvu nuklearne eksplozije u prilično velikom opsegu (na desetine kilometara) ne mogu koristiti instrumenti koji se napajaju strujom iz mreže. To nameće zahtev da ekipe zaštite raspolazu dovoljnim brojem uređaja za detekciju zračenja sa autonomnim napajanjem strujom iz baterija.

Prilikom korišćenja bilo koje vrste instrumenata, u kontaminiranoj sredini je neophodno da se brojačka cev

ili jonizirana komora izoluju tako da se ne mogu kontaminirati. U protivnom, instrument bi registrovao i radioaktivnost kojom je kontaminiran, te bi se dobili pogrešni rezultati. U slučaju veće kontaminacije instrument bi bio potpuno neupotrebljiv.

Da bi se izbeglo kontaminiranje instrumenta dovoljno je da se brojačka cev ili komora dobro obaviju tankom folijom od plastične mase. Mogu sasvim dobro poslužiti plastične kese koje se koriste kao ambalaža za razne vrste robe. Ovakve omotače treba često menjati, pa će se instrument sačuvati u ispravnom stanju.

Drugi problem je sam način merenja zračenja, jer valja utvrditi da li su ljudi i materijali indukovano radioaktivni ili su kontaminirani. Ako bi postojala samo indukovana radioaktivnost, prostim prenošenjem mernog uređaja i registrovanjem zračenja moglo bi se doći u zabludu da su ljudi, stoka ili materijal kontaminirani, što bi dovelo do nepotrebnih i bezuspešnih pokušaja dekontaminacije. Do ove zablude može se doći uglavnom prilikom kontrole ljudi, stoke i materijala iz okoline epicentra, gde su mogli biti izloženi neutronsom zračenju. Ovo se mora uzimati u obzir ukoliko se meri bliže nultnoj tački, dok se u ostalim kontaminiranim rejonima lako utvrđuje poreklo materijala koja se kontroliše.

Registrovanje zračenja organizuje se tako da se ljudi koji prilaze kontrolnom mestu svrstavaju u kolone i brojačkom uređaju prilaze jedan po jedan, sa međusobnim razmakom 2—3 metra. Brojačka cev se prinosi kontrolisanoj osobi na 25—30 cm. Ukoliko postoji kontaminacija, instrument će je registrovati, a takvi ljudi i stoka izdvajaju se na određeno sabirno mesto.

Posebne teškoće javljaju se kod ljudi i životinja za koje se pretpostavlja da su bili izloženi neutronima. Ovo se može utvrditi ili na osnovu obaveštenja koja daju kontrolisani, ili tako što se prilikom pokušaja dekontaminiranja dobija sasvim neznatan efekat. Takve osobe ili stoka su i sami izvori zračenja i instrumenti mogu da registruju visoke doze zračenja koje oni emituju. Na osnovu radioaktivnosti odeće ne mogu se izvoditi nikakvi

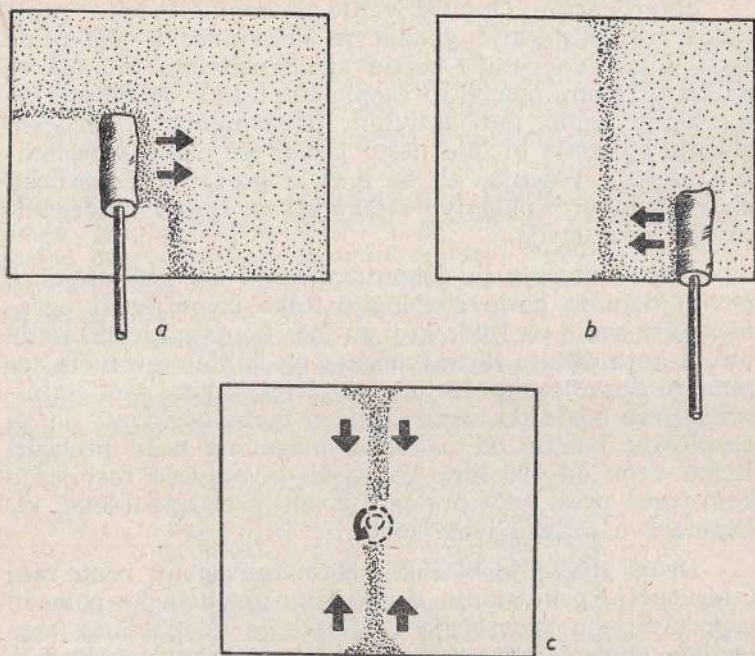
zaključci, jer i ona u tom slučaju postaje indukovano aktivna. Uzimanje brisa tamponima od vate sa kože žrtve takođe neće dovesti do rezultata, jer radioaktivnost, pored površinske kontaminacije može da potiče od indukovano aktivne peruti ili znoja. Najbolji način da se utvrdi pravo stanje je kontrola urina. Pri ozračivanju neutronima urin će biti radioaktivan, dok se u slučaju spoljne kontaminacije neće odmah registrovati njegova radioaktivnost. Sa osobama kod kojih je registrovana spoljna kontaminacija postupa se tako što se posle odbacivanja gornje odeće najpre obazrivo kontrolišu otkriveni delovi tela, ruke, lice i kosa. Ukoliko je utvrđena i kontaminacija donjeg veša, nastavlja se daljna kontrola kože ispod pokrivenih mesta. Osobe za koje se utvrdi da su kontaminirane bilo delimično, bilo na većoj površini kože, podvrgavaju se uobičajenoj dekontaminaciji. Ako se odeća i veš ne mogu dekontaminirati treba ih zakopati u zemlju.

Zagađeni predmeti se posle dekontaminacije opet kontrolišu i odnose na mesto koje je dovoljno odvojeno od ostalog materijala koji bi, nedovoljno očišćen, mogao da poveća opšti fon i remeti ispravnost merenja.

Da bi se izbegao uticaj visokog fona zračenja prilikom kontrole materijala pre ili posle dekontaminacije, koristi se metoda uzimanja brisa sa zagađenih predmeta. Za uzimanje brisa pripremlja se tampon (najbolje od vate) dužine 40—50 mm, koji se namotava na štap. Debljina tampona ne treba da bude veća od 20 do 50 mm.

Bris se uzima sa površine od oko 100 cm<sup>2</sup> pomoću šablona od kartona sa kvadratnim izrezom veličine 10 × 10 cm. Šablon se prislanja na površinu koja se kontroliše, a bris se uzima na način pokazan na slici 63.

Na jednu od bočnih strana, ograničenu izrezom šablona prislanja se tampon, pritiska na površinu i povlači prema sredini omeđene površine, uz okretanje oko ose, uvek u jednom pravcu (a). Ovako se obrađuje prva polovina površine, a zatim druga polovina (b). Kontaminant koji može da se nakupi u sredini površine, sakuplja se vrhom tampona (c). Potom se tampon sa uzetim brisom razmotava pincetom, nanosi na podlogu veličine 10 × 10



Sl. 63 — Uzimanje brisa sa kontaminirane površine

cm i kontroliše brojačem. Obračunava se broj imp/sec/cm<sup>2</sup>, što će približno odgovarati stepenu zagađenja površine.

O mogućnom postojanju indukovane aktivnosti naročito se vodi računa prilikom kontrole namirnica. Ukoliko se registruje radioaktivnost, njeno poreklo se relativno lako može utvrditi. Rezanjem takve hrane i merenjem komada koji su izvađeni duboko iz sredine utvrđuje se da li se radi o kontaminaciji ili indukovanoj aktivnosti.

Svim ovim merenjima valja posvetiti veliku pažnju, a dobra uvežbanost i stečena rutina mogu biti od neprocenjive koristi u slučaju stvarne potrebe.

*Intervencija.* Organizovanje dekontaminacije posle nuklearne eksplozije veoma je delikatno. Svakako da tada dolazi do panike među stanovništvom, bilo da se nalazi u rejonu epicentra eksplozije, bilo u oblastima zahvaćenim samo radioaktivnim padavinama. U drugom slučaju situacija bi bila nešto lakša, jer nema neposrednih efekata rušenja, ali se ipak o postojećoj opasnosti obaveštava vrlo obazrivo i tako da se spreči dezorganizovana evakuacija.

U oba slučaja je dekontaminacija na licu mesta u prvim danima posle eksplozije teško izvodljiva i ograničava se samo na ljude koji su jače kontaminirani. Kada uslovi koje diktira doza zračenja na kontaminiranom terenu to dozvole, otpočinje evakuacija. Širina kontaminirane zone može da varira, ali se može očekivati da za eksploziju bombe od nekoliko megatona neće prelaziti širinu veću od 100 km. To znači da najveće rastojanje koje treba preći neće prelaziti širinu preko pedesetak kilometara u pravcu ivice zone.

Drugi slučaj je ulazak u kontaminacionu zonu radi intervencije prihvatanja ljudi, hitne medicinske pomoći, uspostavljanja saobraćaja i izvlačenja neophodnog materijala. Ovde će biti reč samo o materijalnim problemima, jer su način i organizacija pomoći ljudima opisani na drugom mestu.

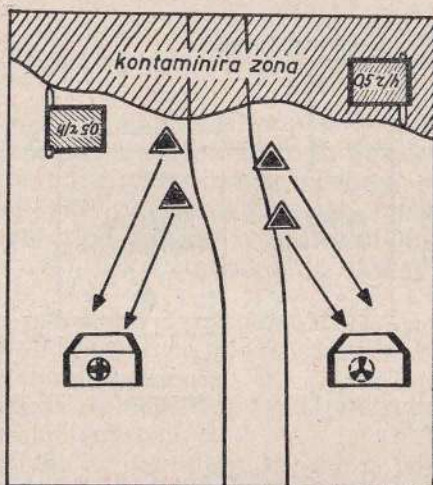
Prvi momenat koji se ne sme izgubiti iz vida je dozvoljeno vreme zadržavanja u kontaminiranoj zoni. Pošto se to utvrdi, u prvom redu se, zavisno od mogućnosti, dekontaminiraju transportna sredstva, bilo na licu mesta, bilo posle izvlačenja u čist rejon. Pomoću ovih sredstava (koja su prvenstveno očišćena iznutra) pristupa se izvlačenju hrane iz skladišta, zatim odeće, donjeg rublja i tekstila, a na kraju neophodnih uređaja (sredstava veze), mašina i alatki.

Materijal koji se iznosi zamota se ako je ikako moguće tekstilom iz denjka, folijama PVC, ceradama i sl. da se ne bi kontaminirao u toku prevoza. Ovo naročito važi za namirnice i odeću.

Dekontaminacija na licu mesta je teško izvodljiva. U toj zoni teren je kontaminiran, duže zadržavanje je opasno i bez obzira na to što možda postoje nekontaminirane zatvorene prostorije, radioaktivna prašina koja se podiže u vazduh predstavlja najdirektniju opasnost.

Ukoliko se baš mora raditi u takvim uslovima, dekontaminacioni centar se postavlja u većoj zatvorenoj prostoriji (u garažu, radioničku ili fabričku halu i sl.). Pošto je ventilacija ovakvih prostorija problematična (usled mogućnosti da se unosi vazduh zagađen radioaktivnom prašinom), prilikom dekontaminiranja koriste se sa mnogo pažnje lična zaštitna sredstva.

Dekontaminacija van kontaminirane zone lakše je izvodljiva, ali se i ovde zahteva puna organizovanost, kao i mnogo snalažljivosti da bi se uz razne improvizacije, često i primitivnim sredstvima, uspešno obavio ovaj težak posao.

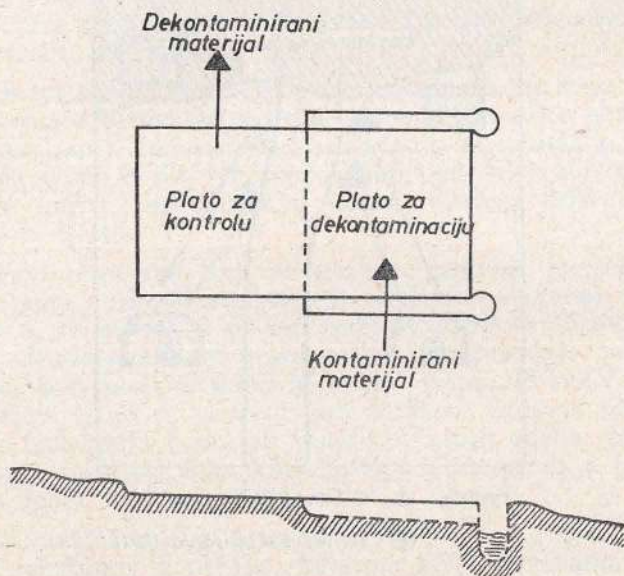


- Legenda: ▲ dozimetrski punktovi  
 ⊕ centar sakupljanja ljudi  
 ☸ centar sakupljanja materijala

Sl. 64 — Organiziranje trijaže i dekontaminacije

Na slici 64 dat je shematski prikaz jednog od mogućih načina organizovanja trijaža i dekontaminacije kontaminiranih ljudi, stoke i predmeta. Šrafiranim poljem označena je kontaminirana zona. Na ivici zone, s obe strane puta, punim trouglovima označeni su dozimetrijski punktovi na kojima se kontrolišu ljudi i stoka i materijal koji dolaze iz kontaminirane zone. Ovde se kontaminirani ljudi prebacuju do tačke gde se dekontaminiraju, a materijal i stoka šalju se do određenih sabirališta. Stoka se po mogućnosti drži u ograđenom prostoru.

Prilikom odabiranja mesta za postavljanje dekontaminacionih punktova treba voditi računa da u blizini bude jak izvor za snabijevanje vodom (tekuća voda, akumulacioni rezervoari, cisterne, bunari). Ako postoje vodeni tokovi (reke, potoci), prvenstveno se koriste one vode



Sl. 65 — Prostor za dekontaminaciju



koje otiču u kontaminacionu zonu. U protivnom, korišćenje vode koja dolazi iz ugrožene zone može da doprinese povećanom kontaminiranju predmeta koji se njome čiste. Ako ne postoje drugi izvori za snabdevanje vodom, prethodno se kontroliše nivo kontaminacije vode pre nego što se upotrebi za dekontaminaciju.

Prostor za dekontaminaciju obično je pravougaonog oblika, a postavlja se na blago nagnutom terenu. Duž ivice dužih granica pravougaonika kopaju se jarci dubine do 50 cm, koji se na krajevima završavaju dubljim jamama (1,5 — 2 m). Pravougaonik se deli na dva približno jednaka dela. U delu prema jamama dekontaminira se materijal. Otpadne vode slivaju se u jarke i otiču u sabirne jame. U drugom delu poligona kontroliše se dekontaminirani materijal. Kontaminirani materijal doprema se sa jedne, a odnosi se sa suprotne strane (sl. 65).

### *Postupci za uklanjanje kontaminacije*

*Radioaktivna kontaminacija površina.* Pojam radioaktivne kontaminacije veoma je širok. Bez obzira na način kontaminacije i nezavisno od agregatnog stanja kontaminanta, radioaktivna kontaminacija može se definisati kao nepoželjno prisustvo radioaktivnog materijala na nekoj površini, u količinama koje mogu biti štetne po zdravlje ljudi.

Različiti materijali su nejednako osetljivi na kontaminaciju, te je zbog toga uveden termin kontaminabilnost. Pod kontaminabilnošću se podrazumeva osobina nekog materijala da određeni radionuklid zadrži jače ili slabije na svojoj površini.

Radioaktivni kontaminant sa kojim površina dolazi u dodir može biti u čvrstom, tečnom ili gasovitom stanju.

Kontaminanti mogu biti rastvorljivi ili nerastvorljivi u vodi, pa se prema tome mogu nalaziti u jonskom-disosovanom ili nedisosovanom obliku.

Oblici nerastvorljivi u vodi obuhvataju širok dijapazon disperznih stanja, počevši od molekulskih agre-

gata, koloidnih i submikroskopskih čestica, do čestica mikro i makroskopskih dimenzija.

Faktori koji utiču na visinu kontaminacije površina su: vrsta i oblik materijala (hrapavost, udubine), poroznost, vlažnost i masnoća, vrsta i hemijski oblik radionuklida i specifične reakcije između radionuklida i površine (adsorpcija jona i električne veze, hemijske veze).

Proces fiksiranja radioaktivnog materijala na površini može biti različit, a zavisi od: agregatnog stanja i fiziko-hemijskih svojstava kontaminanta, kao i od svojstva (vrste) površine.

Bitan element koji određuje jačinu uspostavljene kontaminantne veze jeste naelektrisanost površine i čestice koja kontaminiše.

S obzirom na prirodu sila koje uspostavljaju vezu površina — kontaminant može se po jačini, ostvarenim vezama dati sledeći redosled: a) elektrostatičke sile koje deluju između naelektrisanja suprotnog znaka; b) fizičke sile, različite od električnih; c/ hemijske sile (ovde se podrazumevaju hemijska jedinjenja nastala između reagujućih komponenata); d/ mehaničko zadržavanje čestica u porama i na površini.

S obzirom na agregatno stanje kontaminanta, uglavnom se javljaju tri kontaminantna sistema. Kod prvog, tečni kontaminant dospeva na površinu i suši se na njoj. Kod drugog je u dodiru sa površinom i stalno je kvasi, a kod trećeg čvrsti kontaminant dospeva direktno na površinu ili se na njoj taloži posredstvom čestica prašine za koju je vezan.

U prva dva slučaja, kada rastvoreni kontaminant dolazi u dodir sa površinom, postoji kvašenje koje zavisi od hemijske prirode rastvora kontaminanta i osobina same površine.

Površina materijala reaguje sa kontaminantima u jonskom i koloidnom stanju na razne načine, a istovremeno kapilarna aktivnost povlači tečnost u mikro i makropore površine. Otparavanjem tečnosti raste zasićenje rastvora, dok se na kraju ostatak rastvorene materije ne počne da kristališe i deponuje na površini.

Kod kontaminacije tečnošću, proces fiksiranja kontaminanta na površini bazira se na pojavi adsorpcije (ekvivalentne, jonoizmenjivačke, specifične), zatim hemisorpcije i, konačno, difuzije i drugih neelektričnih sila.

Taloženje, kao oblik fiksiranja kontaminanta na površini, javlja se kad se kontaminant nalazi u čvrstom agregatnom stanju i dolazi direktno na površinu ili se na nju taloži posredstvom prašine za koju je vezan. Sile između površine i kontaminanta su vrlo slabe i ovaj je slučaj sa gledišta dekontaminacije najjednostavniji.

Na jače fiksiranje radioaktivne prašine utiču poroznost, zatim eventualna vlažnost i masnoća materijala.

Mehanički zahvat predstavlja jedan od mogućih mehanizama kontaminacije. Na čvrstim površinama uvek postoje pore različitih dimenzija u koje mogu da zapadnu sitne čestice kontaminanta. Ovakve kontaminacije, naizgled jednostavne, često u praksi mogu da predstavljaju priličan problem kad se uklanjaju.

Ekvivalentna adsorpcija je slučaj kad se podjednako adsorbuju katjoni i anjoni, tj. molekuli elektrolita se u ovom slučaju adsorbuju kao celina na površini materijala. Prema tome, ekvivalentna adsorpcija može da se nazove i molekularnom (apolarnom).

Jonoizmenjivačka adsorpcija je pojava kada se površina adsorbenta, koja je već adsorbovala neki jon  $K_1$ , nalazi u dodiru sa rastvorom koji sadrži drugi jon  $K_2$  istog naelektrisanja. Pošto je zasićena jonima  $K_1$ , površina nije u stanju da dopunski adsorbuje jon  $K_2$ , pa se ti joni odsorbuju na površini i istovremeno istiskuju ekvivalentnu količinu jona  $K_1$ .

U ovom slučaju očuvana je elektroneutralnost površine adsorbenta i rastvora.

Specifična adsorpcija je pojava kada adsorbent koji je u kontaktu sa kontaminantom — elektrolitom KA, jače adsorbuje katjon  $K^+$  nego anjon  $A^-$ . Tada se određena količina kotjona  $K^+$  izdvaja iz rastvora i taloži na površini. Adsorbent čvrsto fiksira ove katjone i oni ulaze u sastav čvrste faze. Anjoni koji ostaju u rastvoru, nisu kompenzovani i na graničnoj površini faza nastaje razlika

potencijala. Isto se dešava ako se anjon selektivno adsorbuje, a katjon ostaje u rastvoru.

Hemisorpcija je stvaranje hemijskih jedinjenja između kontaminanta i površine. U formiranju novih hemijskih jedinjenja učestvuju rezidualne valencije atoma adsorbenta. Ako je sloj novog jedinjenja nastalog na površini adsorbenta nepropustan za kontaminant, reč je o površinskoj hemisorpciji.

Difuzija kontaminanta kroz pore i kapilare materijala je isto tako zapažena pojava.

Naročito je interesantna pojava prodiranja radionuklida kroz plastične i gumene materijale.

U pojavama kontaminacije znatnu ulogu ima postojanje slobodne energije na graničnoj površini materijala i površinskog napona tečnog kontaminanta. Ukupna energija je srazmerna veličini površine materijala i površini tečnosti koja je kvasi.

Iz ovoga se vidi da je međusobni odnos površine materijala i tečnosti, tj. sposobnost kvašenja (liofilnost i liofobnost) materijala od velikog značaja za pojavu radioaktivne kontaminacije.

Među fizičkim neelektričnim silama izdvaja se pojava uzmarka atoma prilikom atomskih raspada. To je važno za pojedine članove radioaktivnih porodica kraćih lanaca raspada veštačkih radioizotopa. Tom prilikom može da dođe do dubljeg prodiranja radionuklida u strukturu materijala.

Pri eksploziji atomskih i termonuklearnih bombi na dovoljnoj visini, kontaminaciju čine produkti fisije nuklearnog eksploziva i čestice eksploziva koji nije pretrpeo fisiju. Produkti fisije nalaze se u obliku radioaktivnih aerosola veličine 0,1—1000  $\mu$ . Ovi radioaktivni aerosoli mogu stvarati neposredne kondenzacione produkte kondenzacijom ili adsorpcijom na već postojećim centrima kondenzacije u vazduhu, kao što su, na primer, prašina, dim i sl. Na taj način dobije se vrlo šarolika slika kontaminanata, pošto već sami produkti fisije predstavljaju preko 30 hemijskih elemenata u oko 200 izotopnih oblika.

Kod prizemnih eksplozija ova se slika još više komplikuje, pošto pored nastajanja ogromnih količina radioaktivne prašine i spektar kontaminanata postaje još širi, jer čestice zemlje, podignute eksplozijom, sadrže radioaktivne atome iz svog sastava, koji su postali radioaktivni u trenutku eksplozije pod uticajem neutrona.

Ubrzo posle atomske eksplozije ovi hemijski elementi stvaraju najpre okside, a kasnije složenija hemijska jedinjenja. Njihove raznovrsne hemijske osobine još više komplikuju sliku kontaminacije. Najveći deo radioaktivne kontaminacije u obliku radioaktivne prašine, dakle čvrstog agregatnog stanja, dospeva, taloženjem i sedimentacijom, pod uticajem zemljine teže, na površinu zemlje za kraće ili duže vreme, zavisno od veličine čestica. Tom prilikom se prouzrokuju kontaminacije velikih razmera.

Pošto su atomske eksplozije često praćene kišama, ove ili druge atmosferske padavine obaraju radioaktivni materijal u vidu ne samo čvrstih čestica već i rastvora. Kako kod atomske eksplozije nastaju ogromne količine azotovih oksida (bomba od 20 MT može pri eksploziji stvoriti  $5 \cdot 10^4$  do  $5 \cdot 10^5$  t oksida azota) u atmosferi, koji stvaraju azotnu i druge azotne kiseline, dolazi do povećavanja kiselosti (smanjivanja pH) kišnice, što utiče na hemijsku aktivnost radioaktivnih padavina dospelih na površinu nekog materijala.

Radionuklidi koji se posle atomske eksplozije istalože na površini zemlje ili drugim materijalima, bez obzira na oblik, tj. da li se radi o prašini ili o radioaktivnoj kiši, nazivaju se zajedničkim imenom radioaktivnim padavinama.

Dekontaminacija se može definisati kao uklanjanje radioaktivnog kontaminanta sa kontaminirane površine. Dekontaminacionim postupkom teži se ka potpunom uklanjanju radioaktivnog kontaminanta sa neke površine, a ako to nije moguće, onda toliko da praktično ne predstavlja opasnost, a da se ta površina što manje ošteti. Radioaktivni materijal, izdvojen dekontaminaci-

jom, uklanja se na takav način i na takvo mesto gde više ni za koga neće predstavljati opasnost.

Rešavanje problema dekontaminacije u praksi zahteva stručno znanje, dobro poznavanje hemijskih osobina kontaminanata, materije za dekontaminaciju i osobina materijala koji se dekontaminira.

U više slučajeva biće relativno lako da se površina dekontaminira i dovede u »neaktivno«, normalno stanje. Međutim, postoji izvesna granica, uslovljena postojanjem i uticajem pomenutih fizičkih i fizičko-hemijskih pojava, pri kojoj radioaktivni kontaminant često ostaje čvrsto vezan za površinu i kod koje je potrebno da se primene takvi postupci i takvi agensi, koji će raskinuti veze između kontaminanta i površine i ovu osloboditi od vezanog radioaktivnog kontaminanta.

Da bi se dekontaminirala neka površina potrebno je da se najpre razore veze između kontaminanta i površine, kao i da se odabere takva metoda koja će omogućiti vezivanje kontaminanta sa agansom kojim se dekontaminira.

Ovo se postiže unošenjem u sistem površina — kontaminant ekvivalentne količine energije koja će biti u stanju da razori veze između kontaminanta i površine. Ta energija može biti mehanička, hemijska i sl., a često se i kombinuje dva ili više vidova energije.

Opšti principi kojih se treba pridržavati i faktori koje treba razmotriti pre dekontaminacije su: da se utvrdi početna aktivnost (ili brzina doze na određenom odstojanju iznad površine) kontaminirane površine; da se utvrdi stanje kontaminirane površine, tj. da li je glatka, rapava, zarđala, zamašćena i sl.; da se utvrdi granica tolerantne aktivnosti (ili brzina doze na određenom odstojanju iznad površine) do koje treba dekontaminirati; da se utvrdi maksimalno dopustiva doza zračenja koju smeju primiti ljudi pri obavljanju dekontaminacionih poslova; da se odluči o tome da li uopšte dekontaminirati ili sprovesti evakuaciju, a materijal prepustiti prirodnoj dekontaminaciji; da se odluči o tome da li najpre ići na delimičnu dekontaminaciju (da bi se smanjila opasnost

ili omogućila makar kratkovremena upotreba nekog predmeta) ili odmah pristupiti potpunoj dekontaminaciji; da se izabere i obezbedi potrebna zaštitna oprema za postojeću vrstu i obim dekontaminacije; da se postavi potrebna organizacija rada (smena ljudstva), rasporede objekti koji se podvrgavaju obradi i uredi radno mesto da bi se sprečilo rasturanje radioaktivnog kontaminanta koji je prešao sa površine u rastvor za dekontaminaciju.

Postoje razni načini izražavanja postignutog stepena dekontaminacije. Tako se potpunost izvršene dekontaminacije može izraziti kao:

$$\text{faktor dekontaminacije: } FD = \frac{\text{početna aktivnost}}{\text{krajnja aktivnost}}$$

$$\text{indeks dekontaminacije: } ID = \log \frac{\text{početna aktivnost}}{\text{krajnja aktivnost}}$$

procenat skinute aktivnosti:

$$\% SA = 100 \cdot \frac{\text{početna aktivnost} - \text{krajnja aktivnost}}{\text{početna aktivnost}}$$

U najviše slučajeva prilikom obrade nekog materijala neće biti dostignuta tražena tolerantna aktivnost. U tom slučaju postupak se ponavlja dok se ne postigne traženi tolerantni nivo aktivnosti. U prvom stepenu, tj. prilikom prve obrade, postiže se najveći efekat, tj. procenat skinute aktivnosti je najveći. U svakom daljem stepenu aktivnost se sve teže i sporije skida sa date površine.

*Metode i materije za dekontaminaciju.* Radiološka dekontaminacija može biti prirodna i veštačka.

Prirodna je ona kad kontaminirani predmet odstoji na takvom mestu, gde ne predstavlja opasnost po okolinu, sve dok aktivnost ne opadne do tolerantne granice usled prirodnog radioaktivnog raspada. Potrebno vreme iznosi 6—7 vremena poluraspada datog radionuklida.

Veštačke metode dekontaminacije dele se na: fizičke, hemijske i kombinaciju ovih, što je najčešće slučaj.

Fizičke metode dekontaminacije su one kod kojih se radioaktivnost skida mehaničkim načinom ili ispiranjem, pri čemu se koriste efekti spiranja, a eventualno i rastvaranja.

Kod hemijskih metoda dolazi do međusobne reakcije između materije za dekontaminaciju i kontaminanta, ali ne u smislu nekih hemijskih promena, već radi prevođenja kontaminanta u oblik koji omogućuje da se lakše ukloni sa površine.

U svakom slučaju pri dekontaminaciji ne dolazi do uništenja radioaktivnosti jer je to, s obzirom na prirodu radioaktivnosti, nemoguće postići, već se ona samo uklanja sa kontaminirane površine. Zbog toga valja uvek imati na umu da je skinut kontaminant aktivan i da ga treba skloniti na bezopasno mesto. Ukoliko se dekontaminira ispiranjem pomoću većih količina rastvora, mora se voditi računa o sakupljanju otpadnih tečnosti, kako se ne bi kontaminirali izvori pijaće vode ili prirodni tokovi voda. Kod obimnijih radova treba predvideti posebne mere predostrožnosti.

Dekontaminacija vodom može se obaviti prskanjem kontaminiranog predmeta mlazom pod pritiskom koji se normalno kreće od 4 do 6 at, a može i više od 10 do 15 at, ili trljanjem u kombinaciji sa ispiranjem pomoću tuš-četki raznog oblika. U slučaju pranja mlazom najpovoljniji je takav položaj mlaznice da voda dolazi na predmet pod uglom od oko  $45^{\circ}$ . U oba slučaja, a naročito kod pranja četkanjem, treba paziti da se kontaminirani rastvor ne preliva preko očišćene površine, tj. predmeti se obrađuju odozgo prema dole. Pri trljanju četkom utrošak vode je mnogo manji nego kad se pere mlazom.

Voda, kao i vodena para, može da udalji samo čestice koje su slabo vezane za površinu, na primer, kod kontaminacije taloženjem radiaktivne prašine. U takvom slučaju može se vodom ukloniti do 90% pa i više kontaminanta deponovanog na površinu. Ukoliko su površine zamašćene, nešto veći efekat u odnosu na hladnu vodu postiže se toplom ( $60-70^{\circ}$  C i više).



Mlaz pare dejstvuje slično toploj vodi, samo što je njeno dejstvo jače, jer dosta brzo rastvara nečistoće, a delimično i masnoće, te kondenzijom i spiranjem odnosi kontaminant sa površine. Ovaj način je efikasan ako se upotrebljava uređaj za raspršivanje vodene pare.

Na ove načine mogu se obrađivati gotovo sve vrste površina materijala.

Posebnu pažnju zahteva uklanjanje kontaminiranih otpadnih voda. Ukoliko se radi o dekontaminaciji većih razmera, ovo se postiže kopanjem odgovarajućih kanala i jama za slivanje tečnosti.

Pri radu se moraju upotrebljavati zaštitna odeća i maska, sem kod manjih dekontaminacija na laboratorijskom nivou.

Dekontaminacija rastvorom deterdženta i sapuna ista je kao kod obrade vodom, tj. prskanjem u obliku mlaza ili pranjem uz trljanje pomoću tuš-četki, pri čemu je preimućstvo u trljanju zbog manjeg utroška rastvora. Rastvori deterdženta su efikasniji od vode jer lakše uklanjaju nečistoću i masnoću. Topli rastvori deterdžentata (60—70° C) nešto su efikasniji od hladnih.

Za dekontaminaciju su pogodni 0,5—2% rastvori naših komercijalnih deterdženata (»Plavi radion«, »Meril«, »Tajm«, »Peril«, »Oskar« i dr.).

Deterdženti su, slično sapunima, površinski aktivne materije. Mehanizam njihovog dejstva još nije dovoljno poznat, ali se uopšteno može objasniti na sledeći način: lako se apsorbuju na graničnoj površini faze pa, povećavajući površinu, smanjuju međufazni granični napon. Čestice kontaminanta bivaju okružene adsorbovanim molekulima deterdženta i ulaze u tanke opne koje zatvaraju mehurići vazduha u peni stvorenoj deterdžentom. Ovo omogućava da se zajedno sa penom spera i kontaminant.

Po hemijskom sastavu deterdženti su smeša raznih komponenata od kojih su najvažnije tzv. površinsko aktivne materije koje im daju svojstva površinskog kvašenja, a to su, na primer, alkil-aril-sulfonati itd. Ostale

komponente su alkalije i neutralne soli; ove poslednje služe kao punila.

Pomoću rastvora deterdženta mogu se obrađivati najrazličitije površine. U nedostatku deterdženata, koriste se rastvori sapuna u vodi koji se upotrebljavaju na isti način.

Obrada organskim rastvaračima koristi se za dekontaminaciju jako zamaščenih i obojenih površina. Za ovu svrhu mogu se upotrebiti benzin, nafta, petrolej, alkohol, aceton, ugljen tetrahlorid, terpentini itd. Petrolej, benzin, nafta i alkohol potpuno uklanjaju masnoće ali boju, samo delimično. Rastvaračima se dekontaminiraju uglavnom sitniji metalni predmeti i to potapanjem u rastvor ili pranjem pomoću tampona, krpe ili sl.

Posle upotrebe organskih rastvarača, očišćeni predmet se dobro ispere vodom ili sredstvima za pranje — deterdžentima.

Plastični materijali i gumeni predmeti ne mogu se obrađivati rastvaračima.

Rad sa organskim rastvaračima zahteva opreznost, pošto su često lako zapaljivi, a i pare nekih od njih su otrovne. Zbog tog se rastvarači ne mogu koristiti za dekontaminaciju većih površina.

Obrada alkalijama sa uspehom se može primeniti za dekontaminaciju obojenih površina. One deluju tako što rastvaraju ili omekšavaju boju koja se potom lako uklanja zajedno sa radioaktivnim česticama, ostavljajući čistu površinu. Najčešće se upotrebljavaju natrijum-hidroksid (NaOH) i kalijum-hidroksid (KOH). Za potpuno skidanje boje upotrebljavaju se koncentrovani rastvori alkalija. Rastvor koji u 1 l sadrži 400 gr NaOH uklanja boju sa oko 10 m<sup>2</sup> površine. Međutim, za omekšavanje boje mogu se koristiti i manje koncentrovani rastvori NaOH (5—10% u vodi).

Dekontaminacija se obavlja potapanjem predmeta u rastvor alkalija ili kvašenjem. Prilikom kvašenja rastvor alkalija se tamponima pažljivo nanese po čitavoj površini i ostavi dok boja dovoljno ne omekša da se može ukloniti mlazom vode. Vreme potrebno za omekšavanje

boje kreće se od 15 minuta do 2 sata, zavisno od njene hemijske prirode.

Za dekontaminaciju predmeta koji se ne mogu uroiniti u rastvor dodaje se na 1 l rastvora oko 10 gr škroba. Dodatak škroba povećava lepljivost rastvora, što mu omogućuje da bolje prijanja za površinu.

Kod rada sa alkalijima potrebna je opreznost, pošto štetno deluju na kožu. Za rad su potrebne gumene rukavice i naočare za zaštitu očiju, a kod radova većeg obima i druga zaštitna sredstva.

Dekontaminacija pomoću jakih mineralnih kiselina koristi se kad su ostali postupci otkazali. Ovo zato što kiseline u većini slučajeva mogu da oštete obrađivanu površinu. Za dekontaminaciju se mogu upotrebiti sumporna ( $H_2SO_4$ ), hlorovodonična (HCl), i azotna kiselina ( $HNO_3$ ). Njima se mogu obrađivati staklene i metalne površine i predmeti od plastične mase. Izbegava se čišćenje većih površina na ovaj način. Najpogodnija koncentracija za rad bilo koje od ovih kiselina dobija se razblaživanjem sa vodom u odnosu 1 : 8.

Predmeti se mogu dekontaminirati uronjavanjem ili pažljivim trljanjem nakvašenim tamponima. Po završenoj obradi kiselinama treba ih oprati vodom i eventualno rastvorom deterdženta ili sapuna.

Pri radu sa kiselinama obavezne su gumene rukavice i zaštitne naočare, a eventualno i posebna odeća sa gumenim čizmama.

Obrada hemikalijama koje stvaraju komplekse primenjuje se u nekim slučajevima, kad su površine kontaminirane teško rastvorljivim radionuklidima koji su tako čvrsto vezani za površinu da se drugim postupcima ne mogu ukloniti. Izvesne hemikalije u reakciji sa radioaktivnim česticama stvaraju rastvorljive komplekse koji se pranjem mogu ukloniti sa površine. Na taj način deluju soli limunske, oksalne, sirćetne kiseline i natrijum-heksametafosfat. Osobito je među komercijalnim kompleksonima poznat versen (natrijumova so etilen-diamionotetra-sirćetne kiseline).

Zadovoljavajuće rezultate daju 3—5% vodeni rastvori ovih soli i mogu da se koriste na različitim površinama.

Veće površine preliju se radi dekontaminacije tankim filmom rastvora. Nekorisno je zalivati površinu stalno novim količinama, jer se korisni efekat ne povećava. Rastvor se ostavi u kontaktu sa površinom 15—30 minuta, posle čega se uklanja ispiranjem vodom.

Kod dekontaminacije, važe uobičajena pravila za zaštitu pri radu sa radioaktivnim rastvorima, a upotrebljavaju se zaštitna sredstva.

Mehanička obrada površina predstavlja jedan od mogućih postupaka dekontaminacije. Suva površina kontaminirana praškastim materijalom može se dekontaminirati usisavanjem pomoću usisavača za prašinu. Valja imati u vidu da se usisavač pri tome kontaminira.

Ponekad se radioaktivnost sa neke površine može skinuti običnim ribanjem pomoću sredstva za čišćenje na vlažno (VIM). Međutim, ovo tretiranje zahteva više vremena i napora, a na kraju predmet treba i oprati.

Udaljavanjem, tj. skidanjem gornjeg sloja površine stepen dekontaminacije je potpun, samo se time narušava struktura materijala. Za dekontaminaciju većih predmeta upotrebljava se aparat koji pod pritiskom izbacuje snažan mlaz peska ili metalnih opiljaka. Noviji aparati mogu da izbačeni pesak ili opiljke odmah vakuumom vraćaju u aparat.

Za skidanje gornjeg sloja materijala sa sitnijih predmeta mogu se upotrebiti hartije za poliranje, struganje i sl., a kod drvenih predmeta i rendisanje.

Dekontaminacija pranjem, se sastoji u višekratnom pranju, pri čemu se primenjuje jedno ili kombinacija više sredstava i najčešće je kod dekontaminacije odeće.

Radioaktivni materijali se vrlo lako zadržavaju na tkaninama. Zato je pri svakom radu sa aktivnim materijalom obavezno kontrolisanje odeće i obuće.

Kontaminirana odeća pakuje se u vreće od plastične mase ili nekog drugog materijala koji će sprečiti

kontaminaciju okoline prilikom prenošenja odeće na mesto za dekontaminaciju.

Kontaminirana odeća se razvrstava prema nameni (donje rublje, odeća, zaštitna odeća); prema stepenu kontaminacije (odvaja se jako kontaminirana odeća od manje kontaminirane); prema vrsti kontaminanta (ovo je moguće kad je kontaminant poznat, tj. pri radu sa radioaktivnim materijalom u mirnodopskim uslovima).

Osnovni način dekontaminacije odeće je pranje, iako se izvestan stepen može postići i drugim postupcima, na primer usisavanjem, istresanjem i četkanjem, ukoliko se radi o kontaminaciji radioaktivnom prašinom, a odeća je suva.

Za dekontaminaciju odeće dolazi u obzir pranje u toplom (60—80°) rastvoru sapuna ili deterdženta (1—2%). Treba ponoviti 2—3 pranja u trajanju 10—15 min, a zatim dvostruko ispiranje vodom po 6—10 min. Moguće je i upotreba versena, kojom se skraćuje postupak. Dovoljno je pranje od 10 min u 1—2% rastvoru versena i dvostruko ispiranje vodom od po 10 min da bi se dobio visok efekat dekontaminacije. U nedostatku versena može se upotrebiti limunska kiselina u istom procentu; kad je kontaminant naročito čvrsto vezan za odeću, pranje se može kombinovati sa jednostrukim potapanjem u 1—2% rastvor sone kiseline. Ovo se primenjuje u slučaju nužde, jer kiselina znatno smanjuje vek tkanine.

Kod organizovanja dekontaminacije veće količine odeće potrebno je da se obrati pažnja na kontrolisano odvođenje otpadnih — kontaminiranih voda. Pri radu se upotrebljava zaštitna odeća.

Delimična dekontaminacija suve odeće usisavanjem može prethoditi pranju. Ostali postupci, — istresanje i četkanje —, primenjuju se kao priručni, kad nema mogućnosti za pranje.

## Tehnička sredstva za dekontaminaciju

*Automobil-cisterna za dekontaminaciju* je specijalno vozilo za dekontaminiranje ljudi, tehničkih sredstava i zemljišta u vanrednim uslovima. Pored osnovne namene takva se vozila mogu koristiti i za gašenje požara, prenošenje i ispumpavanje vode. Sami uređaji mogu biti različito konstruktivno izvedeni, iako su u osnovi isti. Najčešće se razlikuju po broju radnih mesta (priključna mesta za radna creva) i vrsti kompleta, odnosno pomoćnog pribora.

Automobil-cisterna za dekontaminaciju sastoji se od vozila sa cisternom, priključnog uređaja, pripadajućeg kompleta, alata i rezervnih delova. Radna zapremina cisterne iznosi oko 2.000 l. Ima vlastitu pumpu za punjenje i potiskivanje tečnosti. Ona obezbeđuje na krajevima creva potreban radni pritisak koji može iznositi i 10—15 at. Pumpu pokreće motor vozila.

U pribor za dekontaminaciju tehničkog sredstva ulaze radna creva i razni tipovi raspršivača, odnosno tuš-četke.

Automobil-cisterna za dekontaminaciju upotrebljava se u slučaju masovnih kontaminacija ili ako treba velike površine obraditi vodom, odnosno pomoću rastvora detrdženata.

Betonski i asfaltni putovi mogu se dekontaminirati ispiranjem mlazom pod pritiskom ili prskanjem vodom sa raspršivačima (rozetama) za pranje ulica.

Za snabdevanje vodom za dekontaminaciju na terenima gde nema dovoljno vode, koristi se automobil-cisterna. Ona se pored ove namene može upotrebiti za dekontaminaciju — pranje ulica, gašenje požara i ispumpavanje vode. Vozilo — cisterna snabdeveno je centrifugalnom pumpom velikog kapaciteta koja omogućuje brzo punjenje cisterne i pretakanje vode.

Automobil-cisterna zajedno sa prikolicom može preneti oko 5000 l vode.

*Dekontaminacioni komplet* je prenosno tehničko sredstvo namenjeno za dekontaminaciju tehničkih sredstava,

a može poslužiti i za pretakanje tečnosti i gašenje požara.

Ovim uređajem mogu se obrađivati teren ili stvari vodom i deterdžentima.

Komplet se sastoji od: motorne pumpe ugrađene na zaštitni ram koji služi za prenošenje. Pumpa crpe vodu i šalje u kolektor radnih creva. Za pogon pumpe služi benzinski motor. Ona obezbeđuje u radnim crevima pritisak 5—6 at. U pribor, pored radnih creva, ulaze i razni tipovi raspršivača i tuš-četke. Usisno crevo za crpljenje vode ima zaštitno sito koje sprečava mehaničku nečistoću da uđe u pumpu. Pored navedenog, u dekontaminacioni komplet spadaju i gumeni rezervoar za vodu, kofe, alat i drugi pribor.

Dekontaminacioni komplet prevozi se kamionom ili kolima, a na kraćim odstojanjima može se ručno prenositi.

Hidropult predstavlja običnu ručnu pumpu sa stabilizatorom, usisnim i radnim crevom i delovima za raspršivanje tečnosti (mlaznicom, raspršivačem, četkom).

Najbolji rezultati se postižu kod pumpanja brzinom od oko 30 pokreta klipa u minuti. Tada brzina protoka tečnosti iznosi oko 3—3,5 l/min.

Pumpa se nosi u rancu od čvrstog platna, zajedno sa celokupnim priborom.

*Perionica.* Za pranje odeće na terenu postoje specijalne pokretne perionice na vozilima. Ovakav uređaj može se upotrebiti i za dekontaminaciju odeće pranjem, najčešće u rastvoru deterdženta.

Uređaj se sastoji od: perionice (rotacionog bubnja) sa centrifugom i sušnicom.

Perionica ima uređaje za regulisanje temperature i vremena pranja, pomoćnu opremu za prenošenje i sušenje odeće, kao i vlastiti agregat za pogon motora.

S obzirom na prilično dug proces pranja, ovakav uređaj ima relativno ograničen kapacitet.

*Mesna sredstva za dekontaminaciju.* U nedostatku tehničkih sredstava namenjenih dekontaminaciji u van-

rednim uslovima moguće je koristiti i sredstva čija osnovna namena nije dekontaminacija. Tako se za dekontaminaciju tehničkih sredstava mogu upotrebiti svi uređaji pomoću kojih se može raspršivati voda ili vodeni rastvori pod pritiskom u obliku mlaza ili pomoću raznih raspršivača. Tu spadaju hidrantski uređaji, vatrogasne i druge cisterne, motorne pumpe, ledne (vinogradarske) prskalice raznih tipova i sl.

Za dekontaminaciju odeće se u slučaju potrebe mogu upotrebiti svi uređaji koji se normalno upotrebljavaju za pranje ili hemijsko čišćenje rublja, kao komunalne perionice, hemijske čistionice i uređaji u domaćinstvima. Prilikom njihove upotrebe mora se voditi računa o navedenim principima pri radu na dekontaminaciji odeće. Osobitu pažnju valja obratiti na odvod kontaminirane vode. U vanrednim uslovima, u većini slučajeva, naročito ako je odeća prethodno delimično dekontaminirana nekim suvim postupkom, otpadne vode moći će se izliti u kanalizaciju.

Za dekontaminaciju betonskih i asfaltnih puteva mogu se upotrebiti sve vrste cisterni pomoću kojih se voda može prskati pod izvesnim pritiskom (pranje mlazom) i komunalni uređaji-cisterne za pranje ulica prskanjem. Dekontaminacija običnih puteva ne dolazi u obzir, već se samo prskaju vodom da se radioaktivna prašina ne bi podigla. Za ovu svrhu mogu se upotrebiti, i otpadne vode iz fabrika hartije (podlužnice) koje fiksiraju prašinu bolje od vode, kao i razne pene koje se inače upotrebljavaju za gašenje požara (u nekim tipovima vatrogasnih aparata).

Za dekontaminaciju zemljišta mogu se upotrebiti buldožeri, kojima se skida sloj zemlje, ili plugovi koji preoravanjem zemlje smanjuju brzinu doze zračenja.

Na ograničenim površinama može se dekontaminacija izvesti i nanošenjem sloja čiste zemlje ili odstranjivanjem gornjeg sloja zemlje priručnim sredstvima (lopatama, motikama i sl.).

*Priručna sredstva za dekontaminaciju.* U slučaju nedostatka uređaja ili materije za dekontaminaciju, ili zbog



potrebe da se što pre smanji stepen opasnosti za ljude, predmeti za ličnu upotrebu, odeća i razni predmeti kojima ljudi rukuju, mogu se delimično dekontaminirati i priručnim sredstvima na licu mesta. Pomoću njih se ne može postići onaj efekat dekontaminacije koji se postiže upotrebom odgovarajućih uređaja, postupaka i materija, već je dekontaminacija delimična — smanjuje se stepen opasnosti i omogućuje da se sačeka izvesno vreme do potpune dekontaminacije.

Za dekontaminiranje čvrstih površina (metala, drveća i sl.) mogu se upotrebiti trava, lišće, seno, krpa, kućina i sl., pomoću kojih se aktivitet skida običnim trljanjem. Predmeti se trljaju odozgo prema dole, a tamponi priručnog materijala menjaju ili okreću tako da se predmet trlja uvek čistom stranom. Ako se u blizini nalazi voda, efikasnije je da se predmeti peru uz trljanje vlažnim krpama, senom i sl.

Odeća se može delimično dekontaminirati istresanjem radioaktivne prašine (uslov je da bude suva), četkanjem ili pranjem u tekućoj vodi. Prilikom trešenja treba paziti na smer vetra, kako prašina ne bi kontaminirala čiste predmete. Kod ovih radova ljudstvo se štiti maskama, a ukoliko nema druge zaštitne opreme, po obavljenom poslu se što pre dekontaminira pranjem, odnosno kupanjem uz primenu odgovarajućih sredstava.

### *Izbor metoda dekontaminacije u vanrednim uslovima*

U vanrednim — ratnim uslovima javlja se problem masovnih kontaminacija radioaktivnim podavinama. U takvoj situaciji ne mogu više da potpuno važe mirnodopska merila i kriterijumi naročito u pitanju tolerantnih aktivnosti koje se moraju dekontaminacijom postići. U tim okolnostima važno je da se što pre poduzmu sve mere koje će omogućiti što normalniji život stanovništvu i što pre smanjiti postojeći stepen opasnosti.

Pred metode dekontaminacije u vanrednim uslovima postavljaju se sledeći zahtevi: da budu brze i kratke;

Tabela 44 — Pregled metoda i materija za dekontaminaciju površina

| materijal<br>(površina)          | metoda (materija)                     | način obrade                                    | stanje površine<br>posle obrade                   | napomena                              |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 1                                | 2                                     | 3   | 4   | 5                                     |
|                                  | pranje voda deterdženti (0,5—2%)      | ispiranje pod pritiskom, trljanje pomoću četke  | nepromenjena                                      | deterdženti pogodni za masne površine |
| metali                           | ispiranje organskim rastvaračima      | potapanje u rastvarač ili obrada pomoću tampona | „   | dobro za masne površine               |
|                                  | obrada neorganskim kiselinama         | potapanje ili trljanje nakvašenim tamponima     | delimično se oštećuje i postoji opasnost korozije | rastvara metale i okside              |
|                                  | kompleksioni (3—5%)                   | prelivanje rastvorom i ispiranje vodom          | nepromenjena                                      |                                       |
|                                  | usisavanje prašine                    |   | „   | kontaminira se usisivač               |
|                                  | skidanje gornjeg sloja                | peškarenje, obrada (polir paste, brusilice)     | oštećena  | površina mora biti vlažna             |
|                                  | pranje vodom i deterdžentima (0,5—2%) | ispiranje, pod pritiskom, trljanje pomoću četke | nepromenjena                                      |                                       |
| obojene površine<br>(metal-drvo) | organski rastvarači                   | potapanje ili trljanje nakvašenim tamponima     | uklanja boju                                      |                                       |
|                                  | obrada alkalijama                     | potapanje ili kvašenje                          | uklanja većinu boja                               | ne upotrebljavati za aluminijum       |
|                                  | kompleksioni (3—5%)                   | prelivanje i spiranje vodom                     | razmekšavaju neke boje                            |                                       |

| 1                  | 2  | 3  | 4                  | 5                                    |
|--------------------|--|--|--------------------|--------------------------------------|
| neobojeano<br>drvo | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, trljanje pomoću<br>četki | nepromenjena       |                                      |
|                    | usisavanje prašine                         |  | „                  | kontaminira se usi-<br>sivač         |
|                    | struganje                                  | rendisanje struganje<br>pomoću staklene<br>hartije     | oštećena           |                                      |
| beton              | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje                 | nepromenjena       |                                      |
|                    | usisavanje prašine                         |  | „                  | kontaminira se usi-<br>sivač         |
| asfalt             | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje                 | nepromenjena       | kontaminira se usi-<br>sivač         |
|                    | struganje                                  | skidanje gornjeg sloja                                 | oštećena           |                                      |
|                    | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje (četke)         | nepromenjena       |                                      |
| linoleum           | obrada rastvaračem<br>(trihloretilen)      | trljanje nakvašenom<br>krpom                           | delimično oštećena | skidanje voštanog<br>zaštitnog sloja |
|                    | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje (četke)         | nepromenjena       |                                      |
| staklo             | obrada neorganskim<br>kiselinama           | pranje trljanje nakva-<br>šenim tamponima              | „                  |                                      |
|                    | obrada kompleksioni-<br>ma (3—5%)          | trljanjem nakvašenim<br>tamponima                      | „                  |                                      |

| materijal<br>(površina) | metoda (materije)                          | način obrade                                   | stanje površine<br>posle obrade | napomena |
|-------------------------|--|--|---------------------------------|----------|
| 1                       | 2  | 3  | 4                               | 5        |
| pleksistaklo            | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje (četke) | ”                               |          |
|                         | obrada organskim ra-<br>stvaraćima         | trijanje nakvašenim<br>tamponima               | delimično oštećena              |          |
|                         | pranje vodom i deter-<br>džentima (0,5—2%) | ispiranje pod priti-<br>skom, prskanje (četke) | nepromenjena                    |          |
| plastične<br>mase       | obrada neorganskim<br>kiselinama           | trijanje nakvašenim<br>tamponima, potapanje    | ”                               |          |
|                         | obrada kompleksoni-<br>ma (3—5%)           | trijanje nakvašenim<br>tamponima               | ”                               |          |
| zemljište               | skidanje gornjeg sloja                     | buldožer                                       |                                 |          |
|                         | prekopavanje                               | plug   |                                 |          |

da budu univerzalne i primenljive za razne materijale; da se ne troše velike količine sredstava i da nisu potrebne opasne hemikalije; da se mogu koristiti namenska i razna mesna tehnička sredstva.

Najčešće će se primenjivati i najdostupnija je upotreba vode za pranje i deterdženata. Pri tome je ekonomičnije pranje uz trljanje četkom, nego pranje mlazom pod pritiskom, jer se upotrebom četke manje troši voda. Sve ostale materije su manje dostupne, a i postupci su komplikovaniji, pa se njihova upotreba može očekivati samo u krajnjoj nuždi ili kad se raspolaze većim količinama.

Za svakog pojedinca je neobično važno da pored svih mera zaštite poznaje i one postupke i sredstva za dekontaminaciju koji su mu najdostupniji. Zbog nedostatka tehnike, materijala ili vremena, težište će biti u primeni mesnih i priručnih sredstava, pri kojima najprimitivnija, kao najdostupnija, ne treba zanemariti, jer mogu u velikoj meri smanjiti stepen opasnosti.

### *Dekontaminacija zemljišta i građevinskih objekata*

Jedan od najtežih problema u slučaju kontaminacije radioaktivnim padavinama predstavlja dekontaminacija zemljišta, puteva i građevinskih objekata. Problem, zbog ogromnosti površina koje treba očistiti, izgleda praktično nerešiv. Skeptičnost sa kojom se prilazi ovom pitanju nije daleko od istine, mada se mogu postići zadovoljavajući rezultati, ali, na žalost, na veoma ograničenim površinama.

Pitanju dekontaminiranja ovih površina može se prići sa aspekta delimične dekontaminacije /bolje rečeno izolacije kontaminanta/ ili potpune.

Pod delimičnom dekontaminacijom podrazumeva se urgentno osposobljavanje puteva, čišćenje manjih površina zemljišta, glavnih saobraćajnica u gradovima i sl. Potpuna dekontaminacija zahteva angažovanje mnogobrojnih mehaničkih uređaja i primenu odgovarajućih

hemijskih postupaka uz izvanredno veliki utrošak hemikalija, s obzirom na dimenzije zagađenih površina.

Kod delimične dekontaminacije ne može se govoriti o čišćenju većih površina. U najboljem slučaju, radi se o dekontaminiranju manjih »ostrva« u kontaminiranoj zoni, koja bi poslužila za smeštaj bolničkih i ambulantan centara, poljskih štabova službe zaštite i punktova zaštite i punktova veza. Celishodnost dekontaminiranja zemljišta ograničava se na površine koje maksimalno zahvataju do 10.000 m<sup>2</sup>, tj. zonu ograničenu stranicama dužine do 100 m.

*Dekontaminacija zemljišta.* Delimična dekontaminacija zemljišta svodi se na uklanjanje gornjeg kontaminiranog sloja. Ovo se može postići upotrebom buldožera i drugih sličnih mašina. Dobro je da se zemljište prethodno ovlaži, da se ne bi dizala prašina. Uklonjena zemlja ravnomerno se raspoređuje duž ivica dekontaminirane zone. Kada bi se uklonjena zemlja sakupila u tri do četiri hrpe, kontaminat koncentrisan u njima postao bi snažan izvor zračenja. Čak kada je uklonjena zemlja ravnomerno raspoređena po ivicama, treba voditi računa o jačini doze koja potiče od ovih humki. Mesta na kojima se predviđa boravak i zadržavanje ljudi postavljaju se dalje u dubinu očišćene zone, rukovodeći se jačinom doze zračenja od nagomilane zemlje na ivicama. Idealno rješenje svakako predstavlja odvlačenje uklonjene zemlje na neko mesto gde neće predstavljati opasnost. Ovakav način dekontaminacije veoma je spor. Prilikom izbora terena koji će biti očišćen, treba voditi računa da bude uzdignut u odnosu na okolinu, ili postavljen tako da se atmosferske vode ne slivaju na njega.

Druga mogućnost je prevrtanje zemlje oranjem uz eventualno prethodno kvašenje. Ovo je takođe veoma efikasan postupak. Zemlja se prevrće do dubine od 40—50 cm. Prevrnuti sloj može znatno da smanji dozu zračenja. Drljanje je mnogo manje efikasan postupak, jer znatne količine kontaminanta ostaju na površini, a prevrnuti sloj zemlje je plitak, tako da gotovo ne snižava dozu zračenja.

Posle navedenih radova obavezni su kontrola i dekontaminacija upotrebljenih mašina i alata.

Potpunoj dekontaminaciji, ukoliko se o tome uopšte može govoriti, pristupa se kad prestanu borbena dejstva. Neophodnost da se ovo pokuša uslovljena je životnom potrebom poljoprivredne proizvodnje i ishrane stanovništva.

Bez obzira na to što ukupna doza koja potiče od radioaktivnosti fisionih produkata relativno brzo opada, zaostaju znatne količine izotopa koji dugo žive. Među njima su najopasniji cezijum-137 i stroncijum-90 koji mogu praktično onemogućiti svako obrađivanje i kultivisanje zemljišta<sup>34</sup>.

Među fisionim produktima najveću opasnost predstavlja stroncijum-90 koji se veoma lako zamenjuje sa kalcijumom, i mnogo intenzivnije nego drugi radioaktivni izotopi (celzijum, rutenijum, cirkonijum) prelazi iz zemlje u nadzemne delove rastinja. Stroncijum, koji se taloži na površinu neobrađene zemlje, koncentriše se 80% u površinskom sloju debljine do 5 cm. U obrađenoj zemlji raspoređuje se po celoj dubini obrađenog sloja. Kad iz zemlje prelazi u rastinje, stroncijum se koncentriše kod povrća u lišću, a kod zrnastih kultura uglavnom u stabljici, a delimično u zrnu. Opšta količina stroncijuma u rastinju je 2—3 puta veća nego količina ostalih fisionih produkata.

Fizička i kemijska svojstva nekih fisionih produkata slična su osobinama odgovarajućih stabilnih izotopa koji se nalaze u zemljištu, rastinju i organizmu ljudi i životinja.

Najčešće se stroncijum ponaša kao kalcijum, a celzijum kao kalijum, mada je utvrđeno da stroncijum, u poređenju sa kalcijumom, u manjoj meri prelazi iz tla u rastinje, a iz rastinja u organizam.

---

<sup>34</sup> Interesantni ogledi izvedeni su u Novom Meksiku četiri i po godine nakon eksplozije prve atomske bombe. Na kontaminiranom tlu bili su posejani povrće i zrnaste kulture. Kontrolom je utvrđeno da plodovi sadrže znatne količine radioaktivnog stroncijuma.

Relativan sadržaj stroncijuma-90 u zemljištu, rasti-nju, mleku, tkivu ljudi i životinja meri se stronciju-movom jedinicom. Ova jedinica izražava koncentraciju stroncijuma-90, prema njegovoj radioaktivnosti, na 1 kg kalcijuma u materijalu koji se ispituje. Jedna stronci-jumova jedinica ravna je  $1 \cdot 10^{-12}$  Ci Sr-90/grCa.

Cezijumova jedinica ima istu vrednost, samo što se određuje u odnosu na kalijum. Njena vrednost iznosi  $1 \cdot 10^{-12}$  Ci Cs-137/grK.

Par cezijum — kalijum ima znatno manje sličnih osobina nego par stroncijum-kalcijum. Izražavanje cezi-juma-137 u cezijumovim jedinicama koristi se uglavnom da bi se olakšala fizička merenja, a ne zbog sličnosti u metaboličkom ponašanju ovih elemenata.

Imajući u vidu fizičko-hemijsko stanje fisionih pro-dukata, o kojem je ranije detaljnije govoreno (jonske i nejonske forme, sinterovani oksidi), moguće je, razma-trajući i ostale faktore, doći do izvesnih zaključaka o potpunijoj dekontaminaciji zemljišta.

Fizički oblik površina (ili, bolje rečeno, zapremina) zemljišta važan je faktor. Pomeranje deponovanih radio-aktivnih padavina uslovljeno je propustljivošću sredine i postojanjem pukotina kojima radioaktivne čestice mogu da se kreću nadole i ustranu.

U nepropustljive formacije ubrajaju se gline i veoma kompaktan pesak, ali prirodna propustljivost može često biti veća od ukupne, što uslovljava postojanje pukotina u zemljištu. Ovo poslednje naročito je karakteristično za krečnjačke formacije kojih u našoj zemlji ima mnogo.

Spoljnje kretanje radioaktivnih čestica zavisi uglav-nom od kiša i ostalih atmosferilija, a povećava se znatno ako materijal dospe do vodenih puteva. Tada se rastvorni jonski materijal i koloidne forme radioaktivnih padavina brzo prenose, dok ponašanje nerastvornih čestica zavisi od njihove veličine i težine, brzine vodenog toka i drugih osobina reka ili potoka, tj. karaktera dna i depozicija na dnu, pukotina u koritu i drugih faktora. Mogućnosti uslovljene ovim faktorima mnogobrojne su i podložne promenama, te predviđanja u odnosu na ponašanje radio-aktivnih čestica treba uzeti sa znatnom mogućom greškom.



Pošto se sinterovani rastvorni materijal može smatrati kao nepovratno fiksiran, stvarnu opasnost predstavljaju rastvorni jonski oblici.

Za svojevrsnu »dekontaminaciju« zemljišta najinteresantnije je kad je kontaminant fiksiran samim zemljištem. Smatra se da ovaj proces »dekontaminacije« može da se odvija jonskom izmenom (između elemenata vezivnog kompleksa i jona radioaktivnih materijala), zatim adsorpcijom, taloženjem, filtracijom, kao i pomoću ispiranja kišom i podzemnim vodama.

U slučaju jonske izmene, elementi kao cezijum i stroncijum mogu da budu zamenjeni prirodnim katjonima (na primer,  $\text{Ca}^{++}$ ) koji ulaze u adsorpcione komplekse zemljišta.

Količina adsorbovanih jona radioaktivnih elemenata zavisice uglavnom od osobina i tipa glinastih komponenti zemljišta.

Izmena anjona, pošto je nedovoljno izučena, manje je pogodan kriterijum za izučavanje posmatranih pojava. U većini slučajeva anjonsko izmenjivačke reakcije karakterišu se veoma niskim i neujednačenim adsorpcionim efektom. Moguća je adsorpcija na površini zemljišnih kapilara, no materijal koji je na ovakav način vezan može ponovo lako da se ispere.

Uzimajući u obzir fizičko-hemijske osobine produkata fisije, neki autori pretpostavljaju da će se deo radioaktivnih materija potpuno apsorbovati prilikom prolaska kroz zemljište. Drugi deo, koji se nalazi u koloidnom stanju, apsorbovaće se delimično. Intenzivnost »dekontaminacije«, pored hemijskih faktora, zavisice od fizičkog stanja tla i razmera čestica. Ako je zemljište alkalno, neki (anjonski) produkti fisije moći će da se stalože (u obliku hidroksida ili karbonata) i zatim filtriraju. Ovo se slaže sa posmatranjem izvršenim u SAD. Pokazalo se da su tereni sa takvim zemljištem bili veoma efikasni za »dekontaminaciju« rastvora koji sadrže fisione produkte u jonskom obliku (sa izuzetkom cezijuma i stroncijuma). Zemljište je sadržavalo 67%  $\text{CaCO}_3$  i ima  $\text{pH} = 8$  ili 9.

Znatna pažnja poklonjena je izučavanju mogućnosti ispitivanja fisionih produkata atmosferskim talozima. Utvrđeno je da zemljište koje sadrži montmorilonit i ilit odlično apsorbuje cezijum i stroncijum. Takođe, zemljište koje sadrži mnogo humusa pokazuje povišenu apsorpcionu sposobnost. Do rasejavanja fisionih produkata u masi zemljišta dolazi prilikom ispiranja rastvora koji sadrže jone  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$  i slabe kiseline. Upotreba kreča može često da bude korisnija nego slabe kiseline koje imaju niži faktor »dekontaminacije« (izuzev, možda, alkalnog zemljišta gde kiseli reagensi mogu da odigraju pozitivnu ulogu).

U tabeli 45 dat je pregled dekontaminacije zemljišta ispiranjem vodama i hemikalijama s obzirom na njegovu kiselost ili alkalitet.

Tabela 45 — Dekontaminacija zemljišta sredstvima za ispiranje

| sredstvo za ispiranje                                  | kiselost zemljište  | alkalno zemljište   |
|--|---|---|
| kišnica  | izvesno pomeranje naniže filtrovanog materijala uz sporo oslobađanje rastvorenih katjonskih i anjonskih komponenata koje mogu odmah da se fiksiraju jonskom izmenom u tlu |   |
| tvrdna površinska voda                                 | izvesno pomeranje katjonske aktivnosti koja je pretrpela katjonsku izmenu   |   |
| kreč   | Cs i Sr se zamenjuju sa Ca i transportuju sa prvobitnog mesta, Ce i retke zemlje mogu da se talože i da se relativno čvrsto vežu.   | Cs i Sr se uklanjaju; nema efekta na Ce i retke zemlje koje su već staložene. |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$<br>ili<br>$\text{CaSO}_4$ | uklanjanje najvećeg broja komponenata koje su pretrpele jonsku izmenu bez taloženja   | uklanjanje Cs i Sr; mogu da se rastvore neke već staložene komponente         |

*Dekontaminacija saobraćajnica* nameće se kao neophodnost i zahteva da se iskoriste sva raspoloživa sredstva.

Putevi, naročito oni koji imaju tvrdo građen gornji sloj, tj. asfalt ili beton, mogu se dekontaminirati zalivanjem snažnim mlazevima vode pod pritiskom, iz vatrogasnih kola ili vozila za polivanje ulica. Prilikom zalivanja mlaz treba usmeriti tako da voda otiče u sabirne jarke pored puta. Ovim postupkom mogu se postići dobri rezultati.

Privremeno zadovoljavajuće rezultate, na primer, kad treba brzo preći kontaminirane puteve i zemljište, daje izolacija. Preko zagađenog puta ili terena posipaju se pena za gašenje požara, ulje, voda ili čista zemlja iskopana posle skidanja gornjeg sloja od 10 do 15 cm.

U zimskom periodu, saobraćajnice ili prolazi preko otvorenog zemljišta dekontaminiraju se skidanjem celog sloja snega. Ukoliko se radi o velikim nanosima, uklanja se 20 cm rastresitog sloja snega, a 10 cm ako je nabijen.

Ulice, trgovi i mostovi u naseljima dekontaminiraju se prema prioritetu koji imaju glavne saobraćajne arterije i veze sa okolinom. Ovim prolazima obezbeđuje se dovoženje ili odvoženje postradalih, bolesnih, hrane, vode i sl.

Ulice se peru zalivanjem vodom pod pritiskom, pri čemu se koristi sva tehnika za održavanje čistoće po gradovima. U nedostatku ovih sredstava koriste se i najprimitivnija (metle), uz obavezno vlaženje površina koje se čiste. U gradovima je posao utoliko lakši što radioaktivni efluenti otiču preko sistema kolektora kanalizacije.

Slabije građeni putevi kroz sela mogu se dekontaminirati uklanjanjem gornjeg zemljanog ili makadamskog sloja, uz obilno zalivanje vodom. Pri ovim radovima obavezno se primenjuju makar i improvizovana lična zaštitna sredstva, jer zbog nedovoljne opremljenosti može doći do teškog kontaminiranja angažovanih ljudi.

*Dekontaminacija građevinskih objekata.* Ako su zidovi, krovovi, prozori i vrata dobro zatvoreni i neoštećeni,

to još nije dokaz da u unutrašnjost zgrada, skloništa i zemunica nema radioaktivnih materija. Kad se utvrdi da postoji kontaminacija, dekontaminacija se izvodi određenim redom — najpre tavanica, zatim zidovi i na kraju pod. Za uklanjanje radioaktivne prašine koriste se četke, vlažne krpe i usisivači prašine. Ako se upotrebljavaju usisivači neophodno je da se mlaz izbacivanog vazduha usmeri tako da ne uskovitlava prašinu po sobi. Upotreba sapuna nije preporučljiva, jer u tvrdoj vodi njegovo dejstvo rapidno opada. Kalcijum i magnezijum, koji se nalaze u vodi, grade sa natrijumovim ili kalcijumovim sapunima teško rastvorna jedinjenja koja se čvrsto vezuju na površinama i apsorbuju čestice nečistoće. Za pranje su najbolji blagi rastvori deterdženata.

Predmeti od manje vrednosti (zavese, tepisi), koji mogu da budu visoko kontaminirani, uništavaju se zakopavanjem, a nikako paljenjem.

Stepen kontaminiranosti spoljnih površina građevinskih objekata zasutih radioaktivnim padavinama zavisiće od oblika i položaja njihovih površina. Najviše će biti zagađeni krovovi zgrada, dok će bočni zidovi biti više ili manje kontaminirani zavisno od pravca vetra. Kontaminaciji će biti izloženi svi ispusti na vertikalnim površinama, kao simsovi, balkoni, ramovi prozora i sl. Građevinski objekti sami po sebi pružaju zaštitu od zračenja tako da je doza u njihovoj unutrašnjosti znatno smanjena. Međutim, dekontaminacija ovih objekata je neophodna, jer će kontaminant kojim su zasuti, vremenom raznositi vetrom i spirati atmosferske padavine, što može prouzrokovati nove kontaminacije očišćenih gradskih saobraćajnica i drugih površina.

Materijal od kojeg su izgrađeni građevinski objekti teško se dekontaminira. I u ovom slučaju može se očekivati da će zalivanje vodom dati najbolje rezultate. Krovovi, na primer, ukoliko su od crepa dobrog kvaliteta i relativno glatke površine, također se mogu očistiti vodom mada treba očekivati da će čestice kontaminanta zadržati u mnogobrojnim pukotinama i neravninama. Prednost

zalivanja krovova vodom je u tome što se otpadne vode kontrolisano (sistemom oluka) sakupljaju ili odvođe direktno u kanalizacioni sistem. Kada se ispiranjem ne dobije zadovoljavajući rezultat, ceo krov se mora skinuti. On se, takođe, skida u selima u kojima su zgrade pokrivene trskom, slamom ili šindrom, pri čemu se materijal obavezno zakopa u zemlju.

Okomite površine građevinskih objekata manje se kontaminiraju, pogotovo sa navetrene strane. Porozna površina maltera može da zadrži znatne količine radioaktivne prašine, pa ga zato valja ukloniti struganjem uz obavezno kvašenje.

Dekontaminacija zemljišta, saobraćajnica i građevinskih objekata je veoma krupan problem da bi se naseljima i industrijskim objektima povratila proizvodna delatnost, odnosno da bi se omogućilo stanovanje. Ovaj posao zahteva masovnu mobilizaciju stanovništva, upotrebu različitih tehničkih sredstava i vrlo mnogo vremena.

*Dekontaminacija vazduha.* Vazduh ispunjen česticama radioaktivne prašine predstavlja najdirektniji izvor kontaminacije ljudi i životinja. Pored opasne unutrašnje kontaminacije koja se stvara udisanjem zagađenog vazduha, istovremeno dolazi i do spoljnje usled taloženja prašine na spoljnjim površinama.

Mogućnosti za efikasnu dekontaminaciju vazduha postoje, ali su vrlo ograničene. Upotrebljavaju se naročite vrste elektrostatičkih ili mehaničkih filtara. Najrasprostranjeniji su papirni filtri posebne konstrukcije, čija je efikasnost zadržavanja i najsitnijih čestica do 99,99%. Ovakvi uređaji koriste se u atomskoj industriji za filtriranje vazduha u reaktorskim sistemima i laboratorijama, u kojima se radi sa velikim količinama radioaktivnih materijala visoke aktivnosti.

U slučaju zagađivanja vazduha radioaktivnim padavinama na velikim prostranstvima, primena ovakvih uređaja ne dolazi u obzir. Za specijalne potrebe mogu se

koristiti industrijski objekti koji imaju ugrađene filtracione uređaje za ventilaciju. Moć ovih filtara da zadrže čestice radioaktivne prašine nije dovoljna, ali se može očekivati da će dati zadovoljavajuće rezultate, naročito kad su u pitanju krupnije čestice.

Upotrebom ventilacionih uređaja bez filtriranja vazduha može samo da se pogorša situacija, jer bi pojačana cirkulacija vazduha doprinela uskovitlavanju i bržem rasprostiranju radioaktivne prašine. Improvizovana filtracija može se postići time što se na usisne otvore ventilacionog sistema postave tamponi od poroznog tekstilnog materijala. Takođe, nekoliko džakova napunjenih vunom, pamukom ili drugom vrstom vlakna pomoći će da se zadrži najveći deo krupnijih čestica kontaminirane prašine.

*Uklanjanje otpadnog kontaminiranog materijala.* Materijal koji se ne može dekontaminirati, na primer, hrana i medikamenti, kao i razne vrste radioaktivnih otpadaka nastalih na teritoriji zahvaćenoj padavinama, moraju se ukloniti na takvo mesto gde neće predstavljati opasnost za ljude ili životinje.

Najbolje je da se takav materijal zakopa u duboke jame na mestima koja su dovoljno udaljena od ljudskih naselja. Poželjno je da se životne namirnice i medikamenti pre zakopavanja pospu hlornim krećom, karbolom ili nekom drugom materijom neprijatnog mirisa i okusa. Sloj zemlje nad zakopanim materijalom treba da bude debeo najmanje 1,5 m. Mesta zakopavanja obavezno se uočljivo označuju.

Pošto uvek postoji izvestan rizik da će nesavesna lica ili životinje raskopavati ovakve jame, odbačeni materijal može se spaliti. Najbolje je da se to uradi u iskopskim jamama, u dane bez vetra, ali uz obaveznu ličnu zaštitu od kontaminacije. Po spaljivanju jame se zatrpavaju, a dozimetrijskom kontrolom proverava kontaminiranost okoline u radijusu od 50 m od mesta spaljivanja i 200 m niz vetar. Ako se utvrdi da postoji kontaminacija,

okolno zemljište valja prekopati, preorati ili sa njega ukloniti gornji sloj. Granica kontaminacione zone postavlja se tamo gde intenzitet doze iznosi 0,5 r/h.

Bacanje otpadnog kontaminiranog materijala u rečne tokove, jezera ili more treba izbegavati. Kontaminirani materijal, koji bi se na ovakav način u većim količinama likvidirao, predstavljao bi duže vreme izvor kontaminacije vode, vodene flore i faune.

## DEKONTAMINACIJA VODE, ŽIVOTNIH NAMIRNICA, LJUDI I DOMAĆIH ŽIVOTINJA

Dekontaminacija vode je odomaćen naziv za procese ili skup procesa kojima se radioaktivni izotopi uklanjaju iz kontaminiranih voda.

Kontaminirane vode su dosta relativan pojam, jer gotovo sve u prirodi sadrže izvesnu kontaminaciju radioaktivnih izotopa. Mogu se postaviti uglavnom dva osnova za definiciju kontaminiranih voda: poreklo i nivo aktivnosti.

Ako bi se kontaminirane i nekontaminirane vode klasifikovale na osnovu porekla kontaminanata, tj. radioaktivnih izotopa, vode bi se sa ustaljenim sadržajem prirodnih radioaktivnih izotopa mogle označiti kao čiste, nekontaminirane. Ali, pošto ovaj sadržaj nije u svim prirodnim vodama isti, već uglavnom varira zavisno od sastava terena (što je podloga vodi čija se kontaminacija posmatra) i pošto je ovaj prirodni sadržaj u pojedinim rekama приметно izmenjen otvaranjem mnogih rudnika urana, na takav se osnov mogu staviti značajne primedbe. Izgleda da je nivo aktivnosti mnogo pogodniji osnov za klasifikaciju, jer se stepen opasnosti od kontaminiranih voda procenjuje na osnovu nivoa njihove aktivnosti i maksimalne dozvoljene koncentracije radioaktivnih izotopa (skraćeno MDK) u vodi, za koje postoje preporuke Međunarodne komisije za radiološku zaštitu.

Na osnovu ovoga može se grubo reći da kontaminirane vode sadrže radioaktivne izotope u koncentracijama većim od maksimalno dozvoljenih. Ova definicija je vrlo gruba zbog toga što se MDK odnose na čoveka, što se iz godine u godinu koriguju zahvaljujući novim saznanjima



nauke, u prvom redu biologije, i što sudbina radioaktivnih izotopa koji se u vodi nalaze u MDK nije još potpuno poznata.

Opasnost od kontaminiranih voda je višestruka. Na prvo mesto dolazi opasnost pri upotrebi ovakve vode za piće, jer se radioaktivni izotopi, uneti u organizam, deponuju u razne organe i predaju okolnom tkivu velike iznose energije zračenja (velike doze). Osim toga, kontaminirana voda je opasna i za sav biljni i životinjski svet, naročito floru i faunu reka i mora, odakle put do čoveka nije dug.

Kontaminirane vode su neminovna posledica proizvodnje nuklearne energije i njene eksploatacije u mirnodopske i ratne svrhe. Prema tome, dekontaminacija ovakvih voda je vrlo značajan problem i postavlja se svakodnevno u sve oštrijem formi.

U normalnim prilikama kontaminirane vode nastaju u raznim nuklearnim centrima, rudnicima urana i laboratorijima. Na svim tim mestima one se sakupljaju, iz njih se izvlače radioaktivni izotopi (tj. vode se prečišćavaju), posle čega se izlivaju u reke ili mora. Isto se radi i pri raznim akcidentima na nuklearnim postrojenjima. U slučaju ratnih i sličnih okolnosti, kada dolazi do upotrebe nuklearnog oružja, teško je proceniti granice i nivo kontaminacije vode. Tada je teško govoriti o zaštiti prirodnih voda od kontaminacije, jer su baš one zagađene, a osnovni problem je kako da se od ovako kontaminiranih dobije voda za piće i tehničke potrebe.

### *Izvori, karakteristike i klasifikacija kontaminiranih voda*

Izvori kontaminiranih voda u normalnim prilikama su sva mesta, u širem smislu reči, na kojima se radioaktivni materijali tretiraju na bilo koji način. Za sve izvore u normalnim prilikama mogu se predvideti sastav, aktivnost i zapremine kontaminiranih voda i pravovremeno pripremiti odgovarajući postupak za dekontaminaciju ili neki drugi pogodan način za rešavanje tog problema. Isto važi i za akcidente u normalnim prilikama.

ma, jer se za sve snažnija nuklearna postrojenja razmatraju još u toku projektovanja mogući akcidenti i mere za zaštitu zaposlenog osoblja i bližeg i daljeg stanovništva, kako bi se posledice reducirale na najmanju meru. Za kontaminirane vode većih zapremnina obično se grade rezervoari ili bazeni dovoljno velikog kapaciteta da prime sve akcidentalno nastale vode vrlo visokih nivoa aktivnosti. U normalnim prilikama osnovni je zadatak da se sakupe kontaminirane vode i da ih se reši na pogodan i bezbedan način.

U ratnim i sličnim prilikama dekontaminacija vode posmatra se sa sasvim drugog aspekta, jer postoji vrlo malo mogućnosti da se zaštite otvorene vode. Tada je glavni problem da se od kontaminirane vode ekonomično pripremi dovoljna količina vode pogodne za piće.

U normalnim prilikama kontaminirane vode ističu uglavnom posebnim sistemima specijalne kanalizacije iz raznih nuklearnih postrojenja i laboratorija, reaktora i drugih uređaja i redovno sadrže različite koncentracije soli, organskih i neorganskih kiselina, rastvarača itd. pa su po sastavu bliže rastvorima nego vodama koje imaju relativno određen i konstantan sastav. Zbog toga je sasvim opravdan već odomaćen naziv radioaktivnih efluenata. Ovaj naziv je pogodan i iz čisto praktičnog razloga jer pomaže da se razlikuju radioaktivne otpadne vode iz laboratorije od kontaminiranih koje, kao nečistoću, sadrže samo radioaktivne izotope. Kontaminiranom vodom može se nazvati i rečna u koju su dospeli fisioni produkti posle neke nuklearne eksplozije ili izlivanjem radioaktivnih efluenata veće aktivnosti.

U normalnim prilikama kontaminirane vode su, u stvari radioaktivni efluenti nastali u rudnicima urana, nuklearnim centrima i raznim laboratorijama. Karakteristike su im vrlo različite, jer veoma variraju hemijski i radiohemijski sastav, aktivnosti i zapremine.

Za radioaktivne efluente još ne postoji jedinstvena klasifikacija, a nije ni bilo mnogo pokušaja da se to učini. Za sada postoje dva osnovna kriterijuma koji nisu

sasvim ekvivalentni. To su vreme poluraspada sadržanih izotopa i specifične aktivnosti.

Klasifikacija po vremenu poluraspada sadržanih izotopa dosta je retka, ali je vrlo pogodna iz praktičnih razloga. Efluenti sa izotopima koji kratko žive nisu značajan problem ako ne nastaju u velikim zapreminama, jer se mogu čuvati dok im aktivnost prirodnim raspadom ne spadne na nivo sa kojim se mogu pustiti u reku ili neku drugu vodu.

Klasifikacija po veličini specifične aktivnosti vrlo je česta i u literaturi se sreću nazivi: vrlo nisko aktivni efluenti, mladi, niskoaktivni, srednjeaktivni, visokoaktivni i vrlo visokoaktivni, efluenti specijalnih kategorija. U svetu nema ni dva nuklearna centra kod kojih bi se podudarale granice svih kategorija, jer se pomenuti nazivi kategorija ne shvataju na isti način u svim centrima, niti svi centri imaju sve kategorije. Granice kategorije uglavnom diktiraju usvojeni procesi za dekontaminaciju.

Tabela 46 — Granice pojedinih kategorija efluenata

| naziv kategorije efluenata |                     | granice $\mu$ Ci/cm <sup>3</sup> |
|----------------------------|---------------------|----------------------------------|
| vrlo slaboaktivni          |                     | do 10 <sup>-5</sup>              |
| slaboaktivni               | od 10 <sup>-5</sup> | do 10 <sup>-3</sup>              |
| srednjeaktivni             | od 10 <sup>-3</sup> | do 100                           |
| visokoaktivni              | od 100              | do 10.000                        |
| vrlo visokoaktivni         |                     | preko 10.000                     |

Na tabeli 46 date su granice za pojedine kategorije efluenata. Ova tabela je izabrana stoga što date granice predstavljaju u neku ruku srednje vrednosti za mnoge druge sastave u istu svrhu.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Mada ova tabela odražava neki prosek za pomenute kategorije, postoji dosta odstupanja, jer neke evropske zemlje smatraju na primer, da srednjeaktivni efluenti sadrže od 10<sup>-2</sup> do 1  $\mu$  Ci/cm<sup>3</sup>.

Svi izvori radioaktivnih efluenata u normalnim pri-likama mogu se podeliti u dve osnovne grupe. Prvu grupu predstavljaju instalacije i postrojenja neophodna za proizvodnju nuklearne energije, kao što su rudnici urana, fabrike za proizvodnju urana i gorivnih elemenata, reaktori nuklearnih centrala i fabrike za preradu nuklearnog goriva. U drugu grupu se ubrajaju svi ostali izvori koji su neophodni u ciklusu industrijske proizvodnje nuklearne energije, ali su potrebni za njen dalji razvoj. To su istraživački reaktori i laboratorije ili eksploatacija nuklearne energije raznovrsnom primenom radioaktivnih izotopa, kao što su mnoge laboratorije u industriji, na univerzitetima, poljoprivrednim institutima i mnogim drugim institucijama.

Za navedene izvore mogu se dati sledeći opisi i karakteristike radioaktivnih efluenata koji u njima nastaju.

Rudnici urana, uprkos činjenici što se danas iz njih vade velike količine rude, daju radioaktivne efluente relativno niskih aktivnosti, mnogo nižih od onih koje se javljaju u postrojenjima za preradu isluženog goriva. Važno je pomenuti da se u efluentima, poreklom iz rudnika urana, nalaze radijum i još neki  $\alpha$ -istraživači čije su MDK u vodi vrlo niske.

Fabrike za proizvodnju urana i gorivnih elemenata imaju zadatak da proizvedu uran i od njega naprave gorivne elemente pogodne za »sagorevanje« urana u reaktoru. Ti elementi mogu biti od metalnog urana ili nekog njegovog jedinjenja, a proizvode se u obliku šipki, ploča ili sl., već prema zahtevima fizike i termotehnike reaktora.

Proizvodnja urana i gorivnih elemenata obuhvata veći broj hemijskih i metalurških postupaka i procesa. Tu se ubraja i postupak kojim se uran obogaćuje izotopom U-235.

Radioaktivni efluenti nastali u ovim fabrikama sadrže male količine urana i znatne aktivnosti od produkata raspada urana. Među njima radijum nesumnjivo predstavlja najopasniji element. Kod ovih efluenata potrebno je obratiti pažnju na gasoviti radioaktivni element

radon koji nastaje raspadom radijuma. Aktivnost efluenata razlikuje se od procesa do procesa i veća je od onih koji nastaju u rudnicima urana, ali je mnogo manja od aktivnosti efluenata nastalih preradom goriva.

Radioaktivni efluenti iz nuklearnih centrala zavise od tipa izabranog reaktora. U reaktorima u kojima teška voda služi kao medijum za prenošenje oslobođene toplotne energije do turbine, efluenti nastaju pri prečišćavanju teške vode. Takvi efluenti sadrže radioaktivne materije nastale korozijom sistema koje obliva teška voda: elementi dospeli korozijom u tešku vodu aktiviraju se u toku prolaska kroz reaktor. U ovim efluentima mogu se naći i fisioni produkti kada dospeju u tešku vodu pri njenom direktnom kontaktu sa gorivom, što se dešava prskanjem gorivnog elementa.

U nekim tipovima centrala teška voda, koja čini primarno kolo, predaje toplotu u izmenjivačima toplote običnoj vodi što daje paru potrebnu za rad turbine. Ova voda čini sekundarno kolo. Postoji mogućnost, ali dosta retka, da se kontaminira i voda sekundarnog kola: kontaminanti su isti kao i u teškoj vodi, a aktivnost je relativno niska.

Fabrike za preradu nuklearnog goriva imaju zadatak da iz gorivnih elemenata, koji su proveli izvesno vreme u reaktoru i gde je uran »sagoreo« do te mere da se gorivo ne može dalje efikasno koristiti, izdvoje još nesagoreli uran i plutonijum ponovo se prerađuju ili služe u druge svrhe, dok se fisioni produkti za sada malo eksploatišu i predstavljaju najopasniji radioaktivni materijal.

Nuklearno gorivo se prerađuje mokrim putem, tj. raznim hemijskim postupcima, a uran i plutonijum se odvajaju od drugih fisionih produkata raznim ekstrakcionim procesima, pa glavna količina fisionih produkata ostaje u obliku radioaktivnih efluenata. Zbog vrlo visoke aktivnosti fisionih produkata i njihovog prodornog zračenja gorivo se prerađuje u sistemima i uređajima koji su automatizovani i gde se komanduje sa rastojanja.

Radioaktivni efluenti nastali preradom goriva sadrže, dakle, fisione produkte i manje količine urana i plutonijuma. Aktivnosti efluenata vrlo su različite i zavise od procesa i postupaka koji su upotrebljeni za preradu. U okviru prerade javljaju se efluenti niskih, srednjih, visokih i vrlo visokih aktivnosti.

U istraživačkim nuklearnim centrima nastaju radioaktivni efluenti u raznim laboratorijama koje se bave osnovnim, razvojnim, tehnološkim i drugim istraživanjima, a takođe u nuklearnim reaktorima koji se grade za potrebe istraživanja. Ovome valja dodati i efluente koji nastaju pri proizvodnji radioaktivnih izotopa, ili pri raznim procesima dekontaminacije mnogih kontaminiranih predmeta i delova uređaja.

Najveće zapremine radioaktivnih efluenata nastalih u istraživačkim nuklearnim centrima imaju nisku aktivnost, tj. oko  $10^{-2}$  ( $\mu\text{Ci}$ ) ml i niže. Zapremine ove kategorije efluenata mogu varirati od vrlo malih pa do desetine i stotine  $\text{m}^3$  na dan. Njihov sastav takođe je vrlo varijabilan i u hemijskom i u radiohemijskom pogledu, pošto se u nuklearnim centrima nalaze mnoge laboratorije sa sasvim različitom problematikom.

Zapremine srednje i visoko aktivnih efluenata su manje i iznose nekoliko litara ili  $\text{m}^3$  na dan. U ovu kategoriju ubrajaju se radioaktivni efluenti nastali proizvodnjom radioaktivnih izotopa. Hemijski i radiohemijski sastav im je relativno konstantan, jer nastaju iz ustaljenih procesa.

Primena radioaktivnih izotopa u istraživačke ili praktične svrhe, kao i radi nastave, obuhvata veliki broj fakulteta, bolnica, klinika, instituta i industrijskih preduzeća, uključujući rad i eksperimente u laboratorijama i na terenu.

Primena se odvija uglavnom sa milikiri-aktivnostima velikog broja izotopa, mada u pojedinim slučajevima i eksperimentima aktivnosti mogu iznositi na desetine i stotine milikirija. Dosta su retki slučajevi da se za jedan eksperiment upotrebi aktivnost veličine kirija. U svim ovim slučajevima misli se na rad sa otvorenim izvorima

zračenja, tj. sa oblicima izotopa koji se tokom primena tretiraju hemijski ili na sličan način.

Primena radioaktivnih izotopa je relativno slab ili vrlo neugodan izvor radioaktivnih efluenata, što dolazi iz više razloga. Na prvom mestu je činjenica da je reč o velikom broju izvora, što veoma otežava sakupljanje, kontrolu i evidenciju sastava i aktivnosti. Zatim dolazi nedostatak materijalne i kadrovske baze za pravilan postupak sa ovim efluentima. Sem navedenih, postoji još mnogo razloga koji čine ovu kategoriju efluenata neugodnom, ali su od manjeg značaja. Međutim, sretna je okolnost što se radioaktivni efluenti iz primene radioaktivnih izotopa javljaju u relativno malim zapreminama i sa dosta niskim aktivnostima. Tome doprinosi i činjenica da veliki broj upotrebljenih izotopa ima kratko vreme poluraspada.

Radioaktivni efluenti mogu nastati i pri raznim, manje ili više očekivanim akcidentima. U efluente koji nastaju direktno iz akcidenta mogu se računati i efluenti nastali pri dekontaminaciji i drugim intervencijama u slučaju akcidenta.

Akcidenti se mogu desiti kod svih izvora koji su pomenuti u prethodnom izlaganju. Prema tome, sastav akcidentalno nastalih efluenata ostaje i dalje karakterističan za dati izvor, dok zapremine i aktivnosti imaju znatno veće iznose nego u normalnim uslovima rada.

Zona rasprostiranja primarno nastalih efluenata u slučaju akcidenta na nuklearnim postrojenjima uglavnom je ograničena na najbližu okolinu izvora, a dosta ređe na kontrolisanu zonu okoline izvora. Do sada nije poznat slučaj nekog akcidenta pri kojem su primarno nastali efluenti zagadili širu okolinu ili reku.

Važno je ukazati na moguće akcidente pri transportu radioaktivnih materijala, do kojih može doći zbog neispravnosti suda u kojem se transportuje radioaktivni materijal ili pri saobraćajnoj nesreći.

Pri akcidentima se mogu javiti i sekundarno nastali efluenti, na primer, kada kroz ventilacione sisteme raznih laboratorija, postrojenja ili reaktora umaknu radio-

aktivni gasovi, aerosoli ili praškasti materijal koji zagađuje terene i vode. Sekundarni efluenti nastaju i kod raznih akcidenata pri transportu, odnosno pri dekontaminaciji kontaminiranih površina puta ili terena.

Izvori kontaminacije vode u izvanrednim prilikama mogu biti, globalno rečeno, nuklearne eksplozije i dejstva različitih radioloških sredstava. Tada glavni problem predstavljaju kontaminirane vode reka, jezera, cisterni i bunara, dakle voda koje služe za piće, domaću i tehničku upotrebu. Radioaktivni efluenti koji takođe nastaju u izvanrednim prilikama kao proizvod dekontaminacije ljudi, odela, puteva, stambenih zgrada i drugih objekata, vozila, raznih oružja, oruđa i ostalih predmeta koje je potrebno dekontaminirati posle nuklearne eksplozije ili dejstva raznih radioloških sredstava, predstavljaju problem sasvim perifernog značaja.

Pri svim nuklearnim eksplozijama dolazi do rasturanja fisioh produkata koji sadrže oko 30 elemenata u preko 250 izotopnih oblika. Uz fisione produkte nalazi se i materijal eksplozivnog punjenja koji nije eksplodirao, i materijal iz mehaničkih i ostalih delova nuklearnog projektila koji je postao radioaktivan dejstvom neutrona u trenutku eksplozije. Aktivnost ove dve vrste materijala mnogo je niža, ako ne i zanemarljiva u odnosu na aktivnost fisioh produkata. U slučaju prizemnih nuklearnih eksplozija neutroni mogu aktivirati i razne elemente zemljišta u okolini tačke eksplozije. Ovaj materijal se takođe može razneti paralelno sa ostalim radioaktivnim materijalima koji nastaju eksplozijom. Dakle, u radiohemijskom sastavu materijala koji nastaju nuklearnom eksplozijom, fisioni produkti su najznačajnija i najopasnija komponenta. Svi ostali materijali su mnogo manje opasni.

Fisioni produkti imaju vrlo različita vremena poluraspada, od vrlo kratkih do vrlo dugih, tako da im aktivnost u početku opada vrlo brzo, a kasnije, kada se dezintegrišu oni što kratko žive, aktivnost opada dosta sporo. Od onih što dugo žive najopasniji su Sr-90 (stroncijum), čije vreme poluraspada iznosi oko 28 godina, i Cs-138 (cezijum), čije je vreme poluraspada 30 godina.



Fizičko-hemijska stanja fisijonih produkata posle nuklearne eksplozije neodređena su i zavise od mnogih okolnosti. Na primer, fisijoni produkti posle eksplozije javljaju se kao praškasti materijal različitog stepena disperziteta, tako da se u ovom materijalu mogu naći čestice od koloidnih dimenzija do mikronskih veličina. Hemijski oblik je dosta neodređen, mada je konstatovano prisustvo velike količine oksida, sinterovanih i sličnih oblika. Pod dejstvom vodene pare iz vazduha, kiše i oksida raznih kiselina koji su nastali eksplozijom ili se nalaze u vazduhu, fisijoni materijal se lagano rastvara i prelazi u razna jonska stanja.

O aktivnosti kojom mogu biti kontaminirane površine i podzemne vode vrlo je teško dati bilo kakvu procenu. Sigurno je da u okolini eksplozije vode mogu biti znatno kontaminirane i da nivo kontaminacije zavisi od vremenskih uslova, dubine vode ako nije tekuća, ili brzine proticanja ako se radi o reci. Kontaminacija zavisi od oblika i površine sliva reke, a značajnu ulogu igra i vrsta terena kroz koji protiču ona ili njene pritoke.

### *Potreba i mogućnosti dekontaminacije*

Potreba za dekontaminacijom vode rezultira iz činjenice što je radioaktivni izotopi čine opasnom za piće, za domaću i industrijsku upotrebu, za sav biljni i životinjski vodeni svet. Kontaminirana voda opasna je i za sve kulture koje bi se njom zalivale, bez obzira na to da li direktno ili indirektno služe za ishranu čoveka.

Opasnost od zračenja radioaktivnih izotopa sadržanih u vodi nije ista za sve izotope, jer zavisi od mnogih faktora. Važniji između njih za izračunavanje maksimalno dozvoljenih koncentracija su vreme poluraspada dotičnog izotopa, mesto deponovanja u organizmu, biološko vreme poluraspada, vrsta i energija zračenja.

Dosadašnje preporuke o maksimalno dozvoljenim koncentracijama za pojedine radioaktivne izotope u vodi uglavnom se odnose na profesionalno zaposleno osoblje,

a ponegde i na stanovništvo koje se nalazi blizu nuklearnih centara. Međutim, još nije postignut zajednički stav o tome kolike bi koncentracije mogle biti dozvoljene za čitavo stanovništvo jedne nacije. U literaturi se mogu naći mišljenja da bi se vrednosti tih koncentracija mogle dobiti tako što bi se koncentracije preporučene za profesionalno zaposleno osoblje podelile određenim faktorom. To je u principu ispravno, ali još postoje razna mišljenja o veličini faktora koja se kreće od 10 do preko stotine.

Maksimalno dozvoljene koncentracije izračunate su uglavnom na relaciji radioaktivni izotop — čovek, pri čemu su korišćena sva znanja savremene nauke, odnosno ona koja mogu doprineti sagledavanju i rešavanju problema. Ali ako bi se postavilo pitanje da li koncentracije izračunate uz pomoć pomenutog faktora mogu da budu jedinstvene za sve reke, odgovor ne bi bio pozitivan. Ovo u prvom redu zbog toga što još nije dovoljno poznata sudbina radioaktivnih izotopa dospelih u razne vode. Na primer, zna se da koncentracije radioaktivnih izotopa u planktonima, algama, raznim larvama, ribama i drugim organizmima koji žive u vodi mogu da budu na hiljade, desetine pa i stotine hiljada puta veće od koncentracije istih izotopa u vodi u kojoj žive ovi organizmi. Dozvoljene koncentracije u pojedinim rekama zavise i od namene, zemljišta kojim protiču i mnogih drugih faktora koji mogu znatno izmeniti koncentracije izračunate na relaciji radioaktivni izotop — čovek.

Danas postoji nekoliko oprobanih i sigurnih procesa kojima se može izvršiti dekontaminacija. Svi se oni zasnivaju na poznatim fizičko-hemijskim fenomenima, a intenzivno se radi i na uvođenju novih procesa koji na osnovu dosadašnje primene obećavaju pozitivne rezultate i u oblasti dekontaminacije radioaktivnih efluenata.

Tehničke mogućnosti za dekontaminaciju efluenata i voda zasnivaju se na klasičnim postrojenjima, čiji je zadatak da prečišćavaju vodu od običnih zagađivača.

## Postupci za dekontaminaciju

Aktuelni procesi kojima se tretiraju najveće količine radioaktivnih efluenata nastalih u raznim nuklearnim centrima u svetu su precipitacija — koprecipitacija, jonska izmena i upravljanje. U fazi istraživanja i ravoja nalaze se procesi na bazi elektrodijalize, flotacije, kao i neki biološki postupci. Pored ovih, koriste se i neki drugi postupci čiji je osnovni cilj da se radioaktivni efluenti zadrže od izlivanja u reke i druge vode, ili da se izliju posle razblaživanja do koncentracije izotopa koja se može smatrati bezopasnom.

Koprecipitacija je jedan od najstarijih procesa za tretiranje običnih voda radi prečišćavanja i uklanjanja raznih nečistoća. Iskustva i postrojenja iz klasičnog prečišćavanja poslužila su odlično i za uklanjanje radioaktivnih jona.

Pri dekontaminaciji, ovim procesom se radioaktivnim efluentima dodaju reagensi koji obrazuju hidrokside, fosfate, sulfate, karbonate i druge taloge. Sa ovim talozima vrši se koprecipitacija radioaktivnih jona, pri čemu dolaze do izražaja apsorpcione sposobnosti taloga, povlačenje radioaktivnih jona, kao i neke druge prateće pojave. Pri ovom procesu ređe dolazi do čiste precipitacije, tj. do pravog taloženja radioaktivnih izotopa, jer su njihove koncentracije u efluentima često niže od potrebnih za postizanje rastvorljivog proizvoda.

Posle koprecipitacije sledi razdvajanje rastvora od aktivnog taloga putem koagulacije, dekontaminacije, filtriranja ili centrifugiranja. Dekontaminirani efluenti kontrolišu se i izlivaju u kanalizaciju ili reku, a aktivan talog pakuje se u burad, često se meša sa betonom ili asfaltom i ide uglavnom na skladištenje.

Ovaj proces vrlo je rasprostranjen za nisko i srednje-aktivne efluente, jer postignuti faktori dekontaminacije retko premašuju  $FD = 100$ , što znači da se retko može ukloniti više od 99% prisutnih radioaktivnih izotopa. Jasno je da faktori dekontaminacije zavise od vrste radioaktivnih izotopa, taloga sa kojim se povlači, radio-

hemijskog sastava efluenata, odnosa neaktivnih komponenata prema aktivnim i još nekih manje značajnih faktora.<sup>36</sup> Značajnu ulogu igra i pH-vrednost, tj. kiselost efluenata, i ona se obično doteruje na vrednost potrebnu za odgovarajuće taloženje.

Količine sredstava koje se dodaju radi taloženja fosfata, sulfata i drugih, iznose od desetine pa do nekoliko stotina miligrama po litru efluenata. Zapremina taloga u odnosu na njihovu zapreminu zavisi od stepena važnosti i načina odvajanja od rastvora, a vrlo značajnu ulogu radi smanjivanja ove zapremine ima zamrzavanje taloga, čime se menja njegova struktura i ispušta dobar deo vode. Uglavnom se može reći da zapremine taloga iznose nekoliko procenata od zapremine rastvora. Zamrzavanjem se zapremina smanjuje oko pet puta. Ovi podaci su dosta uopšteni i ima slučajeva koji odstupaju u oba smera. Na primer, pri uklanjanju cezijuma iz kiselih rastvora pomoću nikalferocijanida koncentracije 0,001 M, zapremina taloga iznosi samo 0,1% od zapremine rastvora, a procenat uklonjenog cezijuma oko 97.

Jonska izmena je proces poznat već dugi niz godina kao vrlo pogodan i efikasan za prečišćavanje i omekšavanje voda, naročito za industrijske potrebe. Osnovna karakteristika postupka je jednostavnost rukovanja postrojenjem. Isti proces i isti uređaji služe i za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata, pri čemu se dobijaju vrlo visoki faktori dekontaminacije.

Jonska izmena je proces pri kojem se jedna vrsta jona u nekom molekulu zamenjuje jonima druge vrste. Materije koje sadrže molekule potrebne za ovaj proces

---

<sup>36</sup> Za sticanje predstave o efikasnosti nekih dobro poznatih procesa mogu da posluže njihovi rezultati: Sa talozima obrazovanih od ferosulfata, ferohlorida, aluminijum-sulfata i kalcijum-hidroksida ili natrijum-karbonata uklanja se iz smeše fisionih produkata oko 73% aktivnosti na pH između 7 i 8. Pri ovom procesu izrazito su slabi procenti uklanjanja Cs-137 i Sr-90, svega 0,5 odnosno 3% u proseku. Međutim, u toku istog procesa uklanja se oko 90% Sc-46, Y-91, Ce-144 sa Pr-144 i još nekih izotopa iz smeše fisionih produkata.

Sa talozima fosfata može se ukloniti oko 81% Sr-89, 99,9% Y-91, Ce-144, 99,2% Nb-95 itd.

nazivaju se izmenjivačima jona. Po poreklu, ti izmenjivači se dele na prirodne i veštačke. Od prirodnih su poznati aluminijum-silikati, zeoliti i gline. U veštačke izmenjivače danas se ubrajaju jonoizmenjivačke smole. To su organska jedinjenja dobijena polimerizacijom ili kondenzacijom. Jonoizmenjivačke smole nalaze se u prodaji u obliku sitnih granula čiji prečnici iznose od 0,2 do 0,5 milimetara.

Jonoizmenjivačke smole postoje u dva oblika, katjonskom i anjonskom. Kao osnovni oblik katjonskog izmenjivača može se smatrati H-oblik. U procesu se H-jon smole izmenjuje sa katjonom nekog elementa. Na isti se način i OH-jon anjonskog izmenjivača zamenjuje sa nekim anjonom.

Jonoizmenjivači se upotrebljavaju tako što se njima ispune vertikalni cilindri (kolone) i kroz njih propuštaju radioaktivni efluenti. Prolazeći kroz kolonu, radioaktivni joni izmenjuju se sa neaktivnim jonima zauzimajući njihova mesta u smoli i isterujući ih istovremeno u rastvor. U kolonu izlaze radioaktivni efluenti, ostavljaju u njoj radioaktivne jone, dekontaminiraju se, a iz kolone izlaze oslobođeni radioaktivni i drugi joni, često čisti kao destilovana voda.

Pri izmeni radioaktivnih jona efluenata sa jonima smole, istovremeno dolazi i do izmene svih ostalih jona koji se nalaze u efluentima. Zbog toga se efikasno dekontaminiraju samo oni efluenti koji pored radioaktivnih nemaju mnogo neaktivnih jona. Važno ograničenje predstavlja i kapacitet izmene, što znači da jedan gram ili kilogram smole može izmeniti određen broj jona bez obzira na to da li su radioaktivni ili neaktivni. Efikasnost dekontaminacije, tj. uklanjanja pojedinih vrsta jona, zavisi od njihovog afiniteta prema soli. Ako neaktivni joni imaju veći afinitet od aktivnih jona, dekontaminacija će biti slaba. Efikasnost dekontaminacije zavisi i od protekle količine efluenata. U početku proticanja dobivaju se najveći faktori dekontaminacije koji mogu izneti na hiljade, desetine pa i stotine hiljada, a nisu nemogući ni faktori do milona. Po isticanju određene količine eflu-

enata, što zavisi od njihovog sastava, faktori se smenjuju, tako da se na kraju dobija faktor ravan jedinici, što znači da je smola zasićena. Zasićene smole se regenerišu kiselinama, ili se izbacuju iz kolona i pakuju kada su vrlo aktivne, a u kolone se stavlja sveža smola.

Zbog opisanih karakteristika jonoizmenjivačke smole su pogodne za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata sa niskim sadržajem neaktivnih jona. Pri dekontaminaciji efluenata sa visokim sadržajem neaktivnih jona, tj. soli, smole se brzo zasite pa obrada efluenata nije ekonomična. Zbog toga se ne preporučuje da se kolonama dekontaminuju efluenti ako sadržaj neaktivnih jona prelazi 2 do 3 grama po litru. Ova granica zavisi od sastava efluenata.

Uparavanje je najjednostavniji, najefikasniji, ali i najskuplji proces za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata. Ovaj proces je skup usled visoke cene postrojenja i vrlo velikog utroška energije, te se primenjuje kad su u pitanju manje zapremine efluenata, ili kada je potrebno da se postignu visoki faktori dekontaminacije koji u ovom slučaju idu na milione. Uparavanje daje loše faktore dekontaminacije za radioaktivne izotope koji lako isparavaju kao, na primer, jod i rutenijum.

Tokom uparavanja aktivni i neaktivni joni se koncentrišu i zaostaju u destilacionom aparatu, dok iz njega izlazi destilisana voda. Zaostali talog je vrlo aktivan pa se pakuje u unapred spremljenu burad, meša sa betonom ili asfaltom, ili se stapa u staklastu masu, obezbeđuje zaštita i odnosi na skladištenje.

Odležavanjem se naziva postupak po kojem se sakupljeni radioaktivni efluenti ostave da toliko odleže dok im aktivnost ne opadne prirodnim raspadom na nivo koji je dozvoljen za ispuštanje u reku ili more. Očigledno je da se na ovaj način može rešiti problem efluenata koji sadrže radioaktivne izotope relativno kratkog vremena poluraspada. Da bi se odležavanjem dobio faktor dekontaminacije oko hiljade, potrebno je da efluenti odleže period koji iznosi deset vremena poluraspada sadržanog izotopa.

Skladištenje je naziv za dugoročnije odležavanje i primenjuje se za efluente koji sadrže radioaktivne izo-

tope dugog vremena poluraspada. Za skladištenje se izgrađuju podzemni ili nadzemni rezervoari dovoljnih zapremine. Rezervoari se snabdevaju sistemima potrebnim za merenje temperature i nivoa, za kontrolu ispravnosti, odnosno curenja, uređajima za rukovanje efluenata i dobro se obezbeđuju.

### *Stabilna postrojenja za obradu kontaminiranih voda*

Stabilna postrojenja za obradu kontaminiranih voda ili, bolje reći, radioaktivnih efluenata, dosad su uglavnom građena za potrebe pojedinih nuklearnih centara ili reaktora. Najčešća su postrojenja za obradu efluenata niskog nivoa aktivnosti. Sva su međusobno slična, a osnovni proces za uklanjanje radioaktivnih izotopa iz efluenata je koprecipitacija.

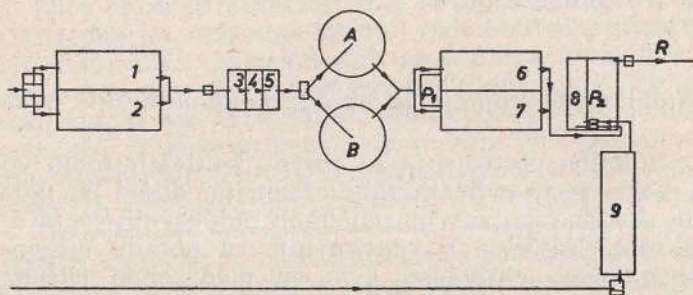
Glavni elemenat kod svih tih postrojenja je taložni uređaj ili sistem u kojem se talog sa inkorporisanim radioaktivnim jonima odvaja od rastvora, ide na dalje tretiranje ili u rezervoare za prerađene efluente. Odavde se izliva u reku ili kanalizaciju. Osnovni i zajednički elementi za sva postrojenja slične vrste se konstruktivno i po principu rada često znatno razlikuju.

Na sl. 66 prikazano je shematski postrojenje u kojem se prerađuju nisko aktivni efluenti, nastali u engleskom nuklearnom istraživačkom centru Harwell. Postrojenje je jedno od najranije poznatih i vrlo je jednostavno.

Za proterivanje određene šarže efluenata izgrađena su dva tanka zapremine  $1.360 \text{ m}^3$ . Tankovi imaju koso dno, ispust za eventualno nastale taloge i po šest mešalica. Iz takvih tankova uzima se uzorak za analizu na osnovu koje se određuje najpogodniji tretman. U tankovima se doteruje i pH do potrebne vrednosti.

Brojevima 3, 4, 5 obeleženi su reakcioni sudovi u kojima se efluenti mešaju sa hemikalijama da bi se obravovao talog. Flokule taloga uklanjaju radioaktivne jone iz rastvora koprecipitacijom i adsorpcijom.

Iz reakcionih posuda efluenti sa obrazovanim flokulama teku u klariflokulatore A i B u kojima se flokule talože, a bistra tečnost odlazi u tankove 6 i 7. Klariflokulatori su klasične konstrukcije tipa Dorr-Oliver.



Sl. 66 — Shema postrojenja u Harwell-u (Britanija)

Dekontaminirani efluenti sakupljaju se u tankove 6 i 7 odakle se uzima uzorak za kontrolu aktivnosti. Na osnovu izmerene aktivnosti uzorka donosi se odluka o ispuštanju u reku, u ovom slučaju Temzu. Ako je nivo aktivnosti iznad nivoa dozvoljenog za ispuštanje, efluenti se vraćaju u tankove 1 i 2 na ponovno tretiranje. U tanku 9 sakupljaju se neaktivne vode; one služe za razblaživanje tretiranih efluenata. Tankovi pod 8 imaju istu zapreminu kao i oni 1 i 2.

Za efluente Harwella čije vode sadrže dosta kalcijumovih soli uspešno se primenjuje proces koprecipitacije fosfatima. Potrebna pH-vrednost efluenata doteruje se dodavanjem natrijumhidroksida. U reakcionu posudu dodaje se natrijum-fosfat.

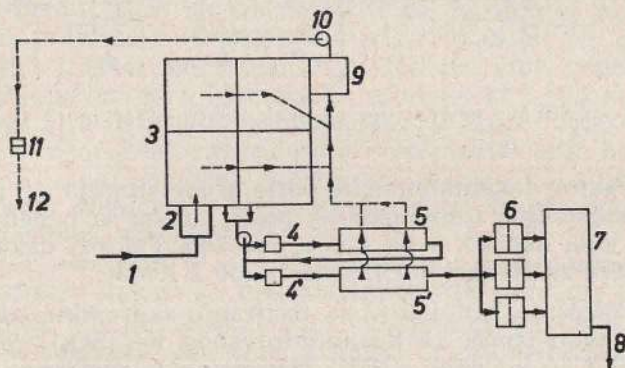
Postrojenje u američkom centru Los Alamos (na sl. 67) slično je prethodno opisanom, mada je u prvom redu namenjeno uklanjanju  $\alpha$ -izračivačima nastalih radovima na plutonijumu. Razlikuje se od prethodnog što se mesto klariflokulatore tipa Dorr-Oliver nalaze sedimentacioni bazeni i što se posle ovih koriste peščani filtri.



Postrojenje je u osnovi konstruisano za tretiranje efluenata talozima hidroksida dobijenih, na primer, iz ferihlorida i kreča, a može se uspešno koristiti i za dekontaminaciju efluenata pomoću fosfata.

Flokulatori 4 i 4<sup>1</sup> kao i sedimentacioni bazeni 5 i 5<sup>1</sup> postavljeni su tako da mogu raditi paralelno ako je dovoljan jedan tretman, što povećava kapacitet postrojenja, ili na red kada je potrebno da se na nekim efluentima primeni dvostruki tretman.

Sovjetsko postrojenje za nisko aktivne efluente prikazano shematski na sl. 68, sadrži u prvom delu elemente prethodnih. Iza ovih elemenata tretiranje se nastavlja kolonama sa jonoizmenjivačkim smolama, a kao poslednji stupanj predviđeno je uparavanje. Ovakvo postrojenje može dati mnogo veće faktore dekontaminacije nego dva prethodna.



Sl. 67 — Shema postrojenja u centru Los Alamos (SAD)

U ovom postrojenju talog hidroksida obrazuju sulfat gvožđa i kaustična soda. Talog nastao iz prvog dela postrojenja, tj. posle prvog stupnja, prebacuje se u pokrivene bazene, duboke 3 do 4 metra. Voda ocedena iz ovoga taloga sliva se kosim dnom bazena i ponovo vraća na tretiranje. Tokom leta vlaga iz taloga odparava, a tokom



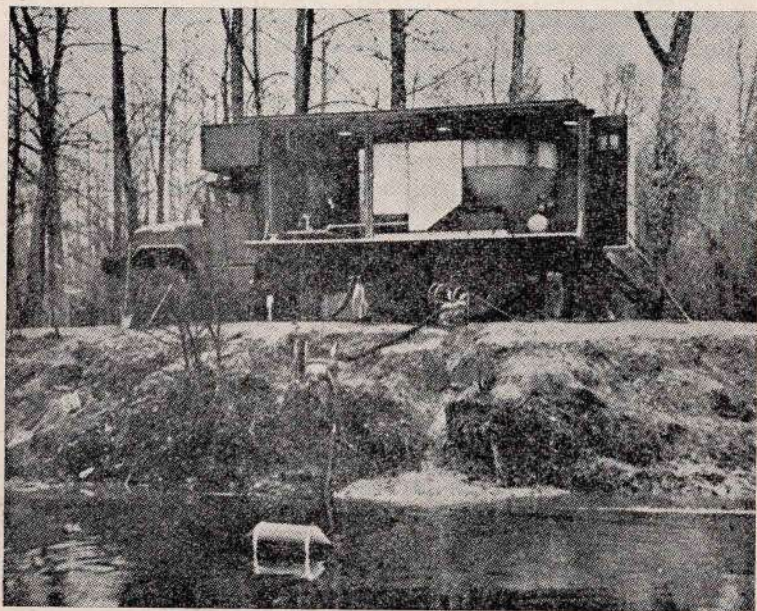
Očigledno je da bi za tu preorijentaciju bile potrebne izvesne izmene, od količine hemikalija za obrazovanje taloga do regeneracije smole, ispiranja filtara i postupka sa talogom koji ostaje posle tretiranja. Vrlo značajan momenat je pojava zračenja, što može izmeniti neke od uhodanih postupaka i uobičajenih shvatanja. Važno je da se uoči da postrojenja za dekontaminaciju efluenta nisu jedina koja, u slučaju neophodnosti, mogu obavljati ovaj postupak.

### *Pokretna postrojenja za obradu kontaminiranih voda*

Osnovna karakteristika svakog pokretnog postrojenja su njegove dimenzije koje moraju biti u granicama gabarita pogodnog za transport. Posmatrajući opisana postrojenja može se konstatovati da zauzimaju prilično velike prostore i da ne bi bila pogodna da se po ugledu na njih izgrade pokretna. Prvu teškoću čine velike dimenzije rezervoara i bazena za efluente koji idu na tretiranje i za dekontaminirane efluente. Zatim dolaze prilične dimenzije klarifikulatora i sedimentacionih bazena. Prema tome, pokretna postrojenja morala bi se graditi bez ovih elemenata, ili sa njima ali u drugačijim konstrukcionim rešenjima.

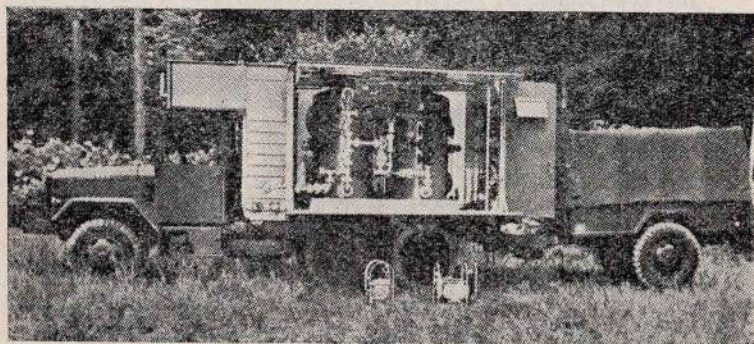
Za transport bi najprikladnije bilo postrojenje koje bi sadržalo kolone sa jonoizmenjivačkim smolama ispred kojih bi bili postavljeni filtri, na primer, sa peskom ili ugljem. Ovakvo postrojenje imalo bi taj nedostatak što bi se kolone brzo zasićavale zbog sadržaja neaktivnih jona u vodi. Ova se pretpostavka mora uzeti u obzir, jer su pokretna postrojenja namenjena dekontaminaciji rečnih ili drugih voda koje sadrže priličan broj neaktivnih jona, u prvom redu kalcijuma i magnezijuma.

U pokretnim postrojenjima može se realizovati i dekontaminacija taloženjem, bilo kao jedini proces, ili proces koji prethodi kolonama. Rezervoari za sedimentaciju mogu se izgraditi od nepromočivog platna ili plasti-



a)

Sl. 69 — Pokretno postrojenje za dekontaminaciju vode: a) koagulacijom i filtracijom (armija SAD); b) izmenjivačima jona



b)

čne mase, čije se postavljanje na licu mesta obezbeđuje pogodnim armaturama i ramovima. Dimenzije filtara mogu se znatno smanjiti korišćenjem brzih filtara koji rade pod pritiskom i imaju sličan oblik i dimenzije kao i kolone sa jonoizmenjivačkim smolama.

Pokretno postrojenje koje bi prečistilo, dekontaminiralo i dezinfikovalo vodu, tj. kojim bi se voda pripremila za piće, zauzimalo bi kamion od 3 do 5 tona, računajući i prikolicu. Za dekontaminaciju rečne vode kapacitet ovakvog postrojenja treba da iznosi oko 1 m<sup>3</sup>, ili nešto više, po času.

### *Mogućnosti dekontaminacije voda u improvizovanim uslovima*

Dekontaminacija vode raznim improvizovanim sredstvima i uređajima može se postaviti kao neophodna u izvanrednim prilikama kada u rečne, izvorske i bunarske vode dospeju radioaktivni izotopi posle nekog akcidenta ili dejstva nuklearnog oružja.

Improvizacije za dekontaminaciju vode mogu se podeliti u tri osnovne kategorije, prema tome da li se improvizuje postrojenje, sredstvo ili oba elementa istovremeno.

Polazeći od činjenice da se kao sudovi za taložnike, filtre i jonoizmenjivačke smole mogu upotrebiti razni sudovi iz svakodnevne upotrebe (benzinska burad, razne kante od metalnog lima ili plastične mase, sudovi iz domaćinstva, uređaji iz proizvodnje alkoholnih pića) nije teško realizovati razne improvizacije. Mnogo teži problem postavlja se u slučaju potrebe da se improvizuju sredstva za dekontaminaciju. Vrlo je teško nabrojati ili pouzdanije preporučiti ovakva sredstva. Svaki filter od peska zadržavaće izvesnu aktivnost ako se radioaktivni izotopi nalaze u obliku čestice, a svakako da će apsorbovati i jedan deo jona. Sličan uspeh može se postići istucanim delovima grnčarije, keramike i cigle. Umesto jonoizme-

njivačkih smola mogu se upotrebiti razne gline i humus, drvena strugotina, istucani drveni i kameni ugalj.

Najveću teškoću za potpunu inprovizaciju predstavljaju dekontaminacija i kapacitet uređaja.

## KONTROLA I DEKONTAMINACIJA ŽIVOTNIH NAMIRNICA

Sve materije neophodne za ishranu ne nalaze se u podjednakim količinama u raznim vrstama biljnih i životinjskih produkata. Neke biljke sadrže pretežno ugljene hidrate (krompir, žitarice, vode), a druge uglavnom masti (suncokret, maslina), a neke i znatne količine belančevina (soja, žitarice). Životinjski produkti koji služe za ishranu više su ujednačeni u pogledu sadržaja hranljivih materija i omogućavaju da odnos između belančevina i ostalih hranljivih materija u pravilnoj ishrani bude približno 15 : 100. Stručnjaci koji se bave fiziologijom ishrane većinom smatraju da belančevina naše ishrane treba da se sastoji od 2 dela biljnih i 1 dela životinjskih belančevina.

Glavni nosioci životinjskih belančevina su meso, mleko, sir i jaja. Ako se računa da je za normalu ishranu čoveka potrebno dnevno oko 80 gr belančevina, životinjske belančevine treba da budu zastupljene sa 25—30 gr, što je sadržano u 150 gr mesa ili 1 l mleka, odnosno 100 gr sira ili 5 komada jaja. Od svih životnih namirnica animalnog poretkla mleko predstavlja gotovo idealnu životnu namirnicu, jer sadrži sve hranljive sastojke u takvom obliku da ih organizam može najlakše da svari i iskoristi.

Cela naša priroda, pa prema tome i sva hrana, sadrži izvesnu količinu prirodne radioaktivnosti koja potiče od prirodnih radioaktivnih elemenata C-14, K-40, Ra-226, Th-232, U-235, U-238 i dr. (na tabeli 47) koji se pod normalnim uslovima nalaze u njoj. Tako je, na primer, u čovekov organizam (težine oko 70 kg) ugrađeno oko 126 mg C-14, što odgovara radioaktivnosti od 0,065  $\mu$ Ci. Iz toga proizlazi da u prirodnom radijacionom opterećenju čoveka, koje iznosi oko 150 mr godišnje, radioaktivnosti

Tabela 47 — Prirodni radioaktivni elementi

| izotop | vrsta zračenja  | organizam čoveka     |             |              | morska voda          |                      |
|--------|-----------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|----------------------|
|        |                 | ukupna               | m/ $\mu$ Ci | broj dez/sek | koncentracija (g/ml) | broj dez/ml/sek      |
| C-14   | $\beta$         | 0,018                | 85          | 3150         | $4 \times 10^{-17}$  | $7 \times 10^{-6}$   |
| K-40   | $\beta, \gamma$ | 18 mgr               | 110<br>11   | 4200<br>420  | $4,5 \times 10^{-8}$ | $1,2 \times 10^{-2}$ |
| Ra-226 | $\alpha$        | $1,4 \times 10^{-4}$ | 0,14        | 5            | $3 \times 10^{-16}$  | $3 \times 10^{-5}$   |
| Th-232 | $\alpha$        |                      |             |              | $10^{-11}$           | $2 \times 10^{-7}$   |

C-14 učestvuje sa oko 10%. Ako se tome dodaju količine ostalih prirodnih radioizotopa, ukupna prirodna radioaktivnost čovekovog organizma povećava se na oko 0,2  $\mu$ Ci. Čovek i domaće životinje već svakodnevnom ishranom unose znatne količine prirodno radioaktivnih elemenata. Tako, na primer, čovek koji ne radi težak fizički posao, treba da unese u organizam dnevno oko 2.500 kcal, za šta mu je potrebno oko 400 gr ugljenih hidrata, 55 gr masti i 70 gr belančevine. U ovoj količini dnevno potrebnih hranljivih materija nalazi se oko 250 gr ugljenika, 2—4 gr kalijuma i drugih elemenata koji su delom prirodno radioaktivni, te opterećuju čovekov organizam zračenjem (tabela 48). Pošto žitarice i mleko igraju vrlo veliku ulogu u ishrani ne samo ljudi već i životinja, ne treba izgubiti iz vida njihovu prirodnu radioaktivnost.

Stalno povećavanje ukupne radioaktivnosti biosfere uzrokovano je uglavnom povećanjem njene veštačke radioaktivnosti. Tako je, na primer, merenjima ukupne  $\beta$ -aktivnosti u vazduhu posle nuklearnih eksplozija tokom 1956—57. godine ustanovljeno da neposredno posle radiokontaminacije vazduha dolazi do izvanredno brzog povećavanja radioaktivnosti u travi (maksimalna aktivnost zapažena je posle 5—6 dana), a isto tako i mleka (maksimalna aktivnost nalazi se već posle 7 dana). Iz ovih podataka jasno proizlazi kakva zavisnost postoji u radioaktiv-

noj kontaminaciji biosfere u odnosu vazduh-zemlja ili voda-životinja-čovjek. Kada su pašnjaci kontaminirani fisionim proizvodima koji se deponuju u mišićima (molibden, kadmijum, cezijum i dr.) i oni koji se izlučuju mlekom (cezijum-137, stroncijum-90, jod-131 i dr). Pošto je poznato koja količina pojedinih radionuklida nastaje prilikom fisije urana-235, kao i koja količina ovih radionuklida dospeva na zemlju u vidu padavina i može da kontaminira pašnjake, iz tih podataka i dnevnih potreba stoke za travom može se izračunati u kojoj meri nastaje kontaminacija radioaktivnim materijama. Proračun pokazuje da ako jedno grlo krupne rogate stoke (težine oko 400 kg) troši dnevno oko 40 kg trave sa pašnjaka, u njen organizam dospeva samo radioaktiv-

Tabela 48 — Prirodna radioaktivnost mleka i žita

| izotop | radioaktivnost  |                             | radioaktivnost        |                     |
|--------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|
|        | vrsta zračenja  | dnevno unošenje m/ $\mu$ Ci | mleko (1 lit.)        | žito (1 kg)         |
| C-14   | $\beta$         | 1,7                         | $0,5 \times 10^{-9}$  | $3 \times 10^{-9}$  |
| K-40   | $\beta, \gamma$ | 1,6 — 3,2<br>0,16 — 0,32    | $1,8 \times 10^{-10}$ | $6 \times 10^{-10}$ |
| Ra-226 | $\alpha$        | 0,004                       | $6 \times 10^{-14}$   | $2 \times 10^{-11}$ |

nog joda-131 oko 5—6  $\mu$ C/kg, odnosno ukupno oko 2400  $\mu$ C dnevno, od čega se u toku narednih dana izlučuje dnevno do 90%.

Ugrađivanje radioaktivnih materija u organizam čoveka može da nastane, kao primarno, udisanjem radioaktivnih aerosola, i sekundarno, upotrebom radioaktivno kontaminirane vode i životnih namirnica biljnog i životinjskog porekla. Pri tome mogu prilično da se ozrače pojedine ćelije u tkiva na putu kojim čestice prolaze i da se izazovu znatna oštećenja organizma. Usled radioaktivne kontaminacije vode mogu se direktno kontami-



nirati ribe i druge vodene životinje (rakovi, školjke i sl.) koje služe za ljudsku ishranu. Isto tako, kontaminiranom vodom mogu se navodnjavati poljoprivredne kulture i na taj način radioaktivno kontaminirati zemljište, a preko njega i biljne namirnice i stočna hrana. Prilikom napajanja stoke ovakvom vodom može doći do radioaktivne kontaminacije domaćih i divljih životinja pa preko njih i njihovih produkata (mleka, mesa), što sve u krajnjem ishodu dovodi do radioaktivne kontaminacije ljudi.

Zemljište se može takođe kontaminirati radioaktivnim materijama iz vazduha, padavinama ili veštačkim navodnjavanjem. Iz kontaminiranog zemljišta radionuklidi koji dugo žive prelaze u biljke i u njima se zadržavaju. Neki ostaju uglavnom na površini zemljišta (na primer, stroncijum), dok drugi prodiru i u dublje slojeve. Na taj način zemljište predstavlja trajni rezervoar iz kojeg radionuklidi preko biljnih namirnica (žitarica, povrća, voća i dr.) dospevaju do čoveka, odnosno preko stočne hrane do domaćih i divljih životinja i njihovih produkata, a preko ovih opet do čoveka.

U životne namirnice biljnog i animalnog porekla veštački radionuklidi mogu da dospeju putem spoljašnje i unutrašnje radiokontaminacije.

Spoljašnja kontaminacija biljnih i animalnih namirnica nastaje preko radioaktivnih padavina (prašine, vodenih taloga). Ukoliko se radi o površinskoj kontaminaciji tečnim padavinama, a ove materije se duže zadrže na površini, može doći i do njihovog prodiranja u unutrašnje slojeve tkiva i namirnica i do stvaranja stabilnih hemijskih veza (struktura kontaminacija).

Unutrašnja radiokontaminacija predstavlja ugrađivanje radioaktivnih materija u organizam biljaka i domaćih životinja, odnosno u životne namirnice biljnog i animalnog porekla. Biljke se mogu unutrašnjim putem kontaminirati kada radioaktivne padavine dospeju u zemljište i biljke ih preko svog korenskog sistema ugrade u svoja tkiva. Isto tako se i organizam domaćih životinja može unutrašnje kontaminirati udisanjem radioaktivnih aerosola, napajanjem kontaminiranom vodom ili ingestijom

hrane (zelene i zrnaste, silaže i dr.) koja je radioaktivno kontaminirana padavinama. Domaće životinje kontaminirane na ovaj način eliminišu veštačke radionuklide iz svog organizma sekrecijom i ekskrecijom, pri čemu je od naročitog značaja biološka eliminacija sekrecijom.

Upoređujući ova dva načina radiokontaminacije može se zaključiti da unutrašnja radiokontaminacija predstavlja znatno veće teškoće u pogledu ustanovljavanja, radijaciono-higijenske ocene kontaminiranih namirnica i mogućnosti i izgleda na uspeh dekontaminacije.

Poznavanje granice opasnosti, ili tzv. maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) radionuklida, koja se može tolerisati u različitim biološkim sredstvima, od izvanrednog je značaja. U stvari, MDK je u osnovi fizičko-biološki pojam zaštite od zračenja.

Da bi se ustanovila MDK neophodno je da se zna čitav niz vrlo značajnih faktora, kao što su: mehanizam resorpcije, količina rastvorljivih i nerastvorljivih jedinjenja, količina vazduha, vode i hrane koja se udiše, odnosno ingestira, prosečna dnevna količina pojedinih vrsta hrane, distribucija pojedinih radionuklida u organizmu, brzina i način eliminacije radionuklida iz pojedinih organa i celog organizma. Takođe je potrebno da se zna i kritički organ za svaki pojedini radionuklid i efektivno vreme poluraspada. Pored toga, potrebno je izabrati i tzv. standardni organizam, to jest onaj čije su fizičke, hemijske i fiziološke osobine tačno poznate. Za čoveka je to određeno u preporukama Međunarodne komisije za radiološku zaštitu 1954. godine.

Vrednosti MDK izražavaju se u jedinicama radioaktivnosti (milikirima, mikrokirima, pikokirima) po gramu mase, i to kao  $\mu\text{C/g}$  ili  $\mu\text{C/ml}$ , odnosno  $\text{pC/g}$  ili  $\text{pC/ml}$ . Vrednost MDK za neke najvažnije radionuklide date su u tabeli 49.

Poznavanje vrednosti MDK i različite potrebe za njihovo korišćenje doveli su do toga da se danas razlikuju MDK vazduha ( $\text{MDK}_{vz}$ ), MDK vode ( $\text{MDK}_v$ ), MDK za smešu neidentifikovanih radionuklida ( $\text{MDK}_{nr}$ ), MDK za izvanredne prilike ( $\text{MDK}_{ipr}$ ) i sl. Potreba za uvođenjem

Tabela 49 — Vrednost MDK za neke najvažnije radionuklide

| izotop | vrsta zračenja  | $t_{1/2}$             | % prinosa pri fisiji | ukupna količina nastala do sredine 1957. god. (u $\mu\text{Ci}$ ) | % resorpcione sposobnosti | MDK ( $\mu\text{Ci}$ ) |
|--------|-----------------|-----------------------|----------------------|---|---------------------------|------------------------|
| Sr-89  | $\beta$         | 51 d                  | 4,6                  | 950   | 30                        | 4                      |
| Sr-90  | $\beta$         | 27,7 god              | 5                    | 5,5   | 30                        | 0,1                    |
| Y-91   | $\beta$         | 58 d                  | 5                    | 1500  | 0,01                      | 5                      |
| Zr-95  | $\beta$         | 65 d                  | 6,4                  | 1100  | 0,01                      | 26                     |
| Nb-95  | $\beta$         | 35 d                  | 6,4                  | 2000  | 0,01                      | 76                     |
| J-131  | $\beta$         | 8 d                   | 2,8                  | 4000  | 100                       | 0,7                    |
| Cs-137 | $\beta, \gamma$ | 26,6 god              | 6,2                  | 7,2   | 100                       | 54                     |
| Ba-140 | $\beta, \gamma$ | 13 d                  | 6                    | 5000  | 5                         | 4                      |
| Ce-144 | $\beta, \gamma$ | 285 d                 | 5,3                  | 200   | 0,01                      | 5                      |
| Pm-147 | $\beta$         | 2,6 god               | 2,6                  | 30  | 0,01                      | 60                     |
| Pu-239 | $\alpha$        | $2,4 \times 10^4$ god | —                    | 0,3   | $3 \times 10^{-3}$        | 0,037                  |

MDK u izvanrednim prilikama proistekla je iz saznanja da će u takvim prilikama gotovo sve životne namirnice biti verovatno snažno kontaminirane.

Maksimalno dozvoljene koncentracije poznatih radionuklida kojima čovek može da bude kontaminiran proučene su relativno dobro. Od 1946. godine, kada je Morgan objavio vrednosti za MDK u različitim sredinama, do danas publikovano je dosta podataka koji unose više svetlosti u ovo područje. Tako su radionuklidi na osnovu fizičkih, hemijskih i bioloških osobina podeljeni u više grupa i za svaku je ustanovljena vrednost MDK kao standardna. Pored tih tačno analiziranih elemenata ili njihovih grupa, proučene su i MDK za neindetifikovane radionuklide. Isto tako, za pojedine kritične organe ustanovljeno je maksimalno dozvoljeno opterećenje u okviru dužeg i kraćeg vremena ekspozicije, pri čemu se naročito vodilo računa o značaju želudačno-crevnog trakta kod

interne kontaminacije ljudi. Kod izračunavanja MDK imalo se u vidu radijaciono opterećenje čovekovog organizma u toku 50 godina.

Međutim, nasuprot ljudima, kod kojih su vrednosti MDK dobro proučene u različitim biološkim uslovima, vrednosti MDK za pojedine vrste domaćih životinja još nisu dovoljno poznate i zasnivaju se uglavnom na matematičkim proračunima verovatnoće iz vrednosti dobijenih za ljude. Stoga se za MDK kod domaćih životinja može govoriti samo o orijentacionim vrednostima.

Ni vrednosti MDK za pojedine vrste životnih namirnica životinjskog i biljnog porekla još nisu detaljno razrađene, iako za pojedine postoje podaci. Međutim, pošto većina životnih namirnica sadrži oko 80% vode, MDK se za pojedine radionuklide u namirnicama biljnog i animalnog porekla zasad identifikuju sa  $MDK_v$ .

Pri proučavanju načina na koji čovek može da bude kontaminiran radioaktivnim materijama značajna uloga se pridaje domaćim životinjama i njihovim produktima.

U grupi fisionih radionuklida, samo mali broj radioizotopa ispunjava sve uslove koji omogućavaju da ovi izotopi bilo direktno ili preko domaćih životinja i njihovih produkata dospevaju u organizam čoveka. Tako je potrebno da ovi radionuklidi nastaju u velikoj količini prilikom nuklearne fisije, da imaju dovoljno dugo vreme poluraspada, da se lako resorbuju kroz tkiva, da se u velikoj meri i u relativno kratkom vremenu izlučuju iz organizma sekrecijom i da se u dovoljnoj količini unose u organizam hranom. U ovom pogledu značajni su samo izvesni radionuklidi: radioaktivni jod (J-131), cezijum (Cs-137), cerijum (Ce-144), barijum (Ba-140) i stroncijum (Sr-89, 90) koji, uglavnom, ispunjavaju pomenute uslove. Međutim, značaj navedenih radioizotopa za pojedine životne namirnice dosta je različit, i to kako u pogledu načina i brzine eliminisanja iz organizma, tako i u pogledu dnevnih potreba čoveka za ovim namirnicama. Svi pomenuti radioizotopi izlučuju se kroz mleko, dok se cezijum-137 i cerijum-144 nalaze pretežno u mesu, a stroncijum-90, kao i barijum-140, uglavnom u kostima.

Zato je korisno da se u najkraćim crtama razmotre biološke osobine najvažnijih radionuklida i njihov udeo u kontaminaciji životnih namirnica.

Radioaktivni jod-131 dospeva u organizam čoveka i domaćih životinja u elementarnom obliku ili kao jodid, i to manjim delom direktno iz vazduha, a znatno većim indirektno preko povrća i zelene hrane kontaminirane radioaktivnim padavinama. Resorbujući se iz hrane, radionuklid joda dospeva u krvotok odakle ga preuzima štitna žlezda i fiksira do zasićenja, dok se preostale količine izlučuju mokraćom i izmetom. Radiokontaminacija životnih namirnica jodom-131 nema većeg biološkog značaja s obzirom na dosta kratak život ovog izotopa ( $t_{1/2} = 8$  dana). Inače, jod-131 se posle uzimanja hranom može ustanoviti u mleku već pola časa posle unošenja, a posle 3—4 časa dostiže maksimalnu koncentraciju. Biološka eliminacija J-131 u toku 7 dana posle ingestije iznosi mokraćom 50%, izmetom 20% i mlekom 8%. Dugotrajnije svakodnevno unošenje u organizam J-131 dovodi do vrlo brzog porasta njegove koncentracije u tireoideji, mleku, mokraći i izmetu, pa bi se posle 5—10 dana stigao konstantan nivo. Ukupna količina K-131 koja se dnevno izluči mlekom, pokazuje prirodna variranja i zavisi od količine pomuženog mleka i godišnjeg doba.

Radioaktivni cezijum-137 ispunjava vrlo dobro uslove koji su izneti na početku ovog poglavlja. Ponaša se u organizmu vrlo slično kalijumu i nalazi se kao mikroelement u međucelijskim prostorima gotovo svih tkiva. Iz toga proizilazi da se cezijum-137 ne deponuje u pojedinim organima i da nema kritičnog organa u organizmu. Međutim, biološka eliminacija je vrlo različita kod čoveka i pojedinih vrsta domaćih životinja, i znatno je veća kod preživača nego kod nepreživača. Ova eliminacija se vrši mokraćom, izmetom i mlekom, te u prvih 7 dana iznosi 30% izmetom i mokraćom, a 10% mlekom. Meso i mleko predstavljaju najvažniji put kojim Cs-137 dospeva do ljudi preko životnih namirnica.

Koncentracija Cs-137 u različitim biološkim sredinama i životnim namirnicama izražava se u odnosu na

koncentraciju K-40, pošto je ustanovljeno da postoji određen odnos između ova dva, po distribuciji, vrlo slična izotopa. Direktna merenja gama-aktivnosti na ljudima pokazala su da odnos između Cs-137 i K-140 iznosi 0,05. Taj odnos ne zavisi od geografskog položaja ispitivanog područja.

Radioaktivni barijum-140 nema naročitog biološkog značaja zbog kratkog vremena poluraspada (12,8 dana). Putem mleka izlučuje se iz organizma krave.<sup>37</sup> Biološki značaj Ba-140 povećava se i time što se ugrađuje u koštani sistem (tzv. osteotropni radionuklid). Biološka eliminacija Ba-140 vrši se 98% izmetom, 1% mokraćom i od 0,6% mlekom (dnevno 0,01% po litri) od ukupne količine unete u organizam.

Radioaktivni stroncijum-90 je radionuklid i spada u grupu osteotropnih radioizotopa koji dugo žive. Stroncijum je mikroelemenat koji je dosta pravilno raspoređen u organizmu čoveka, životinja i biljaka. U organizmu se ponaša slično kalcijumu, pa je i lokalizovan slično njemu. Količina stroncijuma u skeletu znatno zavisi od njegove koncentracije u zemljištu, odnosno od količine koja se u organizam unosi hranom.

Iako je po metabolizmu stroncijum vrlo sličan kalcijumu, ipak organizam čoveka, životinje i biljke u konkurenciji oba elementa daje izvesnu prednost kalcijumu. Tako postoji razređenje Sr prema Ca u odnosu na spoljnu sredinu. Kao faktor razređenja, tzv. diskriminacija, označava se odnos Sr/Ca. Diskriminacija biljka (zemljište iznosi 0,7—0,8, a krv/hrana 0,25, mleko/hrana je 0,13, a mleko/krv 0,5. Resorpcija stroncijuma iz zemljišta nije podjednaka kod svih biljaka. Leguminoze resorbuju znatno više stroncijuma iz zemljišta u poređenju sa travama. Zbog toga je interna kontaminacija stroncijumom životinja koje se hrane leguminozama znatno veća nego kod travojeda.

<sup>37</sup> Tako je u SAD u toku 1957. godine posle nuklearnih fisija ustanovljena koncentracija od 0,09 do 0,46 m $\mu$ C 140-Ba po litru mleka, dok je u Švajcarskoj u toku 1958. god. ustanovljena količina od 0,003 mC po gramu sveže salate.

Tabela 50 — Fizičke i biološke konstante nekih bioloških važnih radionuklida

| izotop          | energija (u MeV) |          | vreme poluraspada |          |           | % resorpcije iz digestivnog trakta | kritički organ    | % deponovanja u organizmu | MDK v pri trajnom unošenju ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) |
|-----------------|------------------|----------|-------------------|----------|-----------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|---|
|                 | $\beta$          | $\gamma$ | fizičko           | biološko | efektivno |                                    |                   |                           |   |
| Sr-89           | 1,46             | —        | 50,5 d            | 35,6 god | 50,3 d    | 30—70                              | skelet            | 60                        | $1 \times 10^{-4}$  |
| Sr-90 + Y-90    | 0,61             | —        | 27,4 god          | 35,6 god | 15,6 god  | 30—70                              | skelet            | 60                        | $1 \times 10^{-6}$  |
| Nb-95           | 0,16             | 0,74     | 35 d              | 2,1 god  | 35,5 d    | 2                                  | skelet            | 30                        | $1 \times 10^{-3}$  |
| Zr-95 + Nb-95   | 0,37             | 0,72     | 3,3 d             | 1,2 god  | 55,5 d    | 0,1                                | jetra<br>skelet   | 10<br>50                  | $6 \times 10^{-4}$  |
| J-131           | 0,61             | 0,36     | 8 d               | 180 d    | 7,7 d     | 100                                | štitna<br>žlezda  | —                         | $1 \times 10^{-4}$  |
| Cs-137          | 0,52             | 0,66     | 30,1 god          | 70 d     | 70 d      | 60—90                              | mišići<br>krv     | 60<br>10                  | $2 \times 10^{-4}$  |
| Ba-140 + La-140 | 1,05<br>0,48     | 0,57     | 12,8 d            | 65 d     | 10,7 d    | 30—70                              | skelet            | 60                        | $3 \times 10^{-4}$  |
| Ce-144 + Pr-144 | 0,30<br>0,17     | 0,134    | 290 d             | 1,5 god  | 191 d     | 0,1                                | skelet<br>jetra   | 20<br>60                  | $1 \times 10^{-4}$  |
| Y-91            | 1,55<br>0,36     | 1,21     | 58 d              | 38,3 god | 58 d      | oko 1                              | skelet            | 60                        | $3 \times 10^{-4}$  |
| Ru-103          | 0,37             | 0,72     | 65 d              | 180 d    | 48 d      | 10                                 | skelet<br>bubrezi | 15                        | $1 \times 10^{-4}$  |

Radioaktivna kontaminacija domaćih životinja stroncijumom posle jednokratnog unošenja dovodi do povećanja sadržaja ovog radionuklida u mleku, i za oko 30 sati dostiže maksimalnu vrednost. Biološka eliminacija vrši se uglavnom izmetom (95<sup>0/0</sup>), dok se mokraćom izlučuje samo 1,5<sup>0/0</sup>, a mlekom 0,9<sup>0/0</sup> (dnevno oko 0,1 po litru).

### *Kontrola radiokontaminacije životnih namirnica*

Prvo ispitivanje radioaktivnog zagađenja životnih namirnica vrši se gotovo uvek na mestu radiokontaminacije. To rade specijalno obučeni stručnjaci iz službe koja je odgovorna za higijensku kontrolu životnih namirnica (sanitarni, poljoprivredni i veterinarski inspektori). Ti stručnjaci, snabdeveni aparatom za detekciju jonizujućeg zračenja, mogu da izvrše brzo i orijentaciono ispitivanje i to samo u slučaju spoljašnje radiokontaminacije životnih namirnica ili domaćih životinja i njihovih produkata. Međutim, pošto aparati kojima se služe nisu dovoljno osetljivi, mogu se koristiti samo kod visoke spoljašnje radiokontaminacije, dok za finija ispitivanja (detekciju niske radioaktivnosti, unutrašnju kontaminaciju, identifikaciju radionuklida) ovi aparati nisu podesni. Stoga se uloga organa kontrole terenske službe za detekciju radiokontaminacije životinja i njihovih produkata svodi, uglavnom, na to da u opravdanim slučajevima (kada postoji i najmanja sumnja na mogućnost radioaktivne kontaminacije) nareda preduzimanje određenih mera. Naime, stoka i druge domaće životinje koje su radioaktivno kontaminirane ili sumnjive na kontaminaciju moraju se zatvoriti ili im se bar ograničiti kretanje, a proizvodi od ovih životinja ne smeju se koristiti za ishranu sve dok se ne dobiju konačni rezultati laboratorijskih ispitivanja. Zabrani korišćenja do završetka laboratorijskih analiza podležu i sve kontaminirane i sumnjive životne namirnice biljnog porekla, kao i stočna hrana.

Terenska služba za kontrolu radiokontaminacije životinja, animalnih i biljnih namirnica ima i zadatak da



uzme i pripremi za slanje u laboratoriju uzorke sumnjivih namirnica.

Pri uzimanju uzoraka za radiometrijsku analizu treba obratiti pažnju da se od svežih neprerađenih, životnih namirnica animalnog porekla uzmu uzorci ne samo od spoljašnjih (kože, krljušti, škrge) već i unutrašnjih delova (pluća, bubrega, jetre, žlezdi, mesa, kosti). Uzorci od životnih namirnica biljnog porekla, kao i od finalnih stočnih proizvoda (prerađenog mesa, masti i ostalih prerađevina, mleka i mlečnih proizvoda) uzimaju se i šalju u laboratoriju bez oštećenja površine, odnosno pojedinih delova.

Uzorci sumnjivih životnih namirnica stavljaju se u pripremljene i u radiološkom smislu čiste posude od stakla ili plastične mase, dobro se zatvaraju i stavljaju u posebne kontejnere prilagođene za ovu svrhu. Uslovi i način pakovanja u svemu treba da odgovaraju veterinarsko-sanitarnim propisima o zdravstvenoj i radiološkoj zaštiti ljudi prilikom transporta ovakvog materijala (dobro upakovano, smanjenje zračenja i posebno obeleženo).

Radiološka laboratorija za kontrolu kontaminacije životnih namirnica, zahvaljujući opremi kojom raspolaže, moći će da iz tih uzoraka odredi stepen radioaktivnosti u mnogo boljim uslovima nego što se to može na terenu.

Primenom pogodne laboratorijske tehnike pri izradi preparata iz uzoraka (uparavanjem, žarenjem, spaljivanjem, komprimiranjem) može se povećati koncentracija radioaktivnosti u ispitivanom materijalu. Primenom specijalnih brojačkih uređaja i druge dopunske aparature znatno se povećavaju osetljivost i efikasnost merenja. Tako se dobija pokazatelj ukupne radioaktivnosti sa sumarnim iskazivanjem kontaminanata, što je najčešće dovoljno za orijentaciju terenske kontrolne službe.

Međutim, dosta često je potrebno da se preciziraju i izvesni detalji. U tom slučaju treba se obratiti nekoj visoko specijalizovanoj radiološkoj laboratoriji gde se proučavanjem radioaktivnog raspada i spektrometrijskom analizom energije zračenja vrlo precizno identifikuju pojedini radionuklidi.

## *Dekontaminacija životnih namirnica*

Radiološka dekontaminacija životnih namirnica zasniva se na opštim principima radiološke dekontaminacije primenom različitih postupaka koji se svode na: uklanjanje radioaktivnih čestica sa površine namirnica, samodekontaminaciju i radioizotopno razblaženje.

Uklanjanje radioaktivnih čestica sa površine namirnica dolazi u obzir samo kod spoljašnje kontaminacije i može se izvesti primenom mehaničkih ili hemijskih metoda, odnosno kombinovanjem dveju ili više metoda.

Mehaničke metode su najjednostavnije i najekonomičnije. U obzir dolaze ovde pranje vodom (po mogućstvu tekućom i pod pritiskom). Postupak se uspešno primenjuje samo ako su radioaktivne čestice kontaminanta slabo vezane za podlogu. Tada se ovom metodom može ukloniti oko 90% aktivnosti. Dodavanjem različitih deterdženata (3—5% rastvor) može se povećati efekat dekontaminacije na preko 90%. Skidanje površinskog sloja dolazi u obzir samo kad prethodno primenjene metode nisu dale željeni rezultat. Nedostatak metode je u tome što se njenom primenom narušava struktura površinskog sloja tretiranog materijala.

Hemijske metode dekontaminacije znatno su skuplje i komplikovanije od mehaničkih, te se primenjuju samo kad se drugim postupcima ne može postići zadovoljavajući rezultat. Od tih metoda najpoznatiji su jonska izmena, primena kompleksona, obrada jakim kiselinama i bazama, i obrada organskim rastvaračima. Jonska izmena zasniva se na principu zamene jona radioaktivnih elemenata jonima odgovarajućeg neaktivnog elementa. Tako se, na primer, joni radioaktivnog Sr-90 mogu zameniti jonima neaktivnog Ca-40. Primena kompleksonima zasniva se na svojstvu mnogih jedinjenja koja su nerastvorljiva u vodi da sa slobodnim jonima grade nova, kompleksna jedinjenja rastvorljiva u vodi. Takvo dejstvo imaju soli limunske, sirćetne i oksalne kiseline (kao 5—10% rastvora), kao i specijalni preparati, na primer versen (kao 3—5% rastvor). Za primenu drugih kompleksona potrebno je dobro poznavanje hemije. Obrada jakim

kiselinama (na primer, 3—6 N rastvori HCl,  $\text{NH}_3$  i  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) i bazama (kao 10 N rastvor NaOH) dolazi u obzir samo kad nije u pitanju namirnica ili proizvod koji se dejstvom ovih kiselina može oštetiti ili stvoriti neki toksični spoj. Obrada organskim rastvaračima (alkoholom, benzinom, terpentinom, trihlor-etilenom) svodi se na rastvaranje masti i sloja prljavštine. Ovaj postupak dolazi u obzir za dekontaminaciju ambalaže koja se koristi za pakovanje životnih namirnica.

Kombinovane metode predstavljaju, u stvari, primenu dve ili više opisanih metoda, i to bilo istovremeno ili sukcesivno. Kombinovanje se izvodi najčešće tako što se najpre pristupa mehaničkom uklanjanju, a potom se primenjuje neka hemijska metoda.

Samodekontaminacija predstavlja proces spontanog smanjivanja radioaktivnosti prirodnim radioaktivnim raspadom. Ovaj postupak se primenjuje kada nije izvodljiv nijedan drugi pogodniji način za dekontaminaciju, a hrana je kontaminovana isključivo radionuklidima koji kratko žive.

Radioizotopno razblaživanje u hrani je postupak mešanja kontaminirane hrane sa čistom (nekontaminiranom). Ovo, u stvari, i nije prava dekontaminacija, već samo mešanje (razređivanje) da bi se dobila smeša čija aktivnost ima nivo MDK propisan za tu vrstu hrane. Ovaj postupak dolazi u obzir samo kod stočne hrane.

Efekat dekontaminacije primenom različitih postupaka zavisi od pravilnog izbora metode. Pre primene bilo kog postupka treba ispitati ekonomičnost dekontaminacije. Ukoliko je vrednost namirnica koje treba dekontaminovati ispod vrednosti samog postupka, dekontaminacija nema svrhe.

Dekontaminacija životnih namirnica animalnog porekla je vrlo složen problem i posmatra se zavisno od vrste, agregatnog stanja i količine namirnica, vrste i načina radioaktivne kontaminacije, kao i stanja, intenziteta zračenja i vremena poluraspada radionuklida kojima je hrana kontaminovana.

U slučaju radioaktivne kontaminacije namirnica animalnog porekla radionuklidima koji kratko žive (ukoliko

su prethodno identifikovani) nije potrebna niti ekonomična bilo kakva dekontaminacija, ako je vreme poluraspada radionuklida kraće od dve nedelje. Dovoljno je da se posle radijaciono-higijenske ocene odredi rok posle kojeg se namirnice mogu koristiti za ishranu. Pre davanja dozvole za njihovu upotrebu uvek je potrebna ponovna radijaciono-higijenska ocena.

U slučaju radioaktivne kontaminacije namirnica animalnog porekla radionuklidima koji dugo žive, odnosno smešom onih koji kratko i dugo žive, neophodno je primeniti neki od postupaka za dekontaminaciju. Kod površinske kontaminacije svežih, odnosno neupakovanih, namirnica u čvrstom stanju (mesa, mlečnih proizvoda, jaja) princip dekontaminacije sastoji se, pre svega, u mehaničkom uklanjanju radioaktivnosti sa njihove površine. Namirnice sa čvrstim površinskim slojem (jaja, neke vrste sireva, suvo meso i sl.) prethodno se podvrgavaju kratkotrajnoj dekontaminaciji od 5 do 10 minuta mlazom vode pod pritiskom. Potom se mehanički odstranjuje površinski sloj od 1 do 2 cm, a kod jaja se uklanja ljuska. Kod namirnica koje nemaju čvrst površinski sloj najpre se mehanički odstrani površinski sloj u debljini 1—2 cm, a tek potom se pristupa dekontaminaciji vodenim mlazom. U oba slučaja posle završene dekontaminacije, a pre davanja dozvole za upotrebu, neophodna je radijaciono-higijenska ocena namirnica.

Ako dekontaminacijom nije postignut željeni rezultat, postupak se može ponoviti, a posle pranja vodom namirnice se mogu (ukoliko to zdravstveno-higijenski uslovi dozvoljavaju) potapati u 1% rastvora odgovarajućih jonoizmenjivača. Ukoliko i posle ponovljenog celog postupka efekat dekontaminacije nije zadovoljavajući, rad na dekontaminaciji se napušta, jer se verovatno ne radi o spoljašnjoj, već o unutrašnjoj ili mešovitoj radiokontaminaciji.

Živežne namirnice animalnog porekla koje dolaze u promet ambalažirane u hermetičkim omotima od plastičnih masa, limenim kutijama i sl., vrlo dobro su zaštićene od površinske radiokontaminacije. Ali i u tom slučaju

potrebna je kratkotrajna dekontaminacija omota pranjem u mlazu vode, a tek potom se namirnice pažljivo otpakuju i izvrši radijaciono-higijenska ekspertiza. Namirnice ambalažirane u nehermetičkim omotima tretiraju se kao neupakovane i podležu izloženom postupku dekontaminacije.

Animalne namirnice čvrstog agregatnog stanja (meso, jaja), kao i druga hrana koja je radioaktivno kontaminovana unutrašnjom (strukturnom) radiokontaminacijom, neupotrebljive su za ishranu sve dok se posle izvršene kontrole ne ustanovi da se radioaktivnost u njima nalazi ispod granice dozvoljene koncentracije (MDK).

Pri dekontaminaciji životnih namirnica animalnog porekla tečnog agregatnog stanja (na primer, mleka) nailazi se na prilične teškoće, pošto gotovo nema razlike između površinske i strukturalne kontaminacije. Međutim, eksperimentima je ustanovljeno da se primenom odgovarajuće tehnike i uređaja mleko ipak može dekontaminirati. Efekat dekontaminacije kod ovog postupka je prilično visok (95%), ali mali kapacitet obrade kontaminovanog mleka predstavlja nedostatak metode. Poslednjih godina, na osnovu poznavanja distribucije biološki važnih radionuklida u pojedinim komponentama mleka (pavlaci, belančevinama, mlečnom serumu i dr.), uobičajenim metodama (hemijskom ili fermentativnom obradom) izlučeni su iz kazeinskog kompleksa Sr-90 i Cs-137, dok je J-131 ostao vezan gotovo isključivo za masnu komponentu mleka. Tako se pogodnom obradom mogu dobiti veće količine upotrebljivih mlečnih proizvoda, dok buter mora da odstoji određeno vreme da bi se jod-131 raspao do maksimalno dozvoljene koncentracije.

Radiodekontaminacija životnih namirnica biljnog porekla suštinski se ne razlikuje od postupaka koji se primenjuje za kontaminaciju namirnica životinjskog porekla. Dolazi u obzir mehaničko odstranjivanje površinskog sloja (ljuštenje) u debljini 1—3 cm, dekontaminacija mlazom vode u trajanju 5—10 minuta i potapanja u 1% rastvor odgovarajućeg jonoizmenjivača. Koji će se postupak primeniti zavisi od vrste i prirode same namirnice. Na primer, kod nekih namirnica biljnog porekla (žitarica,

nekih vrsta povrća) mehanički odstranjivanje površinskog sloja ne dolazi u obzir, dok je kod drugih (krtolastih i drugih podzemnih plodova, glavičastog povrća, voća) ovaj postupak od prvenstvenog značaja.

Prilikom izbora postupka za dekontaminaciju namirnica biljnog porekla treba voditi računa i o ekonomičnosti. Ovo tim pre što su namirnice biljnog porekla obično kabaste i zauzimaju priličnu zapreminu. Stoga pri dekontaminaciji ne treba primenjivati skupocene postupke (na primer, jonoizmenjivačima) čija vrednost može daleko da premaši vrednost namirnica, već se orijentirati na najekonomičniji postupak. Isto tako, ni ovde ne treba gubiti iz vida pravilo da se bez radiometrijske kontrole pre i posle dekontaminacije namirnica ne mogu pustiti u promet.

Radioaktivna dekontaminacija stočne hrane nailazi na gotovo nepremostive teškoće zato što se radi o vrlo velikim količinama. Stoga se u poljoprivredi i preventivnoj veterinarskoj medicini pojavio važan zadatak da se pronađu mogućnosti i metode kako da se pri pojavi veštačke radioaktivnosti u biosferi spreči prelazak ovih materija u namirnice i hranu. U tom pogledu za sada postoje samo delimični rezultati i ispitivanja se još nalaze na početku.

## KONTAMINACIJA I DEKONTAMINACIJA LJUDI

Usprkos zaštitnim i kontrolnim merama ne mogu se izbeći manji ili veći akcidenti radiološke kontaminacije ljudi na mestima gde se radi sa radioaktivnim materijama. Međutim, dok su ti akcidenti u mirnodopskim uslovima najčešće pojedinačni, u izvanrednim uslovima dolazi do masovne kontaminacije civilnog stanovništva i borbenih jedinica.

Iz praktičnih razloga kontaminacija se deli na spoljnu i unutrašnju.

Pod spoljnom kontaminacijom čoveka podrazumeva se neželjeno prisustvo radioaktivnih supstancija na koži i vidljivim sluzokožama. Ona je u praksi najčešći radio-

loški akcident i može se javiti kao: lokalizovana spoljna kontaminacija (najčešće šaka i lica) bez povrede kože; lokalizovana spoljna kontaminacija sa popratnom povredom kože (rane, opekotine itd.); kontaminacija veće površine ili celoga tela, bez povrede; kontaminacija veće površine ili celog tela, praćena lakšom ili težom povredom; i spoljna kontaminacija praćena istovremenim ozračivanjem osobe visokom dozom zračenja.

Svakom od ovih oblika kontaminacije prilagođavaju se sredstva i postupci za dekontaminaciju.

Tri osnovna razloga nalažu bržu intervenciju u slučaju kontaminacije kože: sprečavanje transkutane unutrašnje kontaminacije, sprečavanje oštećenja kože  $\beta$ -izračivačima i sprečavanje naknadnog delimičnog ili opšteg ozračivanja tela  $\gamma$ -izračivačima nataloženim na koži.

Iako normalno koža predstavlja neku vrstu zaštitnog omotača tela i relativno je nepropustljiva za većinu supstancija, radioaktivni izotopi dosta brzo prodiru kroz nju, te se najveća količina apsorbuje u prvim satima posle kontakta. Količina prodrle radioaktivne materije direktno zavisi od veličine kontaminirane površine, količine radioizotopa, dužine vremenskog kontakta i fiziološkog stanja kože. Kod oštećenja, otvorenih rana i opekotina, količina prodrle radioaktivne materije može da iznosi 50% i više od prisutnog radioizotopa.

Današnje mogućnosti za uklanjanje prodrlog radioaktivnog materijala u organizam vrlo su ograničene i zbog toga spoljna dekontaminacija spada u hitne medicinske zahvate, jer se njome smanjuje ili potpuno sprečava — ako se blagovremeno poduzme — transkutana interna kontaminacija.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Prilikom termonuklearne eksplozije na Bikiniju 1954. godine došlo je, usled rasprostiranja radioaktivnih padavina, do akcidentalne kontaminacije stanovnika Maršalskih ostrva. Kod velikog broja stanovnika, čiji su otkriveni delovi tela bili zagađeni radioaktivnom prašinom, došlo je do teških oštećenja kože (tzv.  $\beta$ -opekotina) različitog stepena. Stepen opekotine direktno je zavisio od intenziteta kontaminacije, energije zračenja i dužine vremenskog kontakta radioaktivne prašine i kože. Kod onih stanovnika koji su se neposredno posle kontaminacije okupali u moru, kožne promene nisu zapažene.

Pri dekontaminaciji poželjno je da se potpuno ukloni kontaminant, što je praktično neizvodljivo, jer u procesu kontaminacije dolazi do njegovog vezivanja za kožu u većoj ili manjoj meri. Mehanizam kontaminacije kože, u grubome, je fizičko-mehanički (fizička adsorpcija, taloženje nerastvorenih čestica na površini i skupljanje u naborima kože, prodiranje kroz pore i duž dlake i folikule) i hemijski (hemijsko vezivanje kontaminanata sa sastavnim delovima kože kao što su neki azotni u vodi topivi spojevi, masne kiseline itd.).

Kontaminabilnost (sposobnost neke površine da veže radioaktivni materijal s kojim je došla u dodir) kože zavisi od mnogobrojnih faktora kao što su fizičke i hemijske osobine kontaminanta, specifična radioaktivnost, vreme kontakta sa kožom, pH-kože, integritet i fiziološko stanje kože (suvoća, vlažnost, temperatura itd.).

Praktično, u procesu kontaminacije kože, bez obzira na mehanizam nastanka, formiraju se tri sloja. Prvi čini nataloženi kontaminant koji nije vezan za kožu pa se lako uklanja. Drugi je vezan za kožu (bilo da je u pitanju fizička bilo hemijska atherencija), ali još može da se ukloni relativno jednostavnim postupcima. Treći sloj čini materijal čvrsto vezan za površinu, ili onaj koji je već prodru u kožu, pa se stoga veoma teško uklanja i zahteva dugotrajne, često komplikovane i agresivne metode, uključujući i hiruršku intervenciju.

Najveći deo kontaminanta nalazi se u prva dva sloja i rutinska dekontaminacija, koja može da se izvodi u manjim dekontaminacionim punktovima ili na licu mesta pa, čak, i na otvorenom prostoru, svodi se na uklanjanje kontaminacije iz ova dva sloja.

Vršena su i još se vrše sve intenzivnija ispitivanja u pronalaženju pogodnih dekontaminacionih i zaštitnih sredstava i odgovarajućih metoda njihove primene u slučajevima radiološke kontaminacije radi apsolutne zaštite kože od spoljne kontaminacije i potpune standardizacije sredstava i postupaka dekontaminacije. Dok se u mirnodopskim uslovima rada u većim dekontaminacionim sek-



torima — gde dekontaminaciju izvodi obučeno osoblje — mogu upotrebljavati komplikovane metode i specijalno pripremljena skupocena sredstva i aparati, u rutinskim dekontaminacionim punktovima, a naročito u izvanrednim uslovima, osnovno je da se zadovolji nekoliko jednostavnih, ali važnih zahteva pri izboru sredstava i postupaka. Prvi je da ih mogu upotrebiti na licu mesta, direktno same kontaminirane osobe i da je omogućena masovna primena (tj. da su postupci i sredstva prilagođeni mogućnostima samodekontaminacije u manjem dekontaminacionom punktu ili u improvizovanim uslovima za vanredne prilike). Dekontaminaciona sredstva treba da su ekonomična, efikasna, da se lako nabavljaju preko domaće trgovačke mreže, da su praktična za upotrebu i transport. Njihova upotreba ne treba da izaziva oštećenja kože i time unutrašnju kontaminaciju, što bi dovelo do veće opasnosti nego što je realna opasnost od spoljne kontaminacije. Primena dekontaminacionih sredstava ne sme da zahteva specijalne i dugotrajne postupke i specijalne aparate. Konačno, dekontaminacioni postupak mora biti takav da se ne zagade čisti delovi kože i kontaminacija ne proširi na susedne delove tela.

Nemoguće je odrediti univerzalno sredstvo i univerzalnu metodu za spoljnu dekontaminaciju ljudi i zato se prema obliku u kojem se kontaminacija javlja (lokalizovana ili difuzna), prema vrsti i obliku kontaminanta, biraju sredstva i metode.

Prema načinu delovanja, dekontaminaciona sredstva mogu se svrstati u više grupa. U prvu spadaju sredstva sa mehaničkim delovanjem, tj. kad se pranjem, trljanjem i četkanjem radioaktivna supstancija uklanja zajedno sa sredstvom za dekontaminaciju (vodom, raznim vodenim rastvorima i nekim bezvodnim dekontaminacionim sredstvima). Drugu grupu čine sredstva koja deluju snižavanjem površinskog napona, promenom električnog naboja, menjanjem svojstava površnih koloida kože, sopstvenim koloidnim svojstvima, emulgiranjem itd. U ovu grupu ubrajaju se sapun i deterdžent. U treću grupu ubrajaju se sredstva koja sa kontaminantom stvaraju jedinjenja

topljiva u vodi, deluju putem izotopske dilucije, kao jon-ski izmenjivači, helati itd.

Najčešće je mehanizam delovanja kompleksan.

Za rutinsku dekontaminaciju kod lokalizovane spoljne kontaminacije preporučuje se klasičan postupak koji je prihvaćen u većini nuklearnih centara. Pošto se utvrdi da postoji kontaminacija, koliko je rasprostranjena i zabeleže rezultati prvog merenja, pristupa se pranju kontaminirane površine obilnom sapunicom u trajanju od 2 minuta. Posebna pažnja, ukoliko se radi o kontaminaciji ruku, posvećuje se delovima kože između prstiju, oko noktiju i spoljnih ivica šake. Potom se sve dobro ispere pod mlazom vode. Upotreba tople vode se ne preporučuje, iako je dekontaminacija njom efikasna, pošto se pod njenim delovanjem otvaraju pore te kontaminant lakše i brže prodire u kožu. Koža se suši papirnim ubrusom ili aparatom za sušenje (toplim vazduhom). Na kraju se ponovo zabeleže rezultati. Ukoliko kontaminacija i dalje postoji, postupak se ponavlja još dva puta. Umesto sapuna mogu se upotrebiti 3—5% otopine sintetskih deterdženata.

U slučaju neuspeha, preporučuje se sledeći postupak: u operaciji čišćenja (uz isto dekontaminaciono sredstvo: sapun, deterdžente) upotrebi se meka četka za pranje ruku, tzv. hirurška, ili četka za brijanje sa kraćom dlakom i blagim pritiskom četke na kontaminovanu zonu, uz obilno stvaranje pene i ispiranje vodom, uklanja se kontaminant. Četka se ne sme grubo pritiskati da bi se izbeglo i najmanje oštećenje kože. Čišćenje traje 2 minuta. Na kraju dolazi ispiranje običnom vodom, sušenje, pa se izmeri radioaktivnost dekontaminirane površine i zabeleži rezultat. I ova operacija može se, po potrebi, ponoviti još dva puta.

Navedena dva postupka obično daju zadovoljavajuće rezultate. Ukoliko je kontaminacija prouzrokovana fizi-onim produktima i održava se i posle tih postupaka, u daljoj dekontaminaciji upotrebljava se smesa 5% nile i 2% versena ili samo 2% versena, a čišćenje se izvodi kao što je već navedeno i traje 2 minuta. Ako je potrebno može se ponoviti dva puta.

Ako je u pitanju kontaminacija sa  $\alpha$ -izračivačem, koja se posle početne kontaminacije i dalje održava, u daljem postupku se kao dekontaminaciono sredstvo upotrebljava limunska kiselina. Dva minuta ispira se kontaminirana površina 3% rastvorom limunske kiseline uz blago četkanje, a zatim se ispere pod mlazom vode. Operacija se takođe može, po potrebi, ponoviti 2 puta.

Kod tvrdokornih kontaminacija preporučuje se primena zasićenog rastvora  $\text{KMnO}_4$  (6,4 gr na 100 ml. vode). Pranje ruku ovim rastvorom uz blago četkanje ne sme da traje duže od 2 minuta. Potom sledi ispiranje običnom vodom, zatim sveže pripremljenim 5% rastvorom  $\text{NaHSO}_3$  uz blago četkanje i najzad opet vodom. Postupak se sme ponoviti samo dva puta, jer je prilično agresivan za kožu, te se, po pravilu, sprovodi u prisustvu obučenog osoblja.

Dekontaminacija se može vršiti i morskou vodom. Deterdženti ekstra radion i albus specijal dobro se rastvaraju u morskoj vodi i efikasnost dekontaminacije ne zaostaje za ostalim pomenutim sredstvima.

Ukoliko se ne raspolaže sa dovoljno vode ili je uopšte nema, za dekontaminaciju se upotrebljavaju tzv. bezvodna dekontaminaciona sredstva. U tu svrhu može se upotrebiti pasta napravljena od 50% sintetskog deterdženta i 50% kukuruznog brašna. Posle blagog četkanja uz dodavanje minimalne količine vode (ili bez vode), pasta se uklanja vatom ili nekom tkaninom. Koristi se i homogenizovani krem koji se pravi od 88% vode, 8% karbose (Carboxymethyl Cellulose), 3% deterdženta i 1% versena (EDTA). Njime se premaže kontaminirana površina i posle trljanja i blagog četkanja od 1 minute ukloni vatom ili mekom tkaninom.

U nuždi se mogu upotrebiti vlažne mekinje, vlažno kukuruzno brašno pa, čak, i vlažna strugotina.

Preventivna upotreba zaštitnih krema prilikom rada sa radioaktivnim supstancama štiti kožu od prodiranja radioaktivnih materija i ubrzava dekontaminaciju. Od domaćih preparata preporučuje se zaštitni krem »lek 48« i »octa«.

Rezultati dekontaminacije obično se izražavaju na jedan od dva načina: kao procenat uklonjenog aktiviteta

$$P = \frac{(I_a - F_a) \times 100}{I_a} \text{ ili kao faktor dekontaminacije } F_d =$$

$$= \frac{I_a}{F_a} \text{ (u oba slučaja } I_a = \text{ inicijalna radioaktivnost, a } F_a = \text{ finalna (završna) radioaktivnost).}$$

U praksi se isto dekontaminaciono sredstvo upotrebljava najviše u tri operacije čišćenja, jer bi u narednima faktor dekontaminacije opadao (približio se, odnosno bio ravan jedinici).

Pri kontaminaciji veće površine tela dekontaminacija se izvodi pod tušem uz pomoć obučene osobe. Sredstva i postupak su isti.

Oči, nos i usta se dekontaminiraju obilnim ispiranjem običnom vodom ili fiziološkim rastvorom. Prethodno se čvrsto namotanom vatom na drvenom štapiću uzme bris sa kontaminiranog mesta radi daljih analiza. Za dekontaminaciju ne upotrebljavaju se nikakva hemijska sredstva. Ovakva osoba se upućuje u specijalizovani centar za dekontaminaciju.

Ukoliko je kontaminacija praćena povredom kože (ranom), kontaminirana zona se ispere pod mlazom obične vode ne zaustavljajući krvavljenje, ako za to ne postoji vitalna indikacija. Kontaminirana rana se previje čistom gazom i stavi poveska iznad mesta krvavljenja tako da se ne zaustavi potpuno arterijski priliv krvi, već samo venski krvotok.

Rana se kontaminira kirurškim putem. Obrada rane sa otklanjanjem kontaminiranog tkiva mogućna je samo u bolničkim centrima.

U mirnodopskim uslovima, po pravilu, posle svake kontaminacije, a pogotovu posle kontaminacije sluzokože i kože sa oštećenjem, neophodne su u narednim danima radiotoksikološke analize ekskreta (urina) da bi se ustanovila eventualna unutrašnja kontaminacija.

Na svim mestima gde se radi sa radioaktivnim izotopima i gde postoji mogućnost akcidentalne kontami-

nacije osoblja potrebno je organizirati punkt za spoljnu dekontaminaciju. Shematski to izgleda ovako: kontaminirana osoba ulazi u aktivnu zonu gde se vrši detekcija, uzima kontaminirana odeća i stokira u posebne prostorije. Ako je potrebna medicinska intervencija pre kontaminacije, kontaminiranoj osobi se ukazuje pomoć u sobi za intervencije. Zatim se pristupa dekontaminaciji u određenoj sali, gde se nalaze lavabo i za ruke i glavu, kada za dekontaminaciju teže povređenih i tuševi za difuzno kontaminirane. Posle dekontaminacije osoba prelazi u čisti deo, ili se smešta u jednu od soba za dalje ukazivanje medicinske pomoći ili hospitalizaciju, ili čistim hodnikom odlazi na radno mesto.

Manji punkt za dekontaminaciju sastoji se od aktivnog dela, gde se izvodi dekontaminacija, i neaktivnog dela, tj. prostorije za klasične medicinske intervencije.

Prilikom organizovanja dekontaminacionih stanica uvek valja voditi računa da se jasno odvoji aktivni deo od neaktivnog, kako bi se sprečilo širenje kontaminacije. Kod masovne dekontaminacije, kao centri za tu svrhu mogu najbolje da posluže javna gradska kupatila.

Pod unutrašnjom kontaminacijom podrazumeva se prodiranje radioaktivnih materija u organizam i njihovo deponovanje u pojedina tkiva i organe. Ona može nastati kao transkutana kontaminacija kroz neoštećenu ili oštećenu kožu; kao kontaminacija preko organa za disanje, kad kontaminant u vidu radioaktivnih gasova, aerosola i prašine prodire u organizam i kao kontaminacija preko organa za varenje, kad se kontaminant preko usta unosi u organizam.

Zavisno od nastanka unutrašnje kontaminacije, kao i fizičko-hemijskih svojstava kontaminanta i njegovog metaboličkog ciklusa u organizmu, preduzimaju se mere koje se orijentišu u tri osnovna smera. Pre svega, neophodno je da kontaminant ne ostane dugo u kontaktu sa organom receptorom, tj. da kroz plućnu, crevnu i kožnu barijeru ne prodre u krvotok. Drugo, kada je kontaminant prešao u krvotok, teži se da se primenom odgovarajućih dekontaminacionih sredstava smanji njegova

depozicija u organizmu. Treće, ako je kontaminant prošao kroz sve barijere i fiksirao se u odgovarajućim organima i tkivima, cilj dekontaminacije je da se mobilize i eliminiše fiksirani materijal.

Kod transkutane kontaminacije postoje tri mogućnosti: kad element može da bude uklonjen sa kože ili rane blagovremenim uobičajenim postupcima za spoljnu dekontaminaciju, kad je fiksiran na nivou rane te u obzir dolaze hirurški postupci dekontaminacije i kad je prodro u krvnu cirkulaciju te se primenjuje odgovarajuće dekontaminaciono sredstvo.

Kod kontaminacije putem organa za disanje preporučuje se da se odmah daju sredstva koja pojačavaju uklanjanje nataloženih čestica u gornjim disajnim putevima izazivanjem kašlja i kihanja i pojačavanjem iskašljavanja. Važno je da se brzo isperu nosne šupljine pogodnim rastvorima, jer se tako uklanja veliki deo radioaktivnih čestica. Da bi se sprečilo taloženje u plućima preporučuje se primena aerosola. Kod netopljivih spojeva korisno je da se daju sredstva za čišćenje, jer se oko 50% udahnute radioaktivne prašine apsorbuje putem organa za varenje. Kod rastvorljivih spojeva koji brzo prolaze kroz pluća primenjuju se sredstva za ubrzavanje njihove eliminacije iz organizma. Kod kontaminacija putem organa za varenje što pre se pristupa ispiranju usne šupljine i stomaka. Korisno je da se odgovarajućim lekovima izazove povraćanje. Kod nerastvorljivih spojeva preporučuju se sredstva za čišćenje koja ubrzavaju prolaz kontaminanta kroz gastrointestinalni trakt, kao i jon-skih izmenjivača koji smanjuju apsorpciju kontaminanta. No, i pored svih tih mera može se dogoditi da kontaminant prodre u krvotok kojim se raznese po celom organizmu i selektivno istaloži u pojedinim organima i tkivu. Broj sredstava za sprečavanje taloženja i mobilisanje već fiksiranih radioaktivnih elemenata veoma je ograničen. Najčešće se upotrebljavaju kompleksujuća sredstva, kao EDTA i njene soli, BAL, DTPA i njene soli, natrijum i cirkonijum-citrat itd. Praksa je pokazala da ta sredstva treba brzo primeniti, pošto su efikasnija ukoliko se primene u ranoj fazi kontaminacije.

Mogućnosti za unutrašnju dekontaminaciju još su veoma skromne te je praktično nemoguće izvršiti kompletnu unutrašnju dekontaminaciju. Postupci i sredstva koja se upotrebljavaju zahtevaju da se kontaminirane osobe smeste u bolnicu. Kad se sumnja u unutrašnju kontaminaciju, treba odmah uzeti uzorke urina i krvi za radiotoksikološku analizu, a kontaminiranu osobu uputiti lekaru. No, sve je to moguće samo u mirnodopskim uslovima.

### KONTAMINACIJA I DEKONTAMINACIJA DOMAĆIH ŽIVOTINJA

U ratu će se domaće životinje spolja kontaminirati ako se nađu u zoni taloženja radioaktivnih padavina. Pri tom radioizotopi mogu dospeti na kožu ili u vidu radioaktivne prašine ili kao radioaktivni atmosferski talozi (kontaminirana kiša, sneg, magla). Kontaminuju se poglavito gornje površine tela: greben, leđa i sapi zato što radioaktivne čestice, pod uticajem sile zemljine teže padaju vertikalno i talože se na horizontalnim površinama. Izuzetno, kad duva vetar ili kad na telo dospeju s kišom ili snegom, te čestice se talože i na bočnim (vertikalnim) površinama.

Sem putem taloženja radioaktivnih padavina, domaće životinje se mogu spolja kontaminirati kad bez sredstava individualne zaštite prelaze preko kontaminiranog terena po završenom taloženju radioaktivnih padavina. Tada se radioaktivne čestice prenose sa površine zemlje, objekata i rastinja, pre svega, na noge i trbuh.

U oba slučaja spoljna radioaktivna kontaminacija je delimična, jer zahvata samo pojedine delove životinjskog tela.

Zbog svog anatomskeg sklopa i fizioloških funkcija, životinjska koža lako i dobro zadržava čestice radioaktivne prašine. One čvrsto prijanjaju uz dlaku i vunu, skupljaju se u porama i naborima kože, ili ih zadržavaju znoj i kožni maz. Ako duže ostanu na površini tela, neke

čestice mogu prodreti u epiderm i kanale dlake, a potom i u tkivo pod kožom.

Cilj kontaminacije radioaktivno kontaminiranih domaćih životinja je da se spreči  $\beta$ -opekotina na koži, onemogućiti unutrašnja kontaminacija životinja kroz usta (kada ližu ili grizu kontaminirana mesta na koži) i da se smanji mogućnost kontaktne kontaminacije ljudi koji rade oko domaćih životinja. Kad su u pitanju mlečne životinje i stoka za klanje, dekontaminacijom se smanjuje mogućnost kontaminacije mleka i mesa.

Svi metodi radiološke dekontaminacije zasnivaju se na uklanjanju radioaktivnih čestica s mesta gde su opasne po organizam, tj. sa površine kože.

Po svojim osobinama, osim radioaktivnosti, čestice radioaktivne prašine su gotovo potpuno jednake česticama obične prašine pa su i metodi uklanjanja isti (čišćenje, pranje itd.).

Radioaktivnost padavina se vremenom smanjuje. Intenzitet njihovog zračenja je najveći i ono je najopasnije neposredno posle kontaminacije, a zatim relativno brzo opada. Stoga je vrlo važno da se dekontaminacija izvede što ranije.

Spoljna radioaktivna kontaminacija životinja u ratu najčešće je delimična, jer obično zahvata samo pojedine delove, a sasvim retko čitavo telo. To znatno olakšava i ubrzava dekontaminaciju.

Za spoljnu dekontaminaciju domaćih životinja dolaze u obzir dva osnovna metoda: uklanjanje radioaktivnih čestica sa površine tela ili izdvajanje (izolovanje) kontaminiranih životinja za izvesno vreme od nekontaminiranih životinja i ljudi, dok aktivnost čestica ne opadne prirodnim radioaktivnim raspadom na bezopasni nivo.

Radioaktivne čestice uklanjaju se sa površine tela fizičkim postupcima, kao što su: čišćenje četkom, gužvanje sena i slame, brisanje vlažnom krpom, pranje i kupanje vodom i sapunom itd. S obzirom na vreme i mesto obavljanja, upotrebljena sredstva i stepen efikasnosti, razlikuju se primarna i završna dekontaminacija životinja.



Primarna dekontaminacija se obavlja po otkrivanju kontaminacije, obično na samom mestu gde je do nje došlo. Cilj je da se što više radioaktivnih čestica ukloni sa kontaminiranih delova tela. Vršiti je osoblje koje se brine o životinjama (čuvari ili vlasnici stoke) služeći se raznim priručnim sredstvima.

Čišćenjem kontaminiranih delova tela četkom, gužvama slame i sena, suvom krpom itd. uklanja se znatna količina radioaktivnih čestica (i do 75<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), osobito ako se ponovi više puta. Suvo čišćenje ima u ratu više dobrih strana. Pre svega, vrlo je ekonomično, jer se sva navedena sredstva redovno upotrebljavaju i za svakodnevno uobičajeno čišćenje stoke. Uspeh dekontaminacije je zadovoljavajući pod uslovom da je dlaka suva i da se čišćenje vrši pravovremeno, tj. dok je radioaktivna prašina još na površini dlačnog pokrivača, a nije prodrla do kože. Postupak je poznat, ne zahteva posebnu radnu snagu, ne traje dugo i može se obavljati na svakom mestu.

Međutim, čišćenje ima i nekoliko negativnih strana. Pre svega, efikasno je samo kad se obavi pravovremeno i kad je dlaka suva. Sem toga, prilikom čišćenja podiže se radioaktivna prašina pa može doći do unutrašnje kontaminacije ljudi i životinja putem organa za disanje. Posebnu teškoću čini skupljanje i neškodljivo uklanjanje skinute radioaktivne prašine. Istina, taj problem nema značaja kod čišćenja u kontaminiranoj zoni, jer su i zemljište i okolni predmeti ionako zagađeni radioaktivnim padavinama. Ali kad se dekontaminacija obavlja van kontaminiranog rejona, ovaj problem zahteva posebnu pažnju. Najbolje je da se iskopaju kolektorske jame u koje se istresa skinuta radioaktivna prašina, bacaju upotrebljene gužve sena i slame, a potom se sve zatrpa. Četke i češagje se dekontaminiraju.

Brisanjem kontaminiranih delova tela vlažnim krpama takođe se uklanja sa dlake znatan deo radioaktivne prašine, ako njene čestice još nisu prodrle do kože. Krpe se ne kvase u kofi, jer bi se voda u njoj zagadila radioaktivnim materijama, već se polivaju. Pored ekonomičnosti, brisanje vlažnom krpom je pogodno i zato što je

lako izvodljivo, što se može primeniti u svako godišnje doba na svakom mestu i pod svim klimatskim uslovima. U toku rada se ne diže radioaktivna prašina pa nema opasnosti od unutrašnje kontaminacije putem organa za disanje, niti od rasejavanja radioaktivnih čestica po okolini. Negativna strana ovog postupka je u tome što se ne može primeniti na bezvodnom zemljištu. No, kad se raspoláže i minimalnim količinama vode, ovaj postupak je vrlo pogodan za obavljanje primarne dekontaminacije domaćih životinja. Može se primeniti ili sam (kad je suvo čišćenje nemoguće zbog vlažnosti dlake), ili posle suvog čišćenja (kad je dlaka suva).

Završna dekontaminacija se, po pravilu, obavlja tek pošto se dovrši primarna. Vrší se obično u dekontaminacionim stanicama koje se razvijaju i uređuju izvan kontaminirane zone. U njima radi obučeno ljudstvo snabdeveno sredstvima za ličnu zaštitu (zaštitnim maskama, kombinezonima, gumenim rukavicama i čizmama, gumenim kecljama itd.). Cilj je završne dekontaminacije da se sa kontaminiranih delova tela uklone radioaktivne čestice do nivoa koji je bezopasan po životinje i njihovu okolinu. To se najuspešnije postiže pranjem životinja vodom i sapunom. Zavisno od raspoloživih sredstava i količine vode, životinje se mogu prati polivanjem, mlazom vode ili kupanjem u reci, jezeru itd.

Kontaminirane životinje se peru polivanjem kad na zemljištu nema reka i jezera, ali ima dovoljno bunara, potoka, cisterni itd. Nisu potrebni specijalni uređaji. Za donošenje vode i polivanje mogu se upotrebiti razne priručne posude (kofe, burad, mešine itd.), a pere se četkom ili krpom i sapunom.

Nedostaci ovog postupka su u tome što se neracionalno troše velike količine vode, što sam postupak dugo traje i zahteva više radne snage (za izvlačenje i donošenje vode, za pranje itd). Najbolje je da se životinje peru na postolju od brvana ili debelih dasaka, položenih preko iskopane kolektorske jame, koja se po završenoj dekontaminaciji zatrpava zemljom.

U ratu će se kontaminirani delovi tela prati polivanjem kad na zemljištu bogatom vodom nema uslova za kupanje životinja u reci ili jezeru, a nema ni sredstava za pranje pod mlazom.

Pod mlazom se kontaminirane životinje peru pomoću raznih uređaja za prskanje, četke i sapuna. Ovo je mnogo pogodnije u poređenju s prethodnim postupkom, jer se obavlja brže i jednostavnije, ekonomičnije i efikasnije, a zahteva i manje radne snage. Na primer, pomoću obične ručne prskalice, konj srednje veličine može se oprati dva puta jednom kofom vode (oko 10—15 litara).

Kupanje kontaminiranih životinja u rekama i jezerima najefikasniji je i najjednostavniji postupak završne dekontaminacije. Nisu potrebne nikakve posude za donošenje ni uređaji za raspršivanje vode. Dovoljno je da se izabere pogodno mesto i uredi prilaz do vode. Pere se četkom i sapunom. Problem skupljanja i neškodljivog uklanjanja spranih radioaktivnih čestica rešen je vrlo jednostavno — one se razređuju u velikoj količini tekuće ili stajaće vode i postaju bezopasne kao izvor spoljašnjeg zračenja. Ipak, takva se voda pre upotrebe za kuvanje ili piće obavezno podvrgava radiološkoj kontroli.

Nedostatak ovog postupka je u tome što se po hladnom i vlažnom ili vetrovitom vremenu okupane životinje moraju pokriti i vodati da bi se izbegla razna oboljenja izazvana prehladom.

Na bezvodnom terenu, kad se ne može primeniti ni jedan od opisanih vlažnih postupaka, dolazi u obzir izdvajanje (izolovanje) kontaminiranih životinja. Tada se nakon primarne dekontaminacije životinje smeštaju u zasebne staje, obore ili torove. Tu ostaju sve dok radioaktivnost čestica koje su preostale na koži ne opadne prirodnim radioaktivnim raspadom do nivoa bezopasnog za ljude. Koliko će to trajati zavisi od stepena radiološke kontaminacije u trenutku izdvajanja životinja, odnosno od prethodne primarne dekontaminacije.

Dobra strana ovog metoda je što se ne zahtevaju veća materijalna sredstva ni mnogobrojna radna snaga. Dovoljno je da se raspolože prostorom za odvojen smeštaj

životinja i potrebnim brojem ljudi koji će ih čuvati i hraniti. Ljudi moraju imati lična zaštitna sredstva i nastojati da se što manje zadržavaju među kontaminiranim životinjama. Osim toga, na pogodan način treba sprečiti unutrašnju kontaminaciju životinja kroz usta (onemogućiti im da ližu i grizu kontaminirane delove tela stavljanjem korpe na gubicu, vezivanjem na kratko itd).

Nedostatak metoda izdvajanja je u tome što su životinje za duže ili kraće vreme isključene iz upotrebe. To je u ratu vrlo nepovoljno, a često i neizvodljivo kad su u pitanju kopitari vozni jedinica.

Unutrašnja kontaminacija ili radiološko trovanje domaćih životinja nastaje kad u organizam dospeju čestice radioaktivnih materija. One se mogu uvući kroz usta sa radiološki kontaminiranom hranom i vodom, preko organa za disanje — sa udahnutim kontaminiranim vazduhom, kao i apsorpcijom kroz povređenu i nepovređenu kožu.

Smatra se da usta, odnosno želudačno-crevni kanal, predstavljaju najčešći put unošenja radioaktivnih materija u životinjski organizam. To je zbog toga što se radioaktivne čestice u rejonu lokalnih padavina relativno brzo talože na površini zemlje, hrane, vode, životinjskog tela itd. gde ostaju sve dok se mehanički ne uklone ili dok ne iščeznu radioaktivnim raspadanjem. One dugo ugrožavaju stoku koja pase na kontaminiranim pašnjacima, hrani se kontaminiranom hranom ili pije vodu iz kontaminiranih bunara i vodenih tokova. Radiološko trovanje kroz usta može nastati i kad životinje, koje su spolja kontaminirane, ližu i grizu kontaminirane delove tela. Ovim putem se u životinjski organizam mogu uneti sve vrste radioaktivnih čestica bez obzira na veličinu.

Radiološko trovanje putem organa za disanje događa se ređe i manje je značajno od trovanja kroz usta. Životinje udišu radioaktivne čestice samo dok one lebde u vazduhu na putu od radioaktivnog oblaka do površine tla, a to vreme je relativno kratko. Pa i tada ne dospeju sve čestice u pluća. One čiji je prečnik veći od 10 mikrona, zadrže se u nosnicama i frktanjem izbacuju. Če-

stice čiji je prečnik 5 do 10 mikrona dospeju u dušnik i bronhije, ali ih odatle reflektorno kašljanje i povijanje treplji respiratorne sluzokože vraćaju u usnu duplju i životinje ih progutaju. Samo čestice čiji je prečnik manji od 5 mikrona mogu dospeti u pluća i deponovati se u njima ili se resorbovati u krvotok. Međutim, čestice te veličine ledbe godinama u stratosferi i sporo se talože. Kada i dospeju na zemlju, najveći deo je (usled prirodnog radioaktivnog raspadanja) gotovo potpuno neaktivan.

Kad su radioaktivne padavine već istaložene na tlu, količina radioaktivnih čestica koju životinja udahne dok pase na kontaminiranom pašnjaku ili dok jede kontaminiranu stočnu hranu, tako je mala da se može sasvim zanemariti. Nešto više radioaktivnih čestica životinja udahne za vreme kretanja po kontaminiranom zemljištu.

Postoje podaci i o resorpciji radioizotopa kroz nepovređenu kožu. Mnogi ogledi, izvedeni na laboratorijskim životinjama, potvrdili su da radioaktivne čestice — osobito sitnije — mogu prodreti u organizam kroz nepovređenu kožu. No takva resorpcija je vrlo slaba, oko 200 do 300 puta slabija od resorpcije kroz želudačno-crevni kanal. Zato se u ratu ovaj put radiološkog trovanja životinjskog organizma može zanemariti.

Ozbiljniju opasnost predstavlja resorpcija radioaktivnih čestica kroz povređenu kožu. Ogledima je utvrđeno da se radioizotopi vrlo brzo resorbuju u krvotok ako kontaminiraju svežu hranu, osobito ako su povređeni veći krvni sudovi. No ako je u pitanju starija povreda koja je u fazi zarašćivanja ili pokrivena krastom, resorpcija radioizotopa preko njene površine je beznačajna. U ratnim uslovima radiološko trovanje kroz povređenu kožu ne predstavlja takvu opasnost kao trovanje peroralnim putem. No, ono je svakako opasnije od trovanja kroz nepovređenu kožu.

Dekontaminacija interno kontaminiranih životinja je, u stvari, lečenje radiološkog trovanja i mogu je obavljati samo stručna lica (veterinari i veterinarski tehničari). Sastoji se u uklanjanju radioizotopa iz organizma. To treba započeti odmah posle trovanja da bi se sprečila ili preki-

nula resorpcija unesenih izotopa i njihovo deponovanje u tkivima i organima. Izbor metoda lečenja zavisi od puta kojim su radioizotopi uneti u organizam i od toga da li je lečenje započelo na vreme ili je zakasnilo. Ako se započne u toku nekoliko prvih časova posle trovanja, jednostavnije je i efikasnije.

Pri radiološkom trovanju putem organa za disanje, rana intervencija se sastoji u ispiranju nosnica čistom vodom ili blagim rastvorom dezinficijensa. Ispira se pomoću irigatora s dugim crevom. Time se uklanjaju radioaktivne čestice koje su se zadržale u nosnoj sluzi. Za izbacivanje čestica koje su dospеле u dušnik i gornje bronhije mogu se upotrebiti sredstva za iskašljavanje koje omogućuje izbacivanje radioizotopa iz prednjih disajnih puteva.

Pri trovanju kroz usta, za ograničavanje i sprečavanje resorpcije radioizotopa u želudačno-crevnom kanalu preporučuje se primena sredstava za povraćanje, adsorbenata, ispiranje želuca i davanje sredstava za čišćenje.

Sredstva za povraćanje daju se svinjama i psima. Kod konja i preživača akt povraćanja je veoma bolan i često ga prate teške posledice (aspiraciona pneumonija, gušenje itd.). Zato im se ne daju sredstva za povraćanje. Kod njih se prva pomoć sastoji u davanju adsorbenata i ispiranju želuca, odnosno buraga. Oglеди su pokazali da u prvim časovima nakon trovanja kroz usta, adsorbentna sredstva jako smanjuju resorpciju radioizotopa preko želudačno-crevne sluzokože. No, oni samo vezuju radioaktivne čestice za sebe, a ne sprečavaju delovanje njihovog zračenja na organe za varenje. Zato se posle davanja adsorbenata, po mogućstvu želudac ispira velikom količinom vode pomoću nosne ili želudačne sonde.

U slučaju trovanja preko povređene kože, kad radioizotopi dospeju na površinu sveže rane ili opekotine, lečenje je uspešno samo ako se provede posle zagađenja (u okviru ukazivanja prve pomoći). Ovo stoga što se radioaktivne čestice resorbuju vrlo brzo preko površinske sveže otvorene povrede (za 30 do 60 minuta resorbuje se veći deo nataloženih čestica). Prva pomoć se, u tom slučaju, sastoji u ispiranju ili čišćenju povrede ras-

tvorom dezinficijensa i sterilnom gazom. Zatim se povreda posipa antiseptičkim praškom koji ima adstringentne komponente. Adstringensi sužavaju povređene krvne sudove na površini rane i time smanjuju ili sprečavaju resorpciju radioaktivnih čestica u krvotok.

Lečenje radiološkog trovanja je mnogo složenije, a njegov ishod neizvesniji kad se interveniše kasno, nakon dužeg vremena posle trovanja. U tom slučaju su uneseni radioizotopi imali dovoljno vremena da se resorbuju i deponuju u pojedinim tkivima i organima i da se čvrsto vežu. Tada je osnovni zadatak lečenja da se mobilišu radioizotopi iz tkiva i organa u kojima su deponovani i eliminišu iz organizma. Međutim, do sada nisu pronađena takva univerzalna sredstva koja bi bila dovoljno efikasna i u isto vreme toliko jevtina da bi bila ekonomična kada su u pitanju domaće životinje.

## ZASTITA SKLONIŠTIMA

Oštećenja građevina usled nuklearne eksplozije mogu nastati razornim dejstvom udarnog talasa, dejstvom toplotnog zračenja ili posredno požarom. Dok su u prvom slučaju oštećenja mehaničke prirode, tj. dolazi do mehaničkog razaranja materijala i sloma konstrukcija, u drugom slučaju oštećenja nastaju usled hemijskih promena u strukturi materijala, kao posledica visokih temperatura i sagorevanja zapaljivih materija i delova konstrukcija. Treći vid dejstva, nuklearno zračenje, nema praktičnog uticaja na čvrstoću građevinskog materijala i konstrukciju objekata.

*Razorno dejstvo udarnog talasa na građevinske objekte.* Zavisno od mesta nuklearne eksplozije, odnosno njenog položaja u odnosu na teren, dejstvo udarnog talasa može da se prenosi na građevinski objekt ili samo kroz vazduh, ili samo kroz tle (zemlju), ili da se kombinuje jedno i drugo.

Vazdušni udarni talas opterećuje pojedine konstrukcije objekata i objekat u celini pritiskom čiji se intenzitet menja sa vremenom. Pritisak u vazdušnom udarnom talasu nastaje skokovito, tj. dok je na čelu najveći, iza čela intenzitet opada sve dok se ne svede na veličinu normalnog atmosferskog pritiska (pozitivna faza), da bi zatim pao i ispod njega (negativna faza). Ovakav tok promena pritiska u vazdušnom udarnom talasu daje opterećenju građevine dinamički karakter, tj. građevina, odnosno pojedini njeni delovi, izložena je impulsnom opterećenju, koje se nanosi u obliku udara u punoj veličini i traje relativno kratko.



Udar koji se prenosi kroz tle ima svojstva slična potresu zemlje. U oba slučaja kroz tle se prostiru elastični talasi (longitudinalni, transverzalni i složeni) koje karakterišu isti parametri kao što su: brzina prostiranja, dužina talasa, frekvencija, amplituda pomeranja. Prema tome je i dejstvo udara koji se prenosi kroz tle usled nuklearne eksplozije slično seizmičkom dejstvu potresa. Posledica oscilacije tla je pomeranje temelja ili objekta u celini, te se i u ovom slučaju javljaju dinamička opterećenja objekta u celini i pojedinih njegovih delova.

Oba vida udarnog dejstva, odnosno opterećivanja objekta (udar vazdušnog talasa i talasa koji se prostire kroz tle), mogu prouzrokovati veća ili manja oštećenja objekata zavisno od intenziteta opterećenja koje prouzrokuju. Taj intenzitet zavisi od jačine eksplozije, udaljenosti objekta od centra eksplozije i geometrijskog oblika i položaja objekta u odnosu na mesto eksplozije. Kod seizmičkog dejstva intenzitet opterećenja zavisi i od tipa tla (tj. njegovih geoloških i geomehaničkih svojstava).

*Dejstvo toplotnog zračenja na građevinske objekte.* Toplotno zračenje nuklearne eksplozije ima praktičan značaj sa gledišta dejstva na građevinske objekte i živu silu samo kod eksplozija u vazduhu. Domet toplotnog dejstva je veći kad se eksplozija dogodi visoko u vazduhu, nego kad je centar bliže površini zemlje.

Površine građevinskih objekata, odnosno pojedinih njihovih delova, koje su izložene termičkoj radijaciji, upijaju toplotnu energiju toga zračenja, usled čega dolazi do kratkovremenog zagrevanja površina. Do kojeg stepena će se površine zagrejavati zavisi od ukupne toplotne energije koja se zračenjem prenosi na jedinicu površine, intenziteta zračenja i fizičkih i hemijskih svojstava materijala izloženih zračenju.

Ukupna količina toplotne energije preneti zračenjem je ona koja padne na jedinicu površine u toku celokupnog trajanja toplotnog zračenja nuklearne eksplozije. Meri se kalorijama (ili kilo-kalorijama) na jedinicu površine. Pored ukupne količine toplotne energije, razlikuje se i

intenzitet toplotnog zračenja, pod kojim se podrazumeva količina zračenjem prenete toplotne energije na jedinicu površine u jedinici vremena (sekundu, minutu, satu). Prema tome, i pri istom intenzitetu ukupna količina primljene toplote može biti veća ukoliko je zračenje duže trajalo.

Drugi faktor koji utiče na stepen zagrevavanja objekta su fizička svojstva građevinskih materijala, kao: boja, rapavost i toplotna provodljivost.

Intenzitet zračenja i ukupna količina toplotne energije koja se emituje zavise od jačine nuklearne eksplozije i udaljenosti od centra eksplozije. Pošto intenzitet zračenja opada sa kvadratom udaljenosti, na dva puta većem odstojanju će, na primer, intenzitet biti četiri puta manji. Isto tako, intenzitet zavisi i od atmosferskih uslova.

Usled dejstva termičke radijacije, kod građevinskih objekata može doći, zavisno od navedenih uslova, do paljenja zapaljivih delova kao što su krovne konstrukcije od drvene građe, daščani rešetkasti nosači i sl. Međutim, iz aspekta zaštite značajno je to što najčešći uzrok požara nije paljenje krovnih konstrukcija, već različitih lako zapaljivih materijala, opreme i inventara u potkrovlju i na spratovima (na primer, prozora, zidnih obloga, nameštaja, zavesa, uskladištenih zapaljivih materijala i dr.). Takođe, mogu se oštetiti čelični skeleti i rešetkaste konstrukcije, ukoliko usled apsorbovane toplotne energije dođe do zagrevavanja pojedinih štapova iznad dozvoljenih granica. Kod nesagorljivih materijala, kao što su opeke, crep, beton i armirani beton, može doći do ljuštenja površinskih slojeva, ali do dubljeg razaranja, po pravilu, ne dolazi zbog kratkog trajanja termičkog zračenja i slabe toplotne provodljivosti ili pak masivnosti konstruktivnih elemenata načinjenih od tih materijala.

Zagrevanje nekih materijala, usled dejstva termičke radijacije eksplozije nuklearne bombe od 20 KT na standardnoj visini, kada površine tih materijala prime ukupan impuls toplotnog zračenja od  $10 \text{ kal/cm}^2$ , daje se na tabeli 51.

*Rušenje objekata i zone rušenja.* Opterećenja kojima je građevinski objekat izložen usled dejstava vazdušnog udarnog talasa i potresa zemljišta, izazvanih nuklearnom eksplozijom, mogu biti takve veličine da u pojedinim konstruktivnim elementima izazovu naprezanje preko

Tabela 51 — Zagrevanje pojedinih materijala

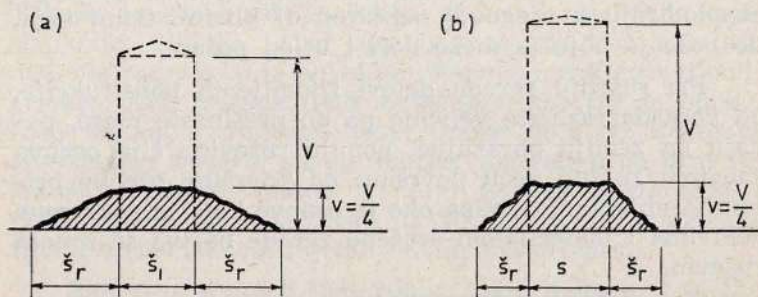
| vrsta materijala                           | temperatura zagrevanja °C |
|--|---------------------------|
| masivan komad čelika                       | 40 — 50°                  |
| čelični lim                                | 100°                      |
| drvo sa svetlom površinom<br>(sveže daske) | 300 — 500°                |
| drvo sa tamnom<br>površinom                | 600 — 1000°               |
| površina crepa                             | 500°                      |

granica nosivosti upotrebljenih građevinskih materijala. U tom slučaju dolazi do delimičnog ili potpunog rušenja objekata. Do rušenja dolazi i usled razornog dejstva eksplozije razornih bombi, bilo da pogode objekat ili eksplodiraju u njegovoj neposrednoj blizini. Osim toga, do rušenja objekta može doći i usled požara.

Pri rušenju zgrada delovi izlomljenih konstrukcija, od komada različite veličine pa do prašinate mase, padaju na zemlju obrazujući gomilu ruševina čija osnova zauzima znatno veću površinu od površine osnove prizemlja objekta. Površina oko te osnove koja je pokrivena delovima i materijalom srušene zgrade naziva se zonom ruševina.

Širina pojasa ruševine (zone ruševina) oko osnove prizemlja zavisi od visine objekta, broja etaža, načina izgradnje, odnosno sistema konstrukcija i primenjenog građevinskog materijala. Na osnovu iskustava uzima se da je širina zone ruševina kod zgrada zidanih opekam

ravna polovini ukupne visine objekta. Ukupna visina objekta meri se od površine terena do krovnog venca zgrade te, prema tome, uključuje sve spratove zajedno sa prizemljem. Smatra se da visina naslage ruševina iznosi četvrtinu ukupne visine zgrade (sl. 70a). Širina zone ruševina određuje se na ovaj način samo za objekte čija visina ne prelazi graničnu visinu zidanja zgrada od opeke. U našoj zemlji se, na primer, tehničkim propisima za izgradnju u seizmičkim područjima predviđa visina od 20 metara kao granica za zgrade zidane opekam. Ukoliko izuzetno dolazi do zidanja viših zgrada od opeke (iznad 30 m), neki autori smatraju da nije opravdano dalje povećavanje širine zone ruševina. Kod zgrada sa armiranobetonskim ili čeličnim skeletom ruševine redovno zauzimaju manju površinu nego kod zgrada od opeka. U ovom slučaju se uzima da su širina zone ruševina i visina naslage ruševina ravne četvrtini ukupne visine objekta (sl. 70b). Ovakvo širenje zona ruševina izgleda opravdano samo do ograničene visine. Kod vrlo visokih objekata, preko šezdeset, sto ili više metara, može se računati sa daljim smanjivanjem porasta zone ruševina ukoliko se povećava visina zgrade. Mera ovog smanjiva-



Sl. 70 — Zone i visine ruševina: a) za zgrade zidane opekam i b) za zgrade sa armirano betonskim ili čeličnim skeletom;  $V$  = visina zgrade;  $v$  = visina ruševina,  $s$  = širina zgrade,  $\check{s}_r$  = širina zone ruševina (za slučaj (a)  $\check{s}_r = \frac{V}{2}$  i za slučaj (b)  $\check{s}_r = \frac{V}{4}$ )

nja je predmet posebnih ispitivanja, jer nedostaju odgovarajuća iskustva.

Parčad porušenih etaža (prizemlja i spratova) pada na okolni teren, ali i na tavanicu iznad podruma zgrade. Ukoliko se želi da tavanice nad podrumima budu otporne protiv ruševina etaža treba ih pri izgradnji tako dimenzionirati da mogu izdržati ovo opterećenje, kao i da budu sigurne od probijanja usled udara većih komada ruševina koji padaju.

Težina parčadi i drugog materijala ruševine nije uvek ravnomerno raspoređena po tavanici i ne može se tačno odrediti, jer zavisi od mnogih faktora kao što su: pravac dejstva udarnog talasa, karakteristike rešenja osnove konstrukcije, primenjeni materijal i stepen rušenja (potpuno ili delimično). Da bi se dobile opšte vrednosti, težina ruševina se može računati prema broju etaža zgrade, pri čemu se kao jedna etaža računa svaki sprat i prizemlje.

Težina ruševina smatra se dodatnim opterećenjem koje može, prema izloženom, da se kreće u širim granicama. Kao orijentacioni podatak mogu da posluže vrednosti koje se propisuju u švajcarskoj regulativi civilne zaštite (tabela 52).

*Osnovne građevinsko-konstruktivne mere za smanjivanje oštećenja usled dejstva nuklearne eksplozije. Neke*

Tabela 52. — *Težina ruševina*

| broj spratova                     | opterećenje u $\text{kp/m}^2$ |                                      |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
|                                   | zgrade zidane opekom          | zgrade sa armiranobetonskim skeletom |
| prizemlje                         | 1.000                         | 1.000                                |
| prizemlje + 1 sprat               | 1.400                         | 1.300                                |
| ” + 2 sprata                      | 1.700                         | 1.600                                |
| ” + 3 ”                           | 2.100                         | 1.800                                |
| ” + 4 ”                           | 2.400                         | 2.000                                |
| za svaki dalji sprat dodaje se po | 300                           | 200                                  |

građevinsko-konstruktivne mere koje se primenjuju da bi se smanjila oštećenja građevinskih objekata su: povećavanje stabilnosti zgrada u celini; povećavanje otpornosti stepeništa, kao glavne komunikacije do izlaza, podruma i skloništa; povećavanje nosivosti onih konstruktivnih elemenata koji su naročito važni za stabilnost zgrade i zaštitu ljudi; smanjivanje požarne osetljivosti zgrade u celini i pojedinih delova primenom nesagorljivih građevinskih materijala i uopšte smanjivanjem požarnog opterećenja; povećavanje požarne otpornosti zgrada dodatnom zaštitom konstrukcija i elemenata osetljivih za požar. Primena tih mera je najcelishodnija u novogradnjama, tj. ako se imaju u vidu još pri izradi građevinskih projekata, ali se njima povećavaju troškovi izgradnje, odnosno ukupna suma investicija. Zbog toga se stepen povećavanja otpornosti građevinskih objekata usklađuje sa ekonomskim mogućnostima. Preovlađuje gledište da primena tih mera zaštite u novogradnjama ne treba da povećava ukupne investicije za više od 3 do 5%.

### *Izrada skloništa u zgradama i van njih*

Prostorije osposobljene građevinskim merama da štite ljude i materijalna dobra od dejstva neprijateljskih napadnih sredstava nazivaju se opštim imenom skloništa.

Skloništa mogu biti različita zavisno od namene, stepena i oblika zaštite koju pružaju, načina izgradnje, položaja prema drugim objektima itd. Sve to čini neophodnom njihovu podelu prema svojstvima.

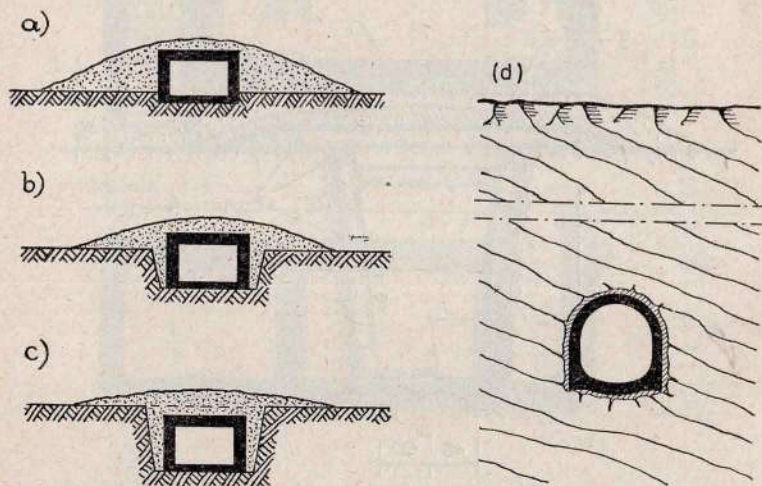
*Osnovne vrste skloništa.* Po nameni, postoje skloništa: — za opštu zaštitu stanovništva i za zaštitu određenih kategorija stanovništva i delatnosti, kao što su ona za zaštitu aktivnog stanovništva u proizvodnji, za zdravstvene, upravne i druge ustanove, za zaštitu materijalnih i kulturnih dobara itd.

Po konstrukciji, postoje ova skloništa: mešoviti konstrukcija, koje karakteriše primena raznorodnih materijala (zemlje, drveta, čelika, kamena, betona) i konstruktivnih sistema; od armiranog betona, kod kojih je osnovni materijal beton, a najčešće su izgrađena kao zatvorene okvirne konstrukcije u tri ortogonalna pravca; tunnelska koja se izgrađuju po jednoj od metoda podzemnog građenja sa moćnim nadslojevima prirodnog tla, pomoću kojih se u prvom redu postiže zaštita od dejstva napadnih sredstava.

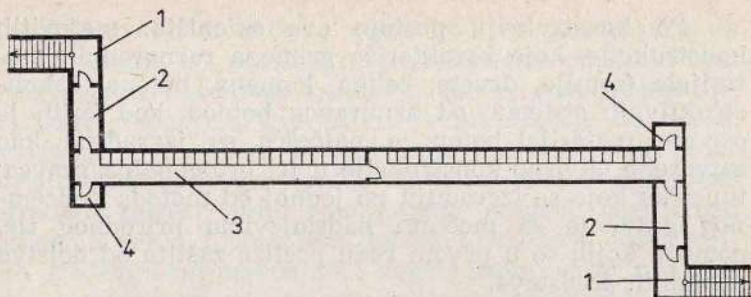
Po položaju prema terenu postoje nadzemna (sl. 71a), delimično ukopana (sl. 71b) i podzemna skloništa (sl. 71c i 71d).

Po otpornosti se skloništa dele na:

improvizirana, koja karakteriše, po pravilu, mali stepen otpornosti; realizuju se prvenstveno od priručnih sredstava, te stepen i obim zaštite zavisi od primenjenih sredstava i uslova pod kojima se grade; načelno pružaju



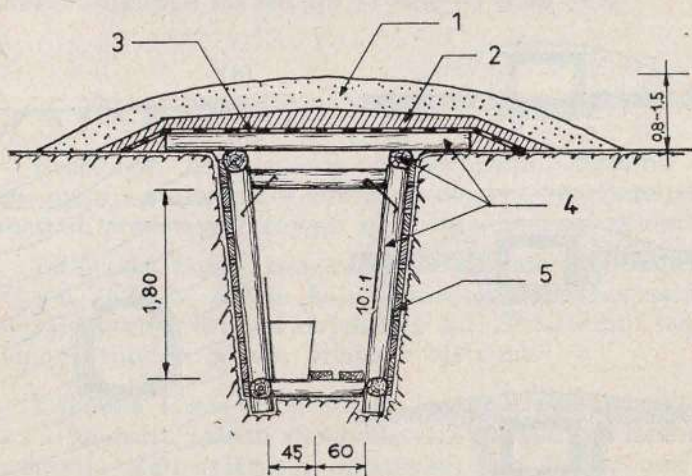
Sl. 71 — Položaji skloništa prema terenu: a) nadzemni položaj; b) delimično ukopani položaj; c) i d) podzemni položaj



Sl. 72 — Osnova improviziranog skloništa rovovskog tipa za oko 50 osoba; 1. prilaz, 2. ustava, 3. prostor za boravak, 4. klozet

zaštitu od udarnog talasa eksplozije, termičke i nuklearne radijacije na većim odstojanjima; pogodna su za zaštitu od radioaktivnih podavina (sl. 72 i 73);

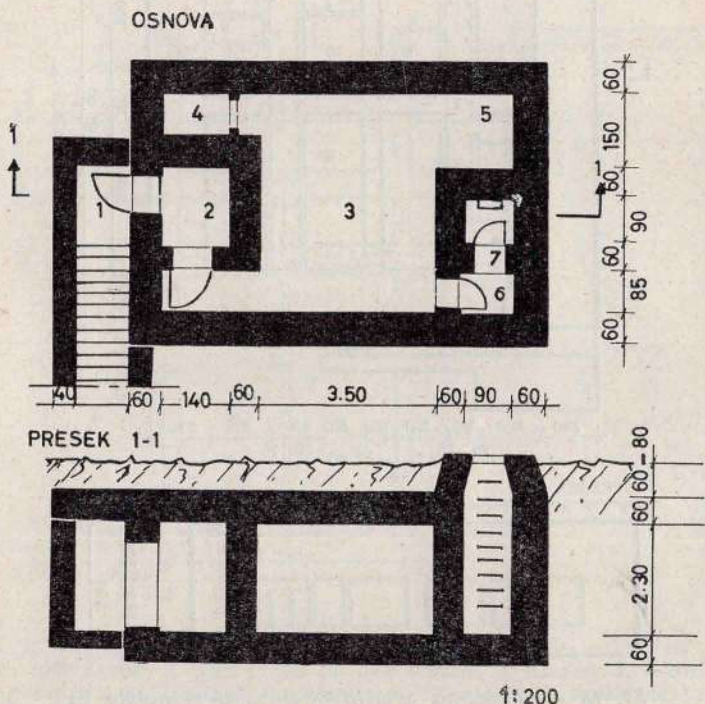
obična skloništa koja štite od udarnog talasa, termičkog i nuklearnog zračenja, požara, ruševina i bliskih



Sl. 73 — Presek improviziranog skloništa rovovskog tipa sa drvenom konstrukcijom; 1. zemljani nasip, 2. sloj gline, 3. hidroizolacija, 4. drvene oblice, 5. talpe ili poluoblice

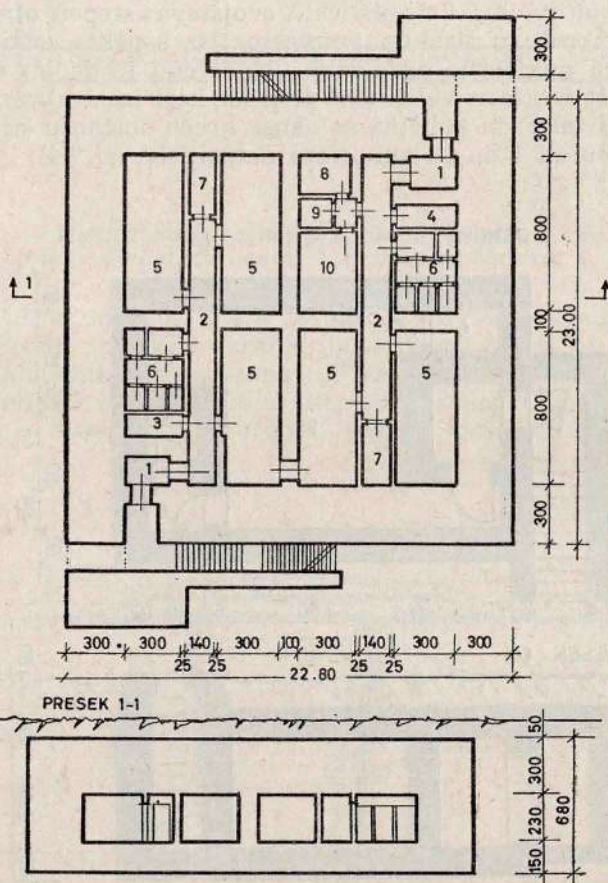


pogodaka klasičnih napadnih sredstava; to su po pravilu armiranobetonske prostorno zatvorene građevine, kod kojih stepen i obim zaštite zavise od arhitektonskih, konstruktivnih i urbanističkih svojstava; stepen otpornosti se kreće u širokim granicama; iz aspekta zaštite od dejstva nuklearne eksplozije uobičajeno je da im se otpornost izražava veličinom pritiska koji izaziva vazdušni udarni talas; ta količina se danas kreće obično u širokom rasponu od 1 do 10 atmosfera natpritiska (sl. 74);



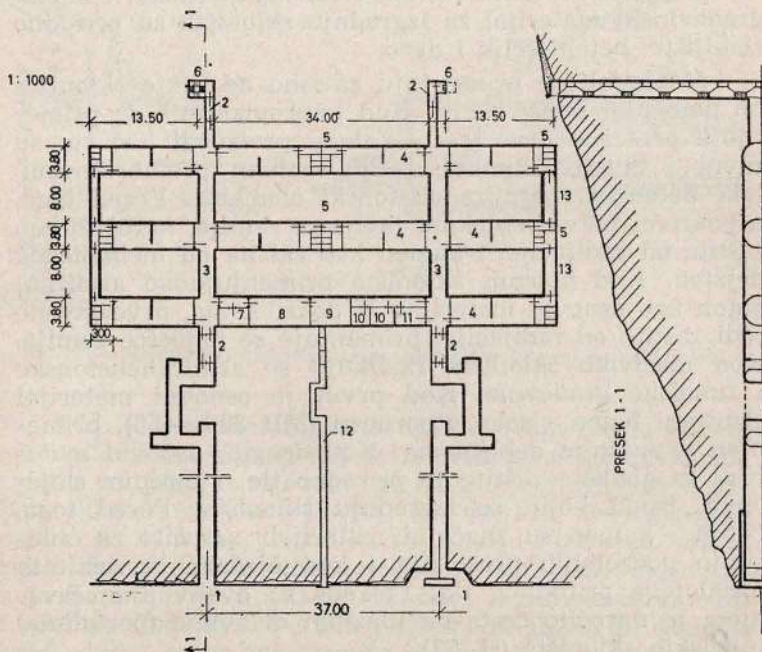
Sl. 74 — Obično armiranobetonsko sklonište za oko 25 osoba; 1. prilaz, 2. ustava, 3. prostor za boravak, 4. klozet, 5. prostor za ventilator, 6. ustava za rezervni izlaz, 7. rezervni izlaz i prostor za smeštaj pešcanog filtra

masivna skloništa koja štite od udarnog talasa, termičkog i nuklearnog zračenja, paljenja, požara i požarnih oluja, kao i od direktnih pogodaka razornih bombi i



Sl. 75 — Masivno armiranobetonsko sklonište za oko 250 osoba; 1. ustava, 2. hodnici, 3. službena prostorija, 4. prostor za prvu pomoć, 5. prostorije za boravak, 6. sanitarne prostorije (klozeti), 7. skladište, 8. filtri, 9. pogonski materijal, 10. mašinska prostorija

drugih projektila ekvivalentnog dejstva. To su armirano-betonske, prostorno zatvorene, krute građevine sa moćnim zaštitnim debljinama, ili tunnelske građevine sa znatnim zaštitnim nadslojevima prirodnog tla. Stepeni i obim zaštite zavise od arhitektonskih, konstruktivnih i urbanističkih svojstava. Stepeni otpornosti praktično nije ograničen i, izražen pritiskom vazdušnog udarnog talasa,



Sl. 76 — Masivno sklonište tunnelskog tipa (stensko sklonište) za oko 1000 osoba; 1. ulaz rešen na dva načina, 2. ustava, 3. hodnici, 4. prostorije za boravak kapaciteta po 50 osoba, 5. sanitarne prostorije (klozeti, umivaonici), 6. rezervni izlaz rešen na dva načina — penjalicama i stepenicama, 7. pogonski materijal, 8. mašinska prostorija, 9. prostorija za filtre, 10. službene prostorije, 11. prva pomoć, 12. usisni kanal za dovod vazduha, 13. pomoćne komunikacije za slučaj nužde

kreće se od nekoliko atmosfera naviše. Ukoliko se otpornost izražava prema klasičnim razornim sredstvima, takvi objekti su mahom otporni protiv direktnog pogotka bombi od 1000 kp naviše (sl. 75 i sl 76).

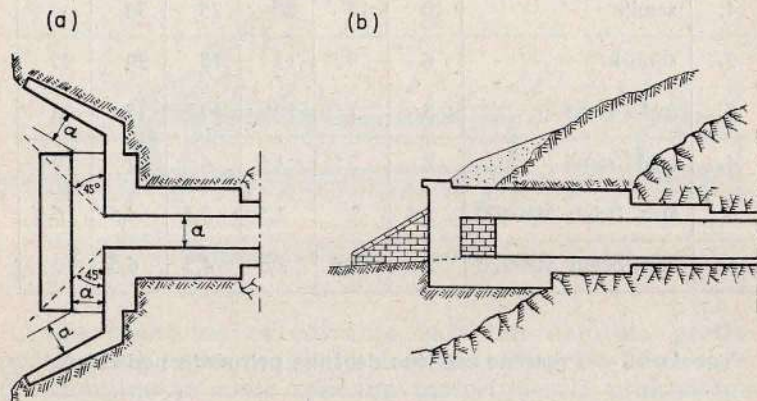
U nedostatku ustaljenih naziva, u datoj podeli skloništa prihvaćeni su oni koji se češće javljaju u našoj literaturi.

*Materijali i konstruktivni elementi skloništa.* Osnovni građevinski materijal za izgradnju skloništa su prirodno zemljište, beton, čelik i drvo.

Materijali se primenjuju zavisno od vrste skloništa po nameni i konstrukciji. Kod improviziranih se primenjuju pretežno drvo, razni čelični proizvodi kao što su ravni i talasasti limovi, zatim mahom prefabrikovani, laki betonski i armiranobetonski elementi. Pored toga, u pokrивci takvih objekata javlja se zemlja, naročito kao zaštita od radijacije, i kamen kao zaštita od mehaničkog dejstva. Kod običnih skloništa primenjuje se armirani beton kao osnovni materijal. U pokrивkama, prvenstveno radi zaštite od radijacije, primenjuje se najčešće zemlja. Kod masivnih skloništa razlikuju se armiranobetonske i tunnelske građevine. Kod prvih je osnovni materijal armirani beton visoke otpornosti (MB 300—450), primenjen u znatnim debljinama. Kod drugih, osnovni materijal sa gledišta zaštite je prirodno tle u moćnim slojevima, ispod kojih se izgrađuju skloništa. Pored toga, beton i kamen su značajni materijali naročito za oblaganje podzemnih prostorija i kod ojačavanja zaštitnih nadslojeva prirodnog tla. Potreba za ovakvim ojačavanjem je naročito česta na ulaznim delovima (portalima) tunnelskih skloništa (sl. 77).

Prema potrebama zaštite značajna su, uglavnom, sledeća fizičko-mehanička i hemijska svojstva materijala: otpornost protiv mehaničkog dejstva udara i eksplozije zrna, ruševina i udarnog talasa eksplozije, a nosioci ove otpornosti su čvrstoća i tvrdoća materijala; otpornost protiv toplotnog dejstva usled termičke radijacije, neposrednog dejstva zapaljivih sredstava, ili požara, koji više

ili manje pokazuju materijali klasificirani kao nezapaljivi i nesagorljivi; zaštitna moć od nuklearnog zračenja, bilo primarnog bilo sekundarnog, a njen nosilac je gustina materijala izražena zapreminskom težinom.



Sl. 77 — Ojačanje ulaznog dela tunelskog (stenskog) skloništa

Iako je predmet razmatranja na ovom mestu zaštita od dejstava nuklearnih napadnih sredstava, kompleksnost zaštite isključuje izolovano posmatranje i rešavanje zaštite skloništima samo prema tom dejstvu, zanemarujući ostala. To nameće potrebu da se ispituju i usvajaju materijali takvih fizičko-mehaničkih i hemijskih svojstava koja će optimalno štititi od različitih dejstava savremenih napadnih sredstava. I u tom pogledu su glavni ili osnovni građevinski materijali zemlja, beton, čelik, a po izvesnim svojstvima, naročito za improvizaciju dolazi u obzir i drvo.

Prosečne zaštitne debljine protiv prodiranja i eksplozije razornih aviobombi prikazane su na tabeli 53.

Neke prosečne zaštitne debljine prirodnih nadslojeva protiv dejstva atomskih eksplozija kod tunelskih skloništa vide se na tabeli 54.

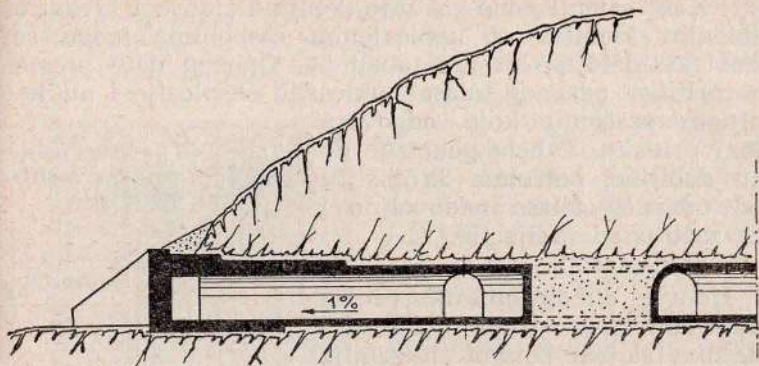
Tabela 53 — Debljina zaštitnog nadsloja

| redni broj | materijal zaštitnog sloja | potrebna debljina zaštitnog nadsloja tavanice i spoljnih zidova u m za težine bombi od kp |     |     |      |      |      |
|------------|---------------------------|---|-----|-----|------|------|------|
|            |                           | 100   | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 |
| 1.         | zemlja                    | 10  | 15  | 20  | 25   | 30   | —    |
| 2.         | šljunak                   | 6   | 9   | 12  | 15   | 20   | 25   |
| 3.         | meka stena                | 5   | 7   | 10  | 12   | 15   | 20   |
| 4.         | tvrdna stena              | 2   | 3   | 3,5 | 4    | 7    | 9    |
| 5.         | arm. beton MB-400         | 1,4   | 2   | 2,5 | 3,5  | 4,5  | 6,5  |
| 6.         | arm. beton MB-220         | 2   | 2,5 | 3,5 | 4,5  | 6,5  | 10   |

Tabela 54 — Prosečne zaštitne debljine prirodnih nadslojeva

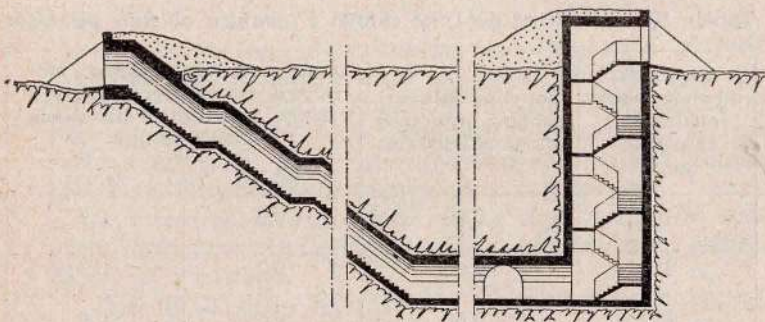
| vrsta objekta po položaju | debljina nadsloja u m                   |        |                                     |                       |
|---------------------------|---|--------|-------------------------------------|-----------------------|
|                           | magmatske sedimentne i metamorfne stene |        | rastresiti, inkoherentni materijali | koherentni materijali |
|                           | zdrave                                  | trošne |                                     |                       |
| dubinski                  | 15                                      | 20     | 30                                  | 40                    |
| padinski                  | 30                                      | 40     | 45                                  | 60                    |

Debljina nadsloja za dubinske i padinske objekte može se izuzetno smanjiti na približno polovinu mera datih za dubinske objekte. Ovakva mera može se pravdati izuzetnim geološkim uslovima koji ne dozvoljavaju korišćenje većih nadslojeva, ali je na štetu otpornosti objekta. Pod padinskim skloništem podrazumeva se objekat koji se izrađuje u brdskom masivu i ima blag uspon od ulazne građevine (sl. 78). Dubinsko sklonište je, međutim, objekat koji se, radi dobijanja potrebnog nadsloja, gradi u dubini tla i ima vertikalne ili kose silaze (sl. 79).



Sl. 78 — Padinsko sklonište. Presek kroz ulazni deo

Za praktično određivanje zaštitnih debljina protiv početne nuklearne radijacije date su u tabeli 55 takozvane poludebljine za neke osnovne materijale. U praktičnim okvirima građevinske zaštite može se sa zadovoljavajućom tačnošću računati da potrebne poludebljine protiv naknadne radijacije iznose oko polovine datih vrednosti za početnu radijaciju.



Sl. 79 — Dubinsko sklonište. Presek kroz ulazni deo. Rešenje kosog i vertikalnog ulaza

Kao orijentacione zaštitne debljine zidova i tavanica običnih skloništa sa uobičajenim rasponima mogu se smatrati debljine prema tabeli 56. One su date prema natpritisku udarnog talasa nuklearne eksplozije i nuklearnom zračenju koje odgovara tom pritisku. Tabela pokazuje da su debljine, potrebne za zaštitu od udarnog talasa nedovoljne i za zaštitu od radijacije.

To znači da izložene tavanice i zidove, dimenzionisane prema udarnom talasu, treba ojačati dodatnim slojem betona ili zemlje prema tabeli.

Osnovni konstruktivni elementi su kod improvizovanih, običnih i masivnih armiranobetonskih skloništa: tavanice, obimni zidovi i temeljna ploča. Načelno se ti elementi rade i povezuju u krutu, konstruktivnu celinu.

S obzirom na potrebe zaštite, skloništa se grade samo sa minimalnim brojem neophodnih otvora. Ti otvori predstavljaju slaba mesta skloništa. Naime, stvarna otpornost skloništa ne zavisi samo od usvojenih zaštitnih

Tabela 55 — Iznos poludebljina za neke zaštitne materijale

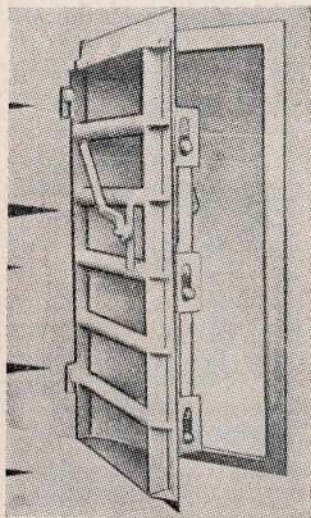
| materijal | poludebljine u cm |
|-----------|-------------------|
| olovo     | 2                 |
| gvožđe    | 4                 |
| beton     | 12                |
| zemlja    | 20                |
| drvo      | 27                |

Tabela 56 — Zaštitne debljine zidova i tavanica običnih skloništa

| natpritisk udarnog talasa nuklearne eksplozije (atm.) | potrebna zaštitna debljina armiranog betona MB300 (m) | potrebna zaštitna debljina u metrima dodatnog sloja od betona ili zemlje, za zaštitu od nuklearnog zračenja (m) |        |
|---|---|---|--------|
|   |   | beton   | zemlja |
| 1   | 0,4   | 0,2   | 0,7    |
| 3   | 0,6   | 0,2   | 0,7    |
| 6   | 0,6   | 0,4   | 0,9    |
| 9   | 0,6   | 0,6   | 1,2    |



debljina i konstruktivnog oblikovanja i povezivanja pojedinih elemenata već uveliko i od rešenja zaštite otvora. S obzirom na to, vrata, kapci i ventili za zatvaranje otvora su značajni elementi skloništa. U zaštitnoj tehnici upotrebljavaju se različite vrste vrata po obliku, materijalu i konstrukciji. Kod manjih i srednjih skloništa primenjuju se, uglavnom, jednokrilna čelična (sl. 80), a ređe armiranobeton-ska vrata. Kod velikih skloništa primenjuju se dvokrilna ili vrata na pomicanje. Ovakvi zatvarači mogu biti znatnih dimenzija i težine. Otpornost vrata mora biti jednaka otpornosti skloništa.



Sl. 80 — Izgled čeličnih vrata otpornih na pritisak

S obzirom na potrebe skloništa primenjuju se vrata otporna samo na pritisak, hermetička vrata i vrata koja objedinjuju oba svojstva. Primena određene vrste vrata i njihov raspored zavise od funkcionalne organizacije i oblikovanja skloništa.

*Funkcionalna organizacija i oblikovanje skloništa.* Funkcionalno organizovanje skloništa obuhvaća grupisanje prostorija prema nameni. Funkcija skloništa zahteva takvu organizaciju koja omogućava ulazjenje, izlazjenje i boravak ljudi, kao i obezbeđivanje nužnih fizioloških, bioloških i psiholoških uslova za život čoveka.

Zahtevima zaštite predviđa se u savremenim uslovima mogućnost boravljenja u skloništu duže od nekoliko dana, pa i nedelja.

Da bi uspešno ispunjavalo svoju funkciju, sklonište po pravilu ima ulaz, ustavu, prostorije za boravak i rezervni izlaz. Zavisno od veličine, odnosno kapaciteta, ono

može imati i više ulaza, odnosno izlaza, posebne prostorije za sanitarne potrebe, kao što su klozeti, tuševi, dekontaminacija, prostorije za pogonske uređaje, postrojenja za provetravanje, grejanje, snabdevanje vodom itd.

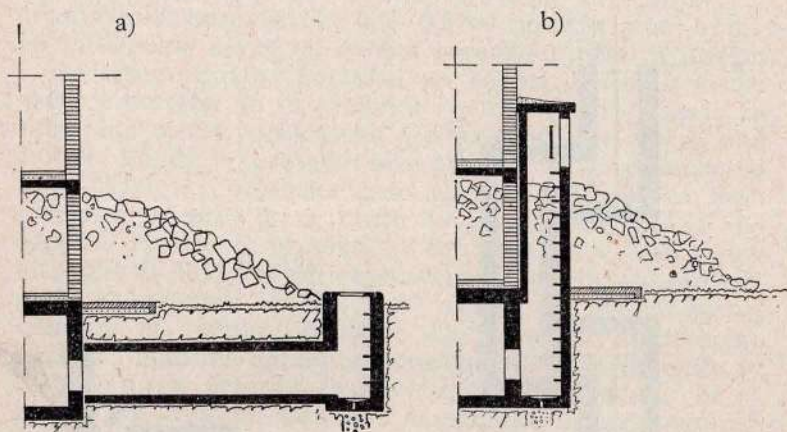
Neki orijentacioni normativi o veličinama ovih prostorija su: ustave kod običnih i masivnih armiranobetonskih skloništa 3—5 m<sup>2</sup>, a kod tunelskih 10—15 m<sup>2</sup>; za prostorije za boravak oko 0,5—0,6 m<sup>2</sup> po sklonjenoj osobi, no to donekle zavisi od načina boravka ljudi u skloništu i predviđene dužine boravka, jer se pri dužem boravku nameće potreba da se predvidi i potreban broj ležaja za sklonjene osobe; uobičajena visina prostorije iznosi oko 2,0 do 2,5 m, u proseku oko 2,30 m, a samo izuzetno ispod 2,00 m; prosečna neto zapremina prostora koja rezultira iz ovih mera kreće se oko 1,0 do 1,5 m<sup>3</sup> po čoveku, odnosno u proseku 1,2 m<sup>3</sup>; za klozete, koji mogu biti suhi ili (kod velikih objekata) sa vodenim ispiranjem, može se računati sa oko 1 m<sup>2</sup> osnove na 25—30 osoba, odnosno sa jednim klozetom na navedeni broj osoba. Obična i masivna armiranobetonska skloništa rešavaju se po pravilu u prostim (jednostranim) oblicima da bi se zadovoljili zahtevi zaštite i ekonomike, a najpovoljniji oblici su, prema tome, oni koji imaju što manju osnovu, obim i zapreminu. Tunelska skloništa, prema osobenosti građenja podzemnih prostorija, traže, po pravilu, razgranat oblik koji se podređuje konstruktivnim mogućnostima građenja, pored ekonomike i zahteva zaštite.

Kao specifičnost kod skloništa ukazuje se na oblikovanje ulaza radi što veće zaštite otvora vratima. Ulaz se rešava višestrukim (2—3 puta) zalamanjem koje služi za to da se smanje pritisak udarnog talasa i radijacija na otvor ulaza. Kao praktično pravilo koje se primenjuje u zaštitnoj tehnici može se uzeti da se svakim zalamanjem radijacija smanjuje na jednu desetinu intenziteta pre zalamanja. To znači da bi se, na primer, trostrukim zalamanjem radijacija smanjila za hiljadu puta (sl. 81).

*Skloništa kao samostalni objekti i u sklopu zgrada.* Obična i improvizirana skloništa grade se i kao samostalni objekti i u sklopu zgrada, za razliku od masivnih



Skloništa kao spoljne građevine su poseban urbanistički elemenat grada ili naselja, koji može da ima različite položaje prema terenu (nadzeman, delimično ukopan, podzeman). Da bi se ovakvi objekti uskladili sa urbanističkim rešenjem, u kojem se javljaju više ili ma-



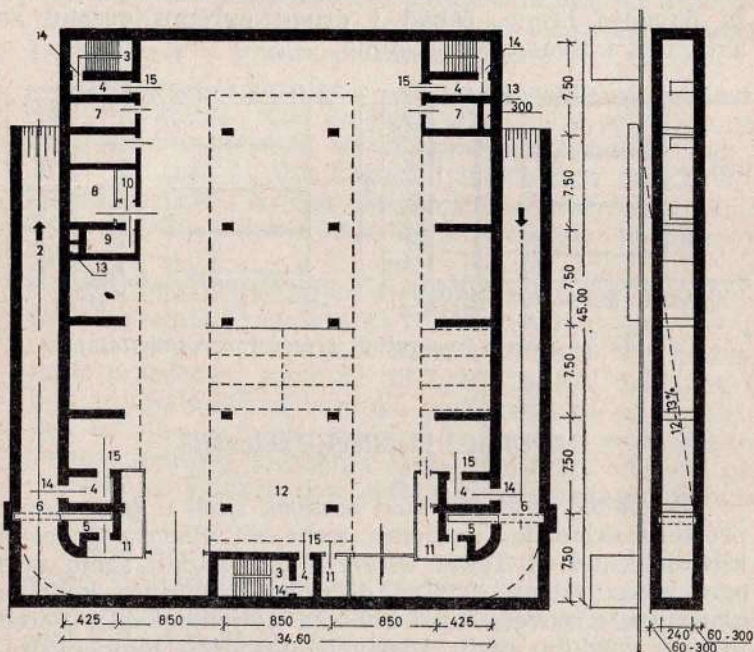
Sl. 82 — Rešenje rezervnog izlaza koji vodi izvan zone ruševina:  
 a) rešenje horizontalnim prolazom — hodnikom, b) rešenje vertikalnim šahtom

nje kao strani elementi, potrebno je da se njihov položaj prema terenu, razmeštaj, oblikovanje eventualne nadzemne siluete, pristupni putevi itd. obuhvate opštim urbanističkim planom gradskog naselja.

Izgradnja skloništa kao društvena potreba predstavlja ekonomsko opterećenje, utiče na građevinska i urbanistička rešenja, a sama skloništa javljaju se u miru kao društveno nekorisni objekti. Da bi se te slabosti što više odstranile, postoji tendencija da se problem reši dvonamenskim građevinskim objektima, koji služe za zadovoljavanje nekih redovnih potreba u mirno doba i vanrednih potreba u skloništim. U tom pravcu već su ostvarena neka rešenja, na primer, objekti koji služe kao garaže

i skloništa ili kao podzemne saobraćajnice i skloništa (sl. 83).

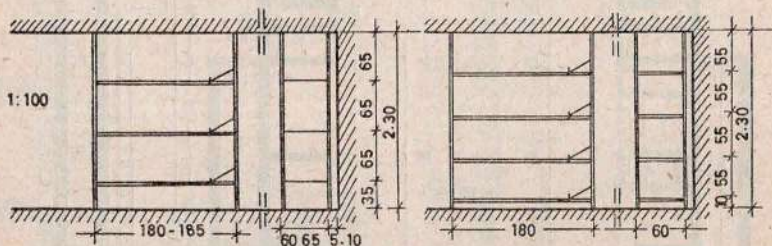
*Oprema skloništa.* Osnovnu opremu skloništa sačinjavaju klupe ili druga sedišta i ležaji. Osobnost klupa ili sedišta je u tome što treba da budu pričvršćeni za pod i odmaknuti za 5—10 cm od spoljnih zidova. Ležaji su po pravilu trospratni, pa čak i četverospratni kod



Sl. 83 — Primer dvonamenskog rešenja parking-garaže-skloništa. Kapacitet objekta je oko 50 vozila ili 1500—2000 osoba; 1. ulaz za vozila, 2. izlaz za vozila, 3. stepeništa za ulaženje i izlaženje, 4. ustave, 5. prostor za pregradu za zaštitno zatvaranje kolskih ulaza-izlaza, 6. pregrada za zatvaranje u otvorenom položaju, 7. sanitarne prostorije (klozeti, umivaonici), 8. mašinska prostorija, 9. filtri, 10. pogonski materijal, 11. službene prostorije za redovne potrebe garaže, 12. prostorije za boravak, odnosno vozila, 13. šahtovi za dovod i odvod vazduha, 14. vrata otporna na pritisak, 15. hermetička vrata

normalne visine od 2,30 m. Oni takođe treba da budu pričvršćeni i odmaknuti od zida. Cilj odmicanja je da se osobe zaštite od ozleda usled prenošenja potresa preko zidova (sl. 84).

Pored ove osnovne opreme, neophodne za boravljenje, skloništa treba da budu snadbevena potrebnim rezervnim alatom, rezervnim svetlom, posudama za vodu. Veća skloništa mogu imati i opremu za kuvanje, posude za čuvanje hrane, ćebad i drugu opremu vezanu za aktivnost i život u skloništimu.



Sl. 84 — Shema trospratnih i četverospratnih ležaja

### Uređaji i instalacije skloništa

Da bi bio moguć duži boravak ljudi u zatvorenom prostoru skloništa, u njemu treba da vladaju povoljni klimatski uslovi. Takvi uslovi mogu vladati samo vrlo ograničeno vreme, jer se disanjem smanjuje količina kiseonika, a povećava se količina ugljendioksida. Pored toga, u vazduhu rastu relativna vlažnost i temperatura, kao posledica disanja i toplote ljudskog tela. Pri normalnim uslovima vazduh sadrži oko 21% kiseonika i oko 0,05% ugljendioksida.

S obzirom na činjenicu da u skloništimu, iz ekonomskih i drugih razloga, na jednu sklonjenu osobu dolazi, zavisno od vrste skloništa, 1 do 4 m<sup>3</sup> prostora, ne može se računati na obezbeđivanje potpuno normalnih uslova za boravak. Međutim, odstupanje od tih uslova do izve-

snih granica nema posledica za ljudski organizam. Ispitivanja su pokazala da se opstanak ljudi u skloništima može smatrati podnošljivim, po pravilu bez poteškoća, i pri sadržaju vazduha: kiseonika oko 15% i ugljendioksida 1—2%. Dalje smanjivanje kiseonika ili povećavanje ugljendioksida izaziva teškoće u radu organizma. Zavisno od ljudskog organizma mogućan je opstanak, uz tegobe, i kod koncentracija ugljen-dioksida od 3 do 5%. Veće količine izazivaju teške poremećaje, a koncentracija preko 9—10% smatra se smrtonosnom.

Potrošnja kiseonika i izdvajanje ugljen-dioksida zavise od stanja tela čoveka, tako da je pri potpunom mirovanju u ležećem stavu potrošnja kiseonika oko 30 litara na sat, a izdvajanje ugljen-dioksida oko 24 litra na sat; pri radu čoveka potrošnja kiseonika iznosi oko 74 litra na sat, a izdvajanje ugljen-dioksida 46 litara na sat.

Koncentracija ugljen-dioksida ima većeg uticaja na dužinu vremena zadržavanja u zatvorenom prostoru. Polazeći od njegove dozvoljene koncentracije do 2% i izdvajanja u sedećem stavu do 28 litara na sat, dobija se da je potrebna količina vazduha po čoveku na sat približno 1,00 m<sup>3</sup>. Prema tome, svaki duži boravak u skloništima nameće potrebu dovođenja svežeg vazduha, odnosno provetravanja. Postoje dva načina provetravanja: prirodan i veštački.

Kod prirodne ventilacije strujanje vazduha odvija se bez pomoći mehaničkih sredstava za pospešivanje cirkulacije. Pri tome treba da se omogući izmena vazduha od 1,5 do 3 puta na sat.

Prirodna ventilacija se postiže jednostavnim otvaranjem ulaznih vrata, rezervnog izlaza i drugih otvora. Na taj način može se postići snažno strujanje i višestruka izmena vazduha na sat.

Dovod svežeg i odvod utrošenog vazduha mogu se odvijati i kroz izgrađene kanale i šahtove. Kanali za prirodnu ventilaciju treba da budu izgrađeni da ne slabe otpornost skloništa protiv dejstva vazdušnog i radioak-

tivnog zračenja. To se postiže većim brojem zalamanja, no time se povećava otpor pri cirkulaciji vazduha.

Presek kanala treba da bude takav da omogućuje da se vazduh izmeni 1,5—2 puta na sat. Kao orijentacioni podatak moglo bi se uzeti da presek kanala za prirodnu ventilaciju treba da ima oko 17—20 cm<sup>2</sup> po sklonjenoj osobi. Ovome, na primer, odgovara kanal preseka oko 400 cm<sup>2</sup> za kapacitet skloništa od 20 do 25 osoba. Za zadovoljavanje većih kapaciteta kanali se mogu raditi sa većim presekom ili se primenjuje veći broj kanala. Pri tome moraju postojati najmanje dva preloma ose pod pravim uglom (kolena). Otvori kanala i šahtova obezbeđuju se od dejstva vazdušnog udara i parčadi zatvaračima ili drugim sigurnosnim uređajima iste otpornosti kao i samo sklonište. Oni treba da su takvi da se mogu u slučaju potrebe zatvoriti trenutno i na taj način hermetizovati skloništa.

Funkcionisanje prirodne ventilacije nije uvek pouzdano. Pri određenim uslovima može nastupiti stanje ravnoteže vazduha, usled čega prestaje strujanje.

Sistem prirodne ventilacije primenjuje se u skloništima kod kojih se jednovremeno predviđa i individualna zaštita od bojnih otrova i drugih štetnih materija, jer je tada isključena primena uređaja za filtriranje vazduha. Ovaj način provetravanja primenjuje se u izvesnim slučajevima kao rezervni sistem i kod skloništa koja su opremljena uređajima za veštačko provetravanje. Tada se prirodna ventilacija koristi samo u normalnim uslovima i za obezbeđivanje neophodne izmene vazduha u vreme kad sklonište nije posednuto, da bi se smanjila korozija opreme usled vlažnosti.

Kod veštačke ventilacije strujanje vazduha postiže se mehaničkim putem, pomoću ventilatora, a kod manjih skloništa i pomoću mehova. Razlikuju se dva sistema: prolazno i kružno provetravanje.

Kod prolaznog provetravanja sveži vazduh se uzima iz spoljne atmosfere. Pomoću ventilatora vazduh se kroz dovodne cevi potiskuje u sklonište izazivajući u njemu



izvestan natpritisak i potiskujući već upotrebljeni vazduh kroz odvodne otvore u spoljni otvor.

Pri primeni ovog sistema mogućna su dva režima ventilacije — normalne i zaštitne ventilacije.

Normalna ventilacija se primenjuje za dovodenje svežeg vazduha u sklonište samo kad atmosfera nije zagađena otrovima ili radioaktivnim materijama. Pogon ventilatora za potiskivanje vazduha može biti ručni ili mehanički, zavisno od veličine (kapaciteta) skloništa. Pri ovom režimu provetravanja, minimalna potrebna količina vazduha po čoveku iznosi oko  $6 \text{ m}^3$ — $9 \text{ m}^3$  na sat.

Zaštitna ventilacija se primenjuje za dovodenje svežeg vazduha u sklonište kad je atmosfera oko skloništa zatrovana bojnim otrovima, kontaminirana radioaktivnim materijama ili iz drugih razloga štetna za zdravlje sklonjenih osoba. U ovom slučaju spoljni vazduh se dovodi preko filtera, a potrebna količina po čoveku je oko  $1,5 \text{ m}^3$  na sat. Količina vazduha po čoveku ne bi trebalo ni u izuzetnim slučajevima da se smanji ispod  $1,0 \text{ m}^3$  na sat.

Instalaciju veštačkog provetravanja po pravilu treba tako rešavati da se po potrebi može primeniti režim normalnog ili zaštitnog provetravanja. Pri tome će se vazduh u prvom slučaju uvoditi direktno u sklonište, dok će u drugom voditi preko filterarskih uređaja.

Potiskivanjem vazduha putem ventilatora u skloništu se stvara vazdušni natpritisak, neophodan da bi se omogućilo izlaženje istrošenog vazduha (u slučaju prolaznog provetravanja). Regulišu ga ventili. Natpritisak sprečava i prodiranje zagađenog vazduha kroz eventualno nedovoljno zaptivana mesta kod vrata i drugih otvora, kao i u slučaju kratkotrajnog otvaranja vrata radi izlaska pojedinaca.

Kod kružnog provetravanja ne dovodi se svež vazduh iz atmosfere, nego se regeneriše (obnavlja) onaj u skloništu. Regenerisanje vazduha se sastoji u oduzimanju viška ugljen-dioksida i vodene pare i dodavanju kiseonika da bi se njegov sadržaj u vazduhu održavao stalno na istom nivou. To se postiže hemijskim putem primenom

raznih sredstava koja vezuju ugljen-dioksid i vodu, a oslobađaju kiseonik. Kiseonik se dodaje i neposredno iz pripremljenih boca.

Ovaj sistem ventilacije primenjuje se kad je potrebno da se za određeno vreme ljudi u skloništu potpuno izoluju od spoljne atmosfere. Na primer, kad se u okolini skloništa jave nepoznati bojni otrovi, kad dođe do pregrejavanja vazduha usled većih požara u okolini skloništa, kad filtri ne mogu da obezbede prečišćavanje vazduha bilo usled jake koncentracije kontaminacije, bilo usled njenog vrlo dugog trajanja.

Pored nesumljivih prednosti, nedostatak ovog sistema provetravanja je u tome što se teško obezbeđuju, odnosno obnavljaju, dovoljne količine sredstava potrebnih za hemijske reakcije kojima se prečišćava vazduh, te ga treba smatrati izuzetnim.

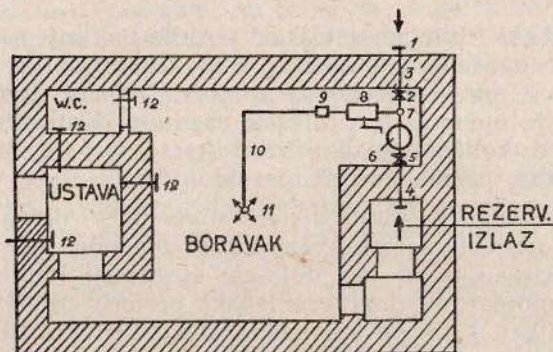
*Uređaji za provetravanje.* Ventilacioni uređaji kod skloništa imaju uglavnom sledeće glavne delove: otvore za usisavanje vazduha (usisne atvore), ventilatore, filtre, cevovode, ventile i druge armature. Šema uređaja za normalnu i zaštitnu ventilaciju manjeg skloništa daje se na sl. 85.

Otvori za usisavanje vazduha zaštićuju se sa spoljne strane skloništa zaštitnom pločom i mehaničkim zatvaračem na principu povratnog ventila, otpornog na dejstvo eksplozionog udara. Pod dejstvom pritiska vazdušnog eksplozionog udara ventil se brzo zatvara i sprečava prodiranje eksplozionog udara u usisnu cev. Zaštitna tehnika razvila je i primenjuje vrlo različite sisteme takvih ventila.

Ventilatori moraju biti tako dimenzionisani da mogu savladati sve mehaničke otpore i da u prostoriji skloništa održavaju stalno predviđeni natpritisak.

Ventilatori mogu biti na ručni i mehanički pogon. Praktična granica do koje se primenjuju ventilatori na pogon ljudskom snagom kreće se do kapaciteta skloništa od 200 osoba. Iznad ovog kapaciteta načelno se primenjuje samo mehanički pogon. Međutim, postoje i primenjuju se i takvi ventilatori koji, pored mehaničkog, imaju

i rezervni pogon ljudskom snagom. Za pogon ventilatora velikih skloništa potrebni su sopstveni izvori električne energije, odnosno agregati koji, takođe, moraju biti zaštićeni u istom stepenu kao i sklonište.



Sl. 85 — Shema uređaja za normalno i zaštitno provetranje manjeg skloništa (oko 25—100 osoba); 1. usisni otvor za normalno provetranje, 2. ventil za zatvaranje dovoda normalnog provetranja, 3. usisni vod za normalno provetranje, 4. usisni vod za zaštitno provetranje sa peščanim pred-filtrom ili bez njega, 5. ventil za zatvaranje zaštitnog provetranja, 6. filter, 7. razvodni ventil za normalno i zaštitno provetranje, 8. ventilator za normalno i zaštitno provetranje, 9. merač protoka vazduha, 10. razvodna mreža, 11. otvori za uduvavanje vazduha, 12. ventili za natpritisak (ispuštanje utrošenog vazduha)

Filtri (kolektivni) imaju zadatak da (pri režimu zaštitne ventilacije) fizički ili hemijski vežu hemijska, biološka i radiološka napadna sredstva i da u sklonište propuste samo prečišćen vazduh. Princip rada ovih filtera je uglavnom isti kao kod filtera u zaštitnim maskama za individualnu zaštitu. Izrađuju se u vrlo različitim konstrukcijama pri čemu su glavni sastojci aktivni ugalj i aerosolni uložak.

U novije vreme razvijen je drugi tip filtera kod kojih ulogu adsorbenta vrši grubi pesak. Ovi filtri, nazvani pešćanim, mogu u mnogim slučajevima uspešno da zamene filtre na bazi aktivnog uglja, a u nekim slučajevima se javljaju i kao njihova dopuna, vršeći ulogu predfiltera.

Pešćani filter se sastoji od posude napunjene grubim peskom određene granulacije. U pesku ima zrna preseka od 1 do 3 mm u određenoj proporciji. Pesak leži na rešetki koja omogućuje prolazak vazduha. Kapacitet filtra zavisi od količine peska. Izrađuju se u vrlo različitim veličinama, prema potrebama skloništa.

Pešćani filtri imaju sledeća značajna svojstva: deluju kao amortizeri pritiska vazdušnog udarnog talasa, čime štite instalaciju od tog dejstva; apsorbuju veliku količinu toplote kroz duži vremenski period, čime regulišu temperaturu i vlažnost vazduha koji se preko njih uvodi u sklonište; adsorbuju štetne sastojke vazduha koji kroz njih prolazi, iz vazduha uspešno izdvajaju radioaktivne materije i veliki broj otrova. Ova sposobnost filtra proizilazi iz vrlo velike efektivne spoljne površine zrnaca peska koja, po nekim autorima, iznosi 400.000 do 500.000 m<sup>2</sup> po 1 m<sup>3</sup> peska (što je usled poroznosti mnogo više nego kod običnog rečnog peska).

Cevovodi se najčešće izrađuju od lima. Mogu biti pravougli ili kružnog preseka, u dimenzijama koje zavise od veličine instalacije.

Pored cevovoda, instalacija je snabdevena ventilima za regulisanje protoka vazduha i natpritiska, zatvaračima i dr.

Ventili za natpritisak se obično ograđuju u zidove. Oni se automatski regulišu za ispuštanje istrošenog vazduha u obimu pri kojem će se u skloništu stalno održavati predviđeni natpritisak. Moraju se zatvarati hermetički i biti otporni protiv dejstva vazdušnog udarnog talasa u istom stepenu u kojem je otporno i sklonište u celini.

## Urbanistički aspekti zaštite

Svako naselje predstavlja pod određenim uslovima mogućan cilj neprijateljskog napada iz vazduha. U današnjim uslovima nemoguće je izgraditi nepovredivo naselje. Ovo međutim, ne znači da se ne može efikasnim merama osetno smanjiti razorno dejstvo napadnih sredstava. Među takve mere spada i izgradnja prostranog gradskog naselja prema zahtevima zaštite, tj. sprovođenje urbanističkih mera zaštite.

Urbanističke mere zaštite su preventivne, za razliku od građevinskih čiji je cilj da neposredno štite ljude i materijalna dobra. No, i urbanističke mere predstavljaju značajnu komponentu zaštite i čine celinu sa građevinskim merama.

Iako o mnogim pitanjima iz ove oblasti još nedostaju teoretski dovoljno proučeni i u praksi provereni stavovi, osnovne urbanističke mere civilne zaštite mogu se izvesti iz opštih zahteva zaštite koji traže da se smanje dejstva i posledice razaranja i da se povećaju mogućnosti za obnavljanje posle razaranja, odnosno mere koje olakšavaju uspostavljanje redovnog stanja posle katastrofe.

Iz tih zahteva proizilaze osnovne mere zaštite: disperzija, decentralizacija i zoniranje gradskih naselja, ali i njih valja primeniti u razumnim okvirima da ne bi onemogućile ili znatno sputale normalnu mirnodopsku delatnost.

U disperziji kao meri zaštite polazi se od činjenice da je razaranje praktično srazmerno gustini izgrađenosti. Iz toga sledi da se disperzijom smanjuje razaranje, a time gubici u ljudima i materijalnim dobrima.

Neke urbanističke mere disperzije prema zahtevima zaštite su smanjivanje gustine naseljenosti, smanjivanje gustine izgrađenosti i povećavanje slobodnih neizgrađenih površina.

U decentralizaciji kao meri zaštite polazi se od postavke da se određene funkcije podele na više samostalnih, prostorno razdvojenih jedinica. Iz ovog proističe stvaranje mnogobrojnih, prostorno razdvojenih, što samostal-

njih elemenata sa istim funkcijama. Oni treba da omogućе nastavlanje života gradskog organizma i u slučajevima masovnog razaranja, jer će preostali elementi preuzeti funkcije razorenih.

Neke urbanističke mere decentralizacije prema zahtevima zaštite su: raščlanjivanje gradskog organizma u što samostalnije makrourbane i urbane jedinice, prostorno razdvojene slobodnim površinama; stvaranje mnogobrojnih, što samostalnijih rejonskih centara i centara stambenih zajednica; ograničavanje funkcije opšteg gradskog centra smanjivanjem elementa javne uprave, privrede i trgovine na neophodan obim; raščlanjivanje prostornih kapaciteta za zadovoljavanje društvenih potreba na više objekata razmeštenih po raznim urbanim jedinicama; decentralizovan razmeštaj zdravstvenih ustanova; decentralizovan razmeštaj drumskog, železničkog, vodenog i vazdušnog saobraćaja sa stvaranjem rezervnih veza i dovoljnog broja prostorno udaljenih arterija.

Zoniranje se, kao mera zaštite, sastoji u organskom razdvajanju različitih područja grada po nameni. Ovo prvenstveno da bi se zaštitili stambeni rejoni od posledica razaranja drugih rejona koji bi mogli da ih ugrožavaju požarom, škodljivim (otrovnim) isparenjima ili, najzad, eksplozijama zapaljivih i eksplozivnih materija.

Prema zahtevima zaštite postoji više mera zoniranja. To je, pre svega, prostorno razdvajanje zona za stanovanje, industriju, saobraćaj i drugih. No, ovakva podela ne sme dovesti do stvaranja uniformnih zona, jer bi to bilo u suprotnosti ne samo sa merama i koncepcijama zaštite već i sa savremenim stavovima urbanističke teorije. Ovom merom se postiže cilj kad ona dovodi do kompleksnog funkcionalnog zoniranja, tj. kada postoji osnovna, pretežna funkcija koja se dopunjuje neophodnim dopunskim funkcijama. To znači onim funkcijama koje, između ostalog, zahtevaju nužne mere decentralizacije. Druga mera je stvaranje mreže neizgrađenih slobodnih površina između pojedinih prostorno razdvojenih zona. Konačno, kao treća mera računa se izdvajanje postrojenja koja služe spoljnom i gradskom saobraćaju

i zadovoljavanju različitih komunalnih potreba (kao što su postrojenja i uređaji vodovoda i sl.) iz sklopa drugih zona.

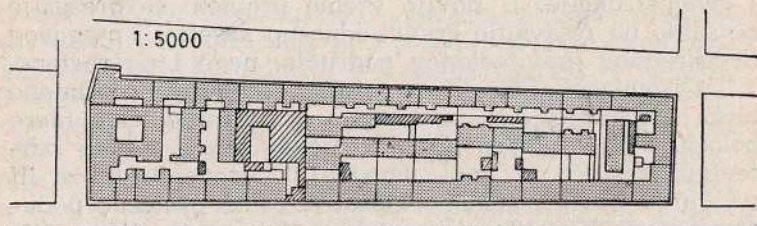
Organizacija gradova i naselja prema izloženim zahtevima i merama zaštite obuhvata složeno područje najrazličitijih problema planiranja, projektovanja, izgradnje i rekonstrukcije. U novije vreme problem se proširuje ne samo na rešavanje grada, odnosno naselja, i njegovog neposrednog gravitacionog područja, nego i na regione.

Organizacija strukture grada rezultira iz primene mera disperzije, decentralizacije i zoniranja. Ove mere pokazuju da organizacija savremenog grada prema zahtevima zaštite ne vodi usvajanju određenih šema ili stvaranju novih sistema. Naprotiv, usled pretežne podudarnosti ovih zahteva sa urbanističkom teorijom, ona prema zahtevima zaštite vodi stvaranju savremenih gradova, organizovanih na načelima slobodno razređene izgradnje, sa zelenim i neizgrađenim površinama koje su povezane kako međusobno tako i sa slobodnom prirodom izvan grada. Pored toga, ona vodi stvaranju što samostalnijih urbanih jedinica u okviru grada koje postaju osnovne ćelije, odnosno elementi, urbanističke kompozicije. Kao posebna specifičnost javlja se optimalno korišćenje druge ravni, tj. podzemlja, za zadovoljavanje različitih potreba saobraćaja i privrede, koja bi se uporedo koristila i za mnoge potrebe u skloništima.

Pri podizanju gradova dolaze uglavnom do primene tri vrste izgradnje po rasporedu zgrada na izgrađenoj teritoriji i to:

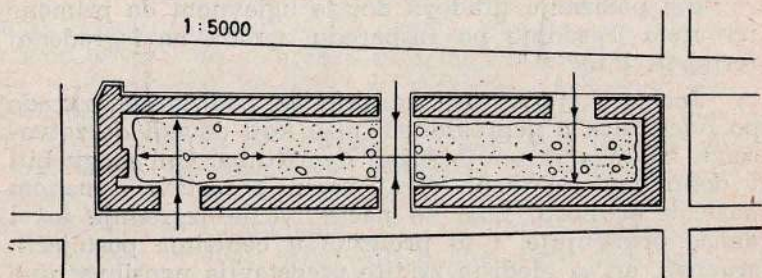
*Ivična izgradnja* se karakteriše podizanjem zgrada po ivici ulica u neprekidnom nizu koji dovodi do zatvorenih blokova sa unutrašnjim dvorištima. Oni mogu biti i delimično izgrađeni. Ovaj način predstavlja mahom nasleđe prošlosti. Iako se način ivične izgradnje još i danas primenjuje, i to pretežno u centrima postojećih gradova, on sa gledišta zaštite predstavlja neprihvatljivo rešenje. Ovo stoga što zatvorena dvorišta deluju začep-ljujuće u slučaju eksplozije, što je unutrašnjost takvih zatvorenih blokova teško pristupačna, posebno u slučaju

katastrofe, i što se unutrašnja dvorišta naknadnom do-gradnjom i izgradnjom često pretvaraju u potencijalnu opasnost kao žarišta požara. Ivična izgradnja je naročito nepovoljna kod nedovoljne širine ulica, jer se pri masovnom razaranju mogu potpuno zatrpati komunikacije i onemogućiti evakuaciju ili spasavanje (sl. 86).



Sl. 86 — Gusto izgrađen stambeni blok u ivičnoj izgradnji (primer iz Kopenhagena)

Međutim, ukoliko je takva izgradnja neophodna i pored ovih nepogodnosti, ili kad se radi o rekonstrukciji već izgrađenih delova grada, razmak između zgrada treba da bude ravan najmanje dvostrukoj visini objekta, kako prema ulici tako i prema dvorištu. Isto tako, u blokovima treba predvidjeti, najmanje sa dve međusobne udaljene strane, slobodne neizgrađene prolaze, dovoljno ši-

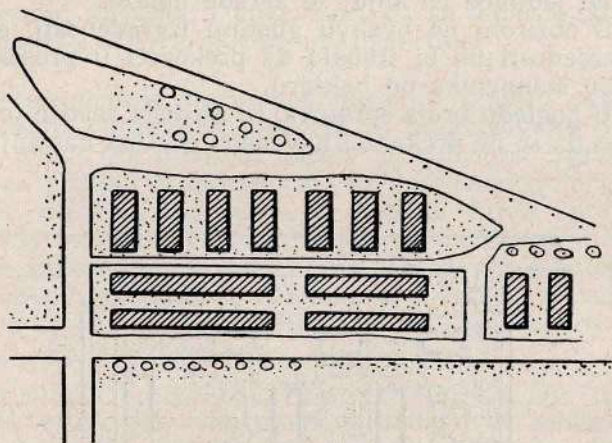


Sl. 87 — Mogućna rekonstrukcija bloka iz sl. 86 prema zahtevima zaštite



roke da budu prohodni i ako se poruše objekti sa kojima se graniče, a u unutrašnjosti bloka obezbediti slobodnu, potpuno neizgrađenu površinu — dvorište (sl. 87).

*Izgradnja u nizu* se karakteriše podizanjem zgrada poredanih u niz bez formiranja zatvorenih blokova. Ona je povoljnija za zaštitu, a predstavlja prelaz između ivične i slobodne izgradnje (sl. 88).



Sl. 88 — *Izgradnja u nizu*

*Slobodna izgradnja* se karakteriše slobodnim rasporedom uglavnom nepovezanih objekata u bloku sa slobodnim i zelenim, međusobno povezanim površinama (sl. 89).

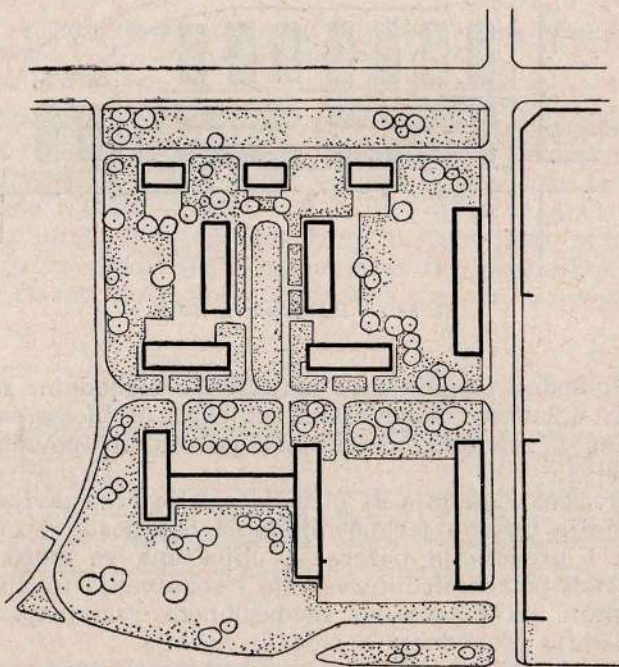
Ovakva izgradnja sa gledišta zaštite predstavlja najpovoljnije rešenje jer postoji mala opasnost od zatrpavanja i prenošenja požara, a objektima se može lako prići radi potrebnih intervencija i spasavanja ukoliko su podignuti na dovoljnom međusobnom rastojanju koje obezbeđuje prohodnost u slučaju rušenja.

Gustina nastanjenosti i izgrađenosti predstavljaju značajan faktor sa gledišta zaštite. Prihvatljiva je takva

gustina izgrađenosti kod koje će pri masovnom rušenju biti obezbeđena osnovna prohodnost po izgrađenoj teritoriji, a onemogućeno obrazovanje masovnih površinskih požara ili, čak, požarnih oluja. Da bi se udovoljilo tim zahtevima, gustina izgrađenosti ne bi smela da prekorači 20%. Pri tome se pod tim pojmom podrazumeva odnos između površine koju zauzimaju zgrade i ukupne površine dela grada, zone, rejona ili, uopšte, neke posmatrane urbane jedinice na kojoj se zgrade nalaze.

S obzirom na ovakvu gustinu izgrađenosti, gustina nastanjenosti ne bi trebalo da prekorači u proseku 350 do 450 stanovnika po hektaru.

U pogledu broja spratova, sa gledišta zaštite je neophodno da se ne prekorači navedena gustina nastanjenosti.



Sl. 89 — Slobodna izgradnja

Poštovanje tog zahteva neminovno dovodi do mešovite izgradnje po visini, što je u skladu i sa savremenim urbanističkim načelima. Isključivo niska izgradnja je nepovoljna, jer već kod prosečne gustine nastanjenosti zahteva visoku gustinu izgrađenosti, što je suprotno iznetim načelima.

Visoka izgradnja je prihvatljiva pod uslovom da se zagaruje takva otpornost objekta koja odgovara konstruktivnim merama, i mogućnost da se napusti objekat i interveniše odgovarajućom organizacijom.

*Organizovanje stambenog bloka.* Iz iznetih načela i mera zaštite proizilaze i načela za organizovanje stambenog bloka. Ta osnovna načela su slobodna izgradnja, umerena gustina nastanjenosti, što manja gustina izgrađenosti, mešovita izgradnja u pogledu broja spratova, izgradnja osnovnih pratećih objekata kao što su prostori za snabdevanje i parkiranje, obrazovanje zelenih i neizgrađenih međusobno povezanih površina vezanih sa glavnim saobraćajnicama i drugim slobodnim površinama koje se graniče sa blokom.

Zelenim i neizgrađenim površinama, kao što su parkovi, skverovi, šetališta, površine namenjene saobraćaju, vodene površine, groblja, hipodromi i slično, sa gledišta zaštite treba da se smanji obim razaranja, jer je smanjena i gustina izgrađenosti; da se poveća komunikativnost i povezivanje izgrađenih površina za potrebe saobraćaja, za spasavanje, evakuaciju i obnovu kod masovnog razaranja; da se stvore bezbedne zone za prikupljanje stanovništva iz razorenih područja, kao i da se obrazuju pregrade, odnosno izolacioni pojasi između i oko pojedinih izgrađenih urbanih jedinica kako bi se sprečilo širenje i prenošenje požara. Te površine, takođe, služe za razmeštaj izvora vode izgradnjom bazena, rezervoara, bunara, veštačkih jezera i slično. Zelene i neizgrađene površine odgovoriće zahtevima zaštite ako su organizovane tako da obrazuju jedinstven sistem razgranate mreže koja prožima grad, a vodi od mesta stanovanja ili rada u vangradski prostor, kao i ako su takvih

razmera da obezbeđuju prohodnost po glavnim komunikacijskim pravcima pri masovnom razaranju.

*Saobraćajnice, industrijska i komunalna postrojenja.* U pogledu zaštite, od unutrašnjeg saobraćaja zahteva se da garantuje prohodnost na osnovnim saobraćajnim pravcima čak i kod masovnog razaranja. To znači da mreža saobraćajnica mora biti dovoljno razgranata, radialno i kružno povezana, a dimenzionisana tako da se imaju u vidu potrebe vanrednog saobraćaja. Zaštita, takođe, zahteva da se izbegava obrazovanje saobraćajnih čvorova, već da se taj problem rešava putem petlji.

Industrijska i komunalna postrojenja načelno se lociraju izvan stambenih rejonu. Zavisno od značaja takvih postrojenja, kao što su, na primer, trafostanice i pumpne stanice vodovoda, teži se i njihovoj decentralizaciji. Postrojenja koja u slučaju razaranja mogu da predstavljaju izvor posebne opasnosti po okolinu stvaranjem otrovnih isparenja, prenošenjem požara i sl. posebno se brižljivo lociraju u odnosu na grad i odvajaju potrebnim neizgrađenim površinama.

Prostorno organizovanje grada ili naselja prema potrebama zaštite, nerazdvojno je povezano sa mogućnošću da se realizuje putem redovne urbanističke delatnosti. To upućuje na jednovremeno rešavanje problema zaštite kod izgradnje novog grada ili rekonstruisanja postojećeg, kao i na celishodnost stvaranja odgovarajućih urbanističkih planova zaštite, kao dela opšteg urbanističkog planiranja i projektovanja.

## ZDRAVSTVENA ZAŠTITA

Danas se smatra da će nuklearno oružje biti glavno u eventualnom budućem ratu. Ono će mu dati sasvim novo obeležje i dominantno uticati na njegovo vođenje. Ovakav uticaj može imati s obzirom na svoje ogromno razorno dejstvo i mogućan domet. Predmet napada nuklearnim oružjem biće ne samo oružane snage već i svi objekti koji utiču ili mogu uticati na obrambenu snagu zemlje, kao, na primer, veći gradovi i naselja, administrativni, industrijski i saobraćajni centri i dr. Posledica toga bila bi ogromna materijalna razaranja i ogromne ljudske žrtve u ubijenim, ranjenim i obolelim.

Velika razaranja, radiološka, ali i hemijska i biološka kontaminacija zemljišta, vode i hrane, dovešće do opšteg pogoršanja životnih uslova stanovništva. Deficitarnost ishrane, kao posledica oskudice u hrani, nedostatak higijenski isprane vode, teške smještajne prilike, nesprovođenje mera lične higijene, fizička i psihička iscrpenost i drugo pružaće uslove za razbuktavanje endemskih žarišta zaraznih bolesti (pegavca i dr.) i za masovnu pojavu crevnih zaraza, vašljivosti, kožnih gnojnih oboljenja, šuge i dr.

Velike migracije stanovništva stvaraće povoljne uslove za prenošenje epidemija zaraznih bolesti među civilnim stanovništvom i vojskom.

Pored nuklearnog oružja, gubitke u ljudstvu prozrokovaće i konvencionalno naoružanje, hemijska i biološka borbena sredstva, što će dovesti do značajnog

povećanja ljudskih žrtava u odnosu na sve dosadašnje ratove.

Sve to postavlja pred zemlju u najoštrijoj formi problem zaštite žive sile i ljudskih rezervi, jer iako svaki od četiri osnovna faktora rata — čovek, materijalna sredstva, prostor i vreme — pod određenim uslovima može biti odlučujući za ishod rata, ipak ljudi ostaju osnovni i najvažniji faktor za izvojevanje pobeđe. Prvenstveno od čoveka i njegovih kvaliteta — hrabrosti, veštine, znanja, morala, snalažljivosti, odlučnosti, izdržljivosti i otpornosti — zavisi da li će rat biti dobijen ili izgubljen. Zato će protivnik u eventualnom ratu težiti, pre svega, uništenju žive sile, ljudskih rezervi, i to prvenstveno baš one sile koja vodi borbu i radi za ratne potrebe.

I pored povećanog uvođenja tehnike u oružane snage, problem zaštite ljudstva i ljudskih rezervi ostaje jedan od osnovnih u eventualnom ratu usled stalnog porasta gubitaka, sve većeg angažovanja ljudi u ratu, porasta brojnog stanja armija, sve većeg angažovanja ljudi u proizvodnji za potrebe vođenja rata i dr.

Iako je dejstvo nuklearnog oružja vrlo snažno, ipak dosadašnji razvoj tehnike omogućava da se postigne izvestan stepen zaštite (skloništa, ukopavanje, a za zaštitu od radioaktivne prašine boravak u zatvorenim prostorijama, korišćenje zaštitne maske, pokrivanje zaštitnim ogrtačima i dr.). Na smanjivanje gubitaka ljudstva utiće i raseljavanje većih naselja. U toku su ispitivanja materije koje bi, unete u organizam pre ili neposredno po ozračenju, smanjile štetni uticaj ozračenja na organizam.

Uloga zdravstvene službe i u dosadašnjim ratovima bila je odlučujuća u rešavanju pitanja ljudskih rezervi. Dovoljno je posetiti se da je u drugom svetskom ratu sanitetska služba oružanih snaga uspela da vrati u stroj oko 75% svih ranjenika i znatno veći procenat bolesnika,

da je dobar deo ranjenika i bolesnika nesposobnih za službu u oružanim snagama bio osposobljen za privredu, a da je svega oko 40% svih ranjenika koji su stigli u sanitetske ustanove umrlo. Ako se ima u vidu da je broj ranjenika i bolesnika u armijama pojedinih zemalja iznosio i po više miliona, može se uočiti doprinos zdravstvene službe rešavanju problema ljudskih rezervi. U nuklearno-hemijsko-biološkom ratu, s obzirom na to da se očekuje znatno veći broj ranjenika i bolesnika, uloga zdravstvene službe u pogledu rešavanja problema ljudskih rezervi još više će porasti.

Sem toga, prisustvo zdravstvene službe, odnosno njenih organa na svakom delu nacionalne teritorije, stalna brigada o ranjenicima i bolesnicima, u pogledu i lečenja i njihove fizičke zaštite, znatno će uticati i na očuvanje i podizanje morala kod stanovništva i vojnika, što još više ističe tu službu kao važnog činioca pobeđe.

S obzirom na to da u sprovođenju mera zdravstvene zaštite u ratu, sem zdravstvenih, učestvuju i druge društvene organizacije, neophodno je da se i ostalo ljudstvo upozna sa ulogom, zadacima, glavnim problemima i osnovnom organizacijom rada te službe u ratu. Ovo je potrebno zbog toga da bi se, shvatajući ulogu i zadatke zdravstvene zaštite i upoznavajući njene najvažnije probleme i organizaciju rada, lakše rešavali problemi zdravstvene zaštite, lakše sprovele medicinske i druge mere za otklanjanje posledica nuklearnog rata.

Ako se u proučavanju fizionomije eventualnog budućeg rata počne od činjenice da će biti upotrebljena nuklearna i termonuklearna sredstva, nema nikakvog razloga sumnji da će pored njih biti upotrebljena i hemijska i biološka. Ovo tim pre što su ona isto tako sredstva za masovno uništavanje, mnogo su jeftinija od nuklearnih, jednostavnije se proizvode i primenjuju itd.

Pošto su u ranijim poglavljima izneti osnovni efekti dejstva nuklearne eksplozije, ovde će se ukratko opisati

hemijska i biološka borbena sredstva, kako bi se bolje shvatili problemi veličine i vrste gubitaka ljudstva. Pri tome je, pored gubitaka ljudstva koje nuklearno-hemij-sko-biološka sredstva prouzrokuju neposrednim dejstvom, potrebno pomenuti i gubitke koji nastaju posredno, usled psiholoških dejstava, kao i uopšte usled trajnog psihološkog rata, iznurenosti i dr. — a javljaju se kao psihijatrijski gubici.

### *Hemijska borbena sredstva*

Hemijska borbena sredstva (bojni otrovi) su toksičke materije koje mogu da zatruju i kontaminiraju ljude, životinje, materijalna sredstva, zemljište i objekte na njemu. Na taj način ona mogu kod nezaštićenog ljudstva izazvati povrede ili smrt, a zemljište, materijalna sredstva i objekte učiniti neupotrebljivim ili ograničeno upotrebljivim. S obzirom na to što je proizvodnja bojnih otrova jeftina i relativno jednostavna, mogu ih proizvoditi gotovo sve zemlje — što nije slučaj, na primer, sa nuklearnim oružjem.

Dejstvo bojnih otrova na ljude zavisi od koncentracije bojnih otrova u vazduhu ( $\text{g/m}^3$ ) i vremena u kojem je čovek bio izložen tom dejstvu. Bojni otrovi se dele na: dugotrajne koji se dugo zadržavaju na zemljištu (nekoliko časova do nekoliko dana) i za sve to vreme zadržavaju otrovne osobine, i kratkotrajne koji se zadržavaju na zemljištu u efikasnoj koncentraciji samo kratko vreme posle primene (nekoliko minuta).

Posle drugog svetskog rata mnogo se napredovalo u razvoju hemijskih borbenih sredstava. Savremeni bojni otrovi, naročito *nervni* (sarin, tabun i soman) izvanredno su efikasni, jer se odlikuju velikom toksičnošću. Danas sve velike sile raspoložu krupnim količinama ovog oružja svih vrsta, a intenzivno se radi na pronalaženju



novih i još toksičnijih hemijskih borbenih sredstava. Prema podacima iz vojne štampe, stvoreni su novi bojni otrovi koji su znatno toksičniji od poznatih nervnih (oko 100 puta) i označavaju se kao VX-otrovi. Sem toga, znatno su poboljšane postojanost u čuvanju i upotrebi, kožno-resorptivna toksičnost i dr.

Intenzivno se radi i na proizvodnji nove vrste bojnih otrova, tzv. *psihohemijskih*, koji imaju osobinu da privremeno onesposobe živu silu. Ovi bojni otrovi uspavljaju ljude, deluju na uništavanje čovekove volje za otporom, izazivaju halucinacije, strah, depresiju i dr. U ove materijale ulaze i gasovi koji prouzrokuju privremenu sljepoću bez trajnih posledica ili paralizu mišića i dr.

U bojne otrove, pored nervnih i psihohemijskih, spadaju: plikavci (iperit, azotni iperit i luizit), zagušljivci (fozgen i difozgen), opšti (hlor-cijan, arsenovodik), nadražljivci (kijavci i suzavci — adamsit i hlor-acetofenon), zapaljiva sredstva i dimne materije.

Savremena zaštitna maska potpuno štiti od para i magla bojnih otrova svih vrsta, uključujući nervne i VX, pod uslovom da je blagovremeno i pravilno stavljena. Zaštitna odela štite kožu od kontaminacije tečnim otrovima ili u vidu pare. Sem toga, za sve poznate bojne otrove postoje i efikasni antidoti koji su delotvorni pod uslovom da se pravovremeno upotrebe.

Razne vrste bojnih otrova u vazduhu, vodi, namirnicama, zemljištu itd. otkrivaju se i dokazuju (detekcija i identifikacija) specijalnim tehničkim sredstvima.

Primena hemijskih borbenih sredstava u eventualnom ratu postavila bi pred zdravstvenu službu nove i teške zadatke, jer treba računati na velike gubitke ljudstva. Zadatak je te službe da zbrinjavanje organizuje tako da pružanje pomoći povređenim od bojnih otrova otpočne što pre i da traje kontinuirano do izlečenja. I kod bojnih otrova, prva pomoć pruža se prvenstveno u

vidu samopomoći i uzajamne pomoći, a ekipe prve pomoći nastavljaju sa započetim lečenjem. Od neobične je važnosti da se počev od lične opreme pa nadalje obezbede potrebna materijalna sredstva (sirete atropina i dr.).

Dijagnoza trovanja bojnim otrovima postavlja se na temelju karakterističnih znakova (simptoma) trovanja.

Prva pomoć kod bojnih otrova sastoji se u stavljanju zaštitne maske odmah posle prvih znakova trovanja i davanju injekcija antidota koje treba ponoviti ako znaci trovanja ne iščeznu. Kod prestanka disanja, prvo treba primeniti veštačko disanje, a tek po uspostavljanju disanja dati atropin. U slučaju kontaminacije obavlja se dekontaminacija.

### *Biološka borbena sredstva*

Biološko borbeno dejstvo je namerno rasturanje bioloških borbenih sredstava radi uništenja ili onesposobljavanja žive sile, životinja i biljnih kultura.

Biološka borbena sredstva čine patogeni mikroorganizmi (bakterije, rikcije, virusi, gljivice i protozoe) i njihovi produkti — toksini. Ovi agensi predstavljaju u ratu veliku opasnost s obzirom na to da je njihova proizvodnja jeftinija, da ne zahteva nikakav specijalan materijal i specijalne uslove, a ustanove za proizvodnju mogu se lako premeštati, maskirati i dr.

Na biološkim borbenim sredstvima radilo se pre i u toku drugog svetskog rata, a danas se radi još intenzivnije.

Biološka borbena sredstva izazivaju kod ljudi i životinja oboljenja, najčešće zarazna, koja mogu da se prošire u epidemijskim razmerama. Opasnost od epidemija raznih bolesti najbolje ilustruje velika epidemija gripa na kraju prvog svetskog rata koja je u teškim ratnim i posleratnim prilikama prouzrokovala više smrtnih slučajeva nego sam rat.

Biološki napad može biti otvoren, tajan, strategijski i taktički.

Biološka borbena sredstva prenose se preko vazduha, vode, hrane ili različitih prenosioca, a mogu se upotrebiti rasprskavanjem iz aviona, balona, raketnih projektila, u vidu sitnih kapljica u vazduhu, veštačke magle i dr., kontaminiranjem vodnih objekata, životnih namirnica, zemljišta itd. Ulazna vrata mogu biti koža, organi za disanje i varenje. Najverovatnijim biološkim agensima smatraju se prouzrokovaci kuge, azijske kolere, trbušnog tifusa i paratifusa, pegavca, dizenterije, velikih boginja, žute groznice i dr.

Prednost upotrebe bioloških borbenih sredstava je u tome što deluju samo na živu silu, dok materijalna dobra ostaju neoštećena i napadač ih posle dekontaminacije može koristiti.

Primena tih sredstava više je verovatna u pozadini nego na frontu, pa bi i štetne posledice bile veće kod civilnog stanovništva nego kod oružanih snaga.

Važna osobina bioloških borbenih sredstava je što im se dejstvo ne ispoljava odmah, već se bolest javlja tek posle kraćeg ili dužeg vremena. Neki biološki ogensi otporni su na sve lekove, serume, vakcine i dezinfekciona sredstva.

Otkrivanje napada biološkim borbenim sredstvima, za razliku od radiološke i hemijske detekcije, i utvrđivanje uzročnika oboljenja spori su i komplikovani, što ukazuje na to koliko bi teškoća zdravstvena služba imala u otkrivanju napada biološkim borbenim sredstvima, a posebno u lečenju obolelih. Međutim, osnovni uslov za sprovođenje protivbiološke zaštite je baš blagovremeno otkrivanje biološkog napada i utvrđivanje pravog uzročnika oboljenja.

S obzirom na teškoće u otkrivanju i utvrđivanju bioloških agenasa (identifikaciji), najčešće će biološki napad biti otkriven posle pojave većeg broja oboljenja, pa će

se i specijalne mere protivbiološke zaštite najčešće primenjivati u okviru protivepidemijskih mera. Protivbiološka zaštita obuhvata aktivne i pasivne mere koje se sprovode neprekidno u miru i u ratu.

U aktivne mere protivbiološke zaštite spadaju: prikupljanje podataka o biološkim borbenim sredstvima kod neprijatelja; sprečavanje bioloških diverzija; blagovremena uzbuna pri sumnji da su upotrebljena ta sredstva; uništavanje neprijateljskih bioloških borbenih sredstava; biološka dekontaminacija dezinfekcijom i sterilizacijom i dr.

U pasivne mere protivbiološke zaštite spadaju: imunizacija stanovništva (vakcinacija); upotreba zaštitne maske i protivnuklearno-hemijsko-bioloških skloništa; davanje lekova koji sprečavaju pojavu oboljenja (hemoprofilaksa); pojačavanje sanitarno-profilaktičkih i protivepidemijskih mera; lečenje obolelih. Veći deo pasivnih mera protivbiološke zaštite organizuju i sprovode organi zdravstvene službe (vakcinacije, hemoprofilaska, lečenje i dr.), a u aktivnim merama zdravstvena služba aktivno učestvuje.

### *Psihijatrijski gubici*

Dejstva nuklearnih, hemijskih i bioloških borbenih sredstava, kontinuirani psihološki rat koji će ogresor voditi, velika psihička naprezanja, primena psihohemijskih bojnih otrova i teški uslovi žvota u ratu uopšte, svakako da će uticati na znatno povećavanje broja psihijatrijskih gubitaka u odnosu na dosadašnje ratove. Ratna opterećenja pri tome imaju važnu ulogu. Ona su neuporedivo veća nego mirnodopska, a najveće je — strah od smrti i ranjavanja. Stalan strah i ostala opterećenja (briga za sopstvenu budućnost, za porodicu, fizička iscrpenost, gladovanje, neizvesnost i dr.) postepeno slabe otporne

snage organizma i doprinose pojavi emocionalnog sloma, odnosno psihičkog šoka.

Broj psihijatrijskih gubitaka u eventualnom ratu zavisice i od mera predohrane. Među njima važno mesto zauzima mentalno-higijenska priprema stanovništva u miru. U mere predohrane spada i upoznavanje stanovništva i vojnika sa dejstvom nuklearnog i drugih oružja i merama zaštite. Na smanjivanje psihijatrijskih gubitaka utiču i moral i borba protiv straha. Moral kao najvažniji pokretač u ratu zavisi prvenstveno od svesti o ciljevima borbe. Ukoliko su ti ciljevi više u skladu sa etičkim principima, utoliko će moral biti snažniji.

Najvažnija mera u sprečavanju straha i panike (masovnog grupnog straha) je razvijanje borbenog morala kao lične i kolektivne volje za pobedom radi odbrane socijalističke domovine. Pored toga važni su: aktivnost i energičnost u suprotstavljanju opasnostima — ukoliko je čovek aktivniji — utoliko se brže i lakše oslobađa straha; upoznavanje sa manifestacijama straha — treba objasniti da je to normalna reakcija na opasnost, da osećati strah ne znači biti kukavica, ali i da postoji mogućnost da se sopstveni strah kontroliše i suzbije i dr.

I pored mera predohrane, naročito posle nuklearnih udara, može se očekivati znatan broj psihički šokiranih. Njihove psihičke reakcije mogu se ispoljiti na razne načine: u vidu zbunjenosti i zaplašenosti, nepomičnosti i sl. Treba znati da je u takvim slučajevima najvažnije ohrabrenje, upućivanje na bilo kakvu aktivnost, i da će u najvećem broju slučajeva to biti dovoljno da se psihički šokirani, za relativno kratko vrijeme, prilagode novonastaloj situaciji i nastave rad na svojim funkcionalnim dužnostima, a samo mali broj će zahtevati upućivanje u zdravstvene ustanove radi lečenja. Nuklearni rat, dakle, zahteva da se ljudstvo obuči i u pružanju osnovne psihološke pomoći onima koji ispolje psihički šok.

Prilikom tretiranja psihijatrijskih slučajeva izbegava se bolnička atmosfera, ako nije neophodna, tj. u bolničke

psihijatrijske ustanove upućuju se samo teži slučajevi. Zbog mogućnosti negativnog uticaja na druga lica, psihijatrijski slučajevi se izdvajaju od ostalih bolesnika i ranjenika.

### *Organizovanje zdravstvene službe*

Kao što je već naglašeno, posledice upotrebe nuklearnih i drugih borbenih sredstava za masovno uništavanje ljudstva bile bi za zdravstvenu službu izuzetno teške. One bi se očitovala, pre svega, u ogromnom broju ranjenika i bolesnika koji se često pojavljuju iznenadno, trenutno i jednovremeno na raznim delovima zemlje; izmeni strukture sanitetskih gubitaka: znatno veći broj opekotina nego u dosadašnjim ratovima; veći broj udruženih povreda («miksti»): ranjeni i ujedno opečeni, ranjeni i ozračeni, ranjeni-opečeni i kontaminirani, ranjeni-opečeni i zatrovani bojnim otrovima, i dr.; nove vrste oboljenja: ozračeni, kontaminirani, zatrovani bojnim otrovima; veći broj psihijatrijskih oboljenja; itd.; zatim u većoj neravnomernosti u prilivu ranjenika i bolesnika, za razliku od dosadašnjih ratova kad je taj priliv bio manje-više ravnomeran; u izloženosti uništenju, oštećenju i kontaminaciji ustanova zdravstvene službe, ranjenika i bolesnika, što će još više otežati sprovođenje mera zdravstvene zaštite; i konačno u većoj smrtnosti ranjenika i bolesnika u dužem trajanju lečenja — zbog nemogućnosti da se blagovremeno pruži medicinska pomoć i evakušu svi ranjenici i bolesnici, zbog porasta broja teških povreda i znatnog porasta broja udruženih povreda.

Zbog povećane ubitačnosti savremenih borbenih sredstava u eventualnom budućem ratu verovatno će i broj poginulih na bojnom polju i među civilnim stanovništvom u odnosu na broj ranjenih biti veći nego u drugom svetском ratu.

S obzirom na to da će borbena dejstva u savremenom ratu imati pretežno manevarski i vrlo dinamičan karakter, da pojedine delove nacionalne teritorije može privremeno zaposesti neprijatelj, da će veći gradovi i

naselja biti rentabilni ciljevi neprijateljevih nuklearnih i drugih udara — neophodno je da zdravstvene ustanove celokupan rad prilagode zahtevima vojne situacije. Uspeh delatnosti zdravstvene službe u ratu u najvećoj meri zavisi od toga koliko se prilagodila stvarnim uslovima.

Da bi i uz ogroman nesklad između potreba i mogućnosti mogla što uspešnije rešavati svoje zadatke, zdravstvena služba mora prilagoditi konkretnim uslovima ne samo svoju organizaciju već i kriterije medicinske trijaže, način lečenja ranjenika i bolesnika, način sprovođenja preventivno-medicinskih mera, sistem sanitetske evakuacije, a isto tako organizaciju snabdevanja sanitetskim materijalom, sanitetsku opremu, obuku kadrova i dr.

Pored toga što bi u eventualnom ratu zdravstvena služba radila u vrlo teškim uslovima, potrebe bi u znatnoj meri premašile mogućnosti snaga i sredstava kojima ona raspolaže. Zato je neophodno da se rad te službe u ratu sprovodi po određenim načelima koja će omogućiti da se nesklad i teškoće bar ublaže kad se ne mogu potpuno otkloniti, i da se raspoloživim snagama i sredstvima postigne maksimalno mogući efekat i u najtežim situacijama.

Da bi se to postiglo, zdravstvena služba mora još u miru da izvrši neophodne organizacione i druge pripreme, kako bi u ratu brzo i uspešno prilagodila svoju organizaciju i način rada novonastalim uslovima. U tim priprema valja imati u vidu da će postojati ogromna disproporcija između zadataka i mogućnosti zdravstvene službe; da će sve zdravstvene ustanove, ranjenici i bolesnici na frontu i u pozadini biti ugroženi (neposredno ili od nuklearnih i drugih udara), što će zahtevati često premeštanje ustanova, odnosno evakuacije ranjenika i bolesnika na razne strane; da će karakter rata zahtevati da se izvesne teritorije (teritorijalne jedinice) što više osamostale u pogledu zbrinjavanja ranjenika i bolesnika, s jedne, a da se istovremeno mora obezbediti mogućnost za brzu koncentraciju, po potrebi, snaga i sredstava sa više teritorija u jednu, s druge strane, jer će taj manevar biti neophodan kod trenutne pojave velikog broja

ranjenika i bolesnika; da zdravstvena služba u izvršavanju svojih zadataka može računati na podršku celokupnog naroda.

Za uspešno rešavanje zadataka zdravstvena služba u nuklearno-hemijsko-biološkom ratu mora imati sledeće osobine: da joj je organizacija jednostavna i elastična; da su njene ustanove pokretljive, deljive i prisutne na svakom mestu; da je sposobna da se sama zaštiti.

*Jednostavnost* se može obezbediti, pre svega polivalentnošću zdravstvenih ustanova, tj. da jednovremeno mogu pružiti medicinsku pomoć raznim vrstama i kategorijama ranjenika i bolesnika, da deo ranjenika i bolesnika mogu zadržati na lečenju, da mogu potpuno dekontaminirati kontaminirane ranjenike i bolesnike; i da su mogućnosti njihove upotrebe što raznovrsnije. Poželjno je da celokupna organizacija počiva na što manjem broju profila (tipova) zdravstvenih ustanova.

*Elastičnost* se ogleda u sposobnosti zdravstvene ustanove da brzo menja delokrug rada, odnosno svoju funkciju, i da radi van naseljenih mesta i u najtežim poljskim uslovima.

Česta neophodnost da se interveniše na mestu masovnih gubitaka zahteva da zdravstvene ustanove budu tako organizovane i opremljene, da mogu uvek iz svog sastava izdvojiti jedan deo koji bi se brzo uputio tamo gde je potrebno.

*Prisutnost na svakom mestu* podrazumeva takvu organizaciju zdravstvene službe da su snage i sredstva raspoređeni na celoj teritoriji, makar i u najelementarnijem vidu. Prisutnost organa zdravstvene službe na svakom mestu, pored prednosti koju ova dekoncentracija pruža u pogledu zaštite kadrova i materijalnih sredstava od uništenja, ima i veliki moralni efekat — stvara kod ljudi sigurnost da će u slučaju ranjavanja ili razboljavanja imati u blizini zdravstveno lice, makar to bio i vrlo skromno opremljeni bolničar.

Prisutnost na svakom mestu ne sprečava da se u nekim situacijama grupišu jače snage i sredstva na iz-



vesnoj užoj teritoriji za rešavanje zadatka, na primer, kod masovnih gubitaka posle nuklearnih i drugih napada na veće gradove i naselja, i sl.

Pravo zaštite uživaju, na osnovu Ženevskih konvencija, zdravstvene ustanove kao i ranjenici i bolesnici ukoliko su obeleženi vidljivim znakom Crvenog krsta. Međutim, i pored toga, postoji mogućnost da zdravstvene ustanove, ranjenike i bolesnike iz bilo kog razloga ugrozi neprijatelj. Zbog toga, zaštita zdravstvenih ustanova, ranjenika i bolesnika ima poseban značaj, naročito kada se nalaze na privremeno zaposlenoj teritoriji.

Zdravstvene ustanove štite se, pored ostalog, razmeštajem po rejonima koji su manje ugroženi neprijateljskim dejstvima, razmeštajem u blizini jedinica, maskiranjem, premeštanjem iz ugroženih rejona u manje ugrožene, sprovođenjem mera neposredne zaštite vlastitim snagama i sredstvima (osmatračima, stražama, izradom rovova i zaklona) i drugim merama.

Zdravstvene ustanove na teritoriji koju je privremeno zaposeo neprijatelj mogu da rade na konspirativan način, a posebno one koje primaju na zbrinjavanje i ranjenike i bolesnike iz oružanih snaga.

Izvršenje zadataka zdravstvene službe u ratu (zaštita i unapređivanje fizičkog i psihičkog zdravlja stanovništva i pripadnika oružanih snaga da bi se maksimalno ograničilo razboljevanje ljudstva i lečenje velikog broja ranjenika i bolesnika) najbolje se postiže objedinjenim delovanjem i najracionalnijim korišćenjem svih zdravstvenih snaga i sredstava zemlje. Ovo funkcionalno objedinjavanje i delovanje zdravstvenih snaga i sredstava u ratu predstavlja sadržaj *integrisane zdravstvene službe*, pri čemu civilna i sanitetska služba oružanih snaga zadržavaju svoju specifičnu organizaciju i izvršavaju svoje određene, specifične zadatke.

Sem toga, *organizacija i metodi rada* zdravstvene službe u ratu moraju se bitno razlikovati od onih koji se koriste u miru, pa i od onih koji su se koristili u drugom svetskom ratu. Zbrinjavanje ogromnog broja ranjenika i bolesnika koji se pojavljuju u kratkom vremenskom

periodu moguće je samo novom organizacijom i novim metodama rada zdravstvene službe.

Zdravstvene snage i sredstva u našoj zemlji obuhvaćeni su u: civilnoj zdravstvenoj službi; sanitetskoj službi oružanih snaga i određenim društvenim organizacijama u čiju delatnost spadaju neka pitanja iz oblasti zdravstvene zaštite. Među ovim posljednjim najvažnije su organizacije Jugoslovenskog crvenog krsta.

Organizacija integrisane zdravstvene zaštite u ratu je sledeća:

*Civilna zdravstvena služba* organizuje se tako da svojim ustanovama pokrije svu teritoriju zemlje. Ona je u punom smislu reči teritorijalna i ima najvažniju ulogu u zdravstvenoj zaštiti stanovništva. Za izvršenje svojih zadataka u ratu raspolaže određenim brojem i odgovarajućim vrstama zdravstvenih ustanova koje mogu biti stalne i privremene.

Stalne zdravstvene ustanove jesu:

*ambulantno-polikliničke*, u koje spadaju *zdravstvene stanice* i *domovi zdravlja*; njihov je zadatak da sprovede ambulantno-polikliničku službu na svojoj teritoriji, a, po potrebi, obrazuju bolnički stacionar; ambulantno-polikliničke ustanove organizuju se načelno na bazi mirnodopskih zdravstvenih ustanova, a ponekad mogu da raspolažu i lekarima specijalistima (za unutrašnje bolesti, dečje bolesti i sl.); u nedostatku preventivnih medicinskih ustanova na teritoriji koju pokrivaju, ambulantno-polikliničke ustanove preuzimaju na sebe i određene zadatke preventivno-medicinske zaštite, kao, na primer, vakcinaciju, dezinfekciju itd.

*bolničke* koje obuhvataju *opšte* i *specijalizovane bolnice*; one sprovede bolničko lečenje ranjenika i bolesnika; opšta bolnica postaje specijalizovana ako joj se dodele odgovarajuće specijalističke ekipe kao, na primer, za opekotine, grudnu hirurgiju, zarazne bolesti, internu dekontaminaciju, za lečenje radijacione bolesti itd.; kapacitet bolnica je različit, zavisno od broja stanovništva koje je dodeljeno za zbrinjavanje i od mogućnosti zdrav-

stvene službe u pogledu kadrova, materijalnih sredstava itd.; da bi se očuvala potrebna pokretljivost, naročito u rejonima koji su neposredno ugroženi od neprijateljskih dejstava, kapacitet bolnica se ograničava;

*preventivno-medicinske* koje izvršavaju preventivno-medicinske, odnosno higijensko-profilaktičke i protiv-epidemijske i druge preventivno-medicinske zadatke na određenoj teritoriji; sastavljene su načelno od pokretnih ekipa osposobljenih za samostalan rad na terenu (ekipe za radiološku zaštitu, bakteriološko-epidemiološka ekipa i dr.);

*za transfuziju krvi*, koje se obrazuju kao sastavni deo bolničkih ustanova (kabineti za transfuziju krvi) ili kao samostalne ustanove (stanice i zavodi za transfuziju krvi);

*za snabdevanje sanitetskim materijalom* — apoteke, apoteke-skladišta, sanitetska skladišta; snabdevanju sanitetskim materijalom određene zdravstvene ustanove na određenoj teritoriji i učestvuju u proizvodnji i regenerisanju ovih sredstava;

*za psihičku i somatsku rehabilitaciju*; primaju na lečenje samo teže slučajeve;

*za obuku kadrova* — tečajevi za bolničare uz postojeće bolničke ustanove, škole za srednjomedicinski kadar, fakulteti.

Pored ostalih zdravstvenih ustanova, u slučaju pojave masovnih gubitaka na teritoriji obrazuju se i privremene zdravstvene ustanove u koje spadaju *stanice opšte medicinske pomoći i hirurške stanice*.

Ove ustanove formiraju se od snaga i sredstava stalnih zdravstvenih ustanova i posle izvršenja zadatka vraćaju se u sastav svojih matičnih ustanova.

Za pronalaženje ranjenika, ukazivanje prve pomoći na licu mesta, izvlačenje i iznošenje ranjenika i bolesnika iz žarišta masovnih gubitaka koriste se *ekipe prve pomoći* sastavljene od građana i aktivista Jugoslovenskog crvenog krsta. Ekipe se obično sastoje od 6 lica — 2 priučena bolničara i 4 nosioca — koji imaju osnovna znanja

iz pružanja prve pomoći, izvlačenja i iznošenja ranjenika i bolesnika.

Ekipe prve pomoći angažiraju se načelno samo kad se pojavi veliki broj ranjenika i bolesnika, kada snage i sredstva zdravstvene službe nisu dovoljna, jer članovi ekipa prve pomoći normalno obavljaju svoje redovne dužnosti.

Broj ekipa prve pomoći predviđa se planom civilne odbrane (zaštite) društveno-političke zajednice, preduzeća, ustanove i sl., a prema lokalnim potrebama i mogućnostima. U konkretnim slučajevima njihov broj se određuje zavisno od broja ranjenika i bolesnika, od udaljenosti stanice opšte medicinske pomoći do koje se ranjenici i bolesnici moraju evakuirati, od raspoloživih sanitetskih i drugih transportnih sredstava za evakuaciju ranjenika i bolesnika i dr.

Ekipe prve pomoći sadejstvuju sa ekipama tehničke pomoći i spasilačkim u radu na oslobađanju zatrpanih iz ruševina.

*Prva medicinska pomoć* obuhvata: stavljanje prvog zavoja na ranu ili opekotinu, otklanjanje neposredne opasnosti od ugušenja, privremeno zaustavljanje krvavljenja, davanje specifičnih lekova protiv određenih oboljenja (na primer, atropina zatrovanim nervnim bojnim otrovima), privremena transportna imobilizacija, delimična dekontaminacija i druge mere čiji je cilj da otklone ili smanje neposrednu opasnost po život od krvavljenja, ugušenja, šoka i infekcije.

Posle prve pomoći ranjenici i bolesnici se upućuju u stanice opšte medicinske pomoći — ako im je takva pomoć potrebna a kućama ili na dužnost ako im daljnja medicinska pomoć nije potrebna.

Pošto će često izvlačiti i iznositi ranjenike i bolesnike sa kontaminirane teritorije, ekipe prve pomoći, pored opreme za pružanje prve pomoći i iznošenje ranjenika i bolesnika, moraju imati i sredstva lične zaštite (zaštitne maske, odela ili ogrtače, rukavice, čizme i dr.). Pri radu na kontaminiranoj teritoriji usklađuju svoj rad sa ekipama nuklearno-hemijsko-biološke zaštite.

Važan zadatak ekipa prve pomoći je da što hitnije iznose ranjenike i bolesnike iz kontaminiranog rejonu ili sa prostorije kako bi se sprečila njihova daljnja kontaminacija (radiološka, hemijska ili biološka). Pri tome članovi ekipe moraju voditi računa da se i sami ne zadržavaju na kontaminiranom zemljištu duže nego što je nužno i dozvoljeno.

*Stanice opšte medicinske pomoći* postavljaju se što bliže napadnutom mestu, na zemljištu koje nije kontaminirano i omogućava što brže dopremanje ranjenika i bolesnika iz žarišta masovnih gubitaka. U stanicama opšte medicinske pomoći rade lekari i ostalo medicinsko i drugo pomoćno osoblje i u njima se pruža opšta medicinska pomoć. Nepokretni ranjenici i bolesnici donose se u stanicu opšte medicinske pomoći na nosilima ili dovoze na transportnim sredstvima.

U *mere opšte medicinske pomoći* spadaju: opšta nega ranjenika i bolesnika, privremeno zaustavljanje krvavljenja sredstvima koja se ne mogu koristiti u okviru prve pomoći, mere reanimacije (oživljanja), davanje antibiotika radi sprečavanja infekcije, davanje lekova protiv bolova i za održavanje rada srca, davanje seruma i vakcina, održavanje prohodnosti puteva za disanje, imobilisanje preloma i teških opekotina ekstremiteta standardnim sredstvima, ispiranje želuca kod raznih trovanja, puštanje mokraće itd.

Stanice opšte medicinske pomoći smeštaju se u postojeće zdravstvene stanice ili u druge pogodne objekte koji se nalaze blizu žarišta masovnih gubitaka (školama, domovima kulture, menzama i sl.), ali i pod šatorima, u skloništima i sl.

Stanica opšte medicinske pomoći treba da ima dovoljno prostora za pravilan i nesmetan rad. Osnovne prostorije stanice su: za prihvatanje i medicinsku trijažu pristiglih ranjenika i bolesnika, za ukazivanje opšte medicinske pomoći (previjalište), mesto gde ranjenici i bolesnici čekaju na evakuaciju u hirurške stanice ili bolnice (evakuaciono odeljenje), mesta za smeštaj zaraznih, psihotraumatizovanih i kontaminiranih.

Ranjenici kojima je potrebna hirurška ili neka druga specijalistička pomoć, sa stanice opšte medicinske pomoći upućuju se ili u *hirurške stanice*, za tu svrhu posebno razvijene blizu žarišta masovnih gubitaka, ili u druge najbliže *stalne bolnice*.

Specijalistička pomoć obuhvata sve medicinske mere koje ne obuhvataju prva i opšta medicinska pomoć.

*Sanitetska služba oružanih snaga* predstavlja zdravstvene snage i sredstva koja se nalaze u sastavu jedinica-ustanova oružanih snaga radi njihove zdravstvene zaštite.

Osnovni cilj sanitetske službe oružanih snaga je da sprovođenjem određenih medicinskih i drugih mera maksimalno ograniči ispadanje iz stroja ljudstva usled razboljevanja i povređivanja i da ranjene i obolele što brže izleči i vrati u stroj ili privredu. Za izvršavanje ovih zadataka sanitetska služba oružanih snaga raspolaže odgovarajućim sanitetskim jedinicama-ustanovama, ali se pri tome oslanja i na zdravstvene ustanove teritorijalne (civilne) zdravstvene službe.

Sanitetska služba oružanih snaga zadržava na lečenju samo one ranjenike i bolesnike koji se mogu izlečiti u relativno kratkom roku, dok se ostali ranjenici i bolesnici, čije će lečenje trajati duže, kao i oni koji će posle lečenja biti nesposobni za službu u oružanim snagama, posle primljene potrebne medicinske pomoći u sanitetskim ustanovama oružanih snaga, evakuišu u ustanove zdravstvene službe na daljnje lečenje. Na taj način jedinice-ustanove sanitetske službe oružanih snaga postaju pokretljivije, sposobne da prate pokrete jedinica.

Međutim, i snage i sredstva sanitetske službe oružanih snaga angažuju se u zdravstvenoj zaštiti stanovništva, naročito u slučaju masovnih gubitaka — ako borbena situacija to dozvoljava.

*Koordinacija* igra važnu ulogu u planiranju upotrebe snaga i sredstava civilne zdravstvene službe za potrebe oružanih snaga kao i snaga i sredstava vojne sanitetske službe za potrebe stanovništva. Koordinacija se sprovodi

na svim nivoima državne uprave, odnosno komandovanja, i veoma je važan činilac za najracionalnije korišćenje zdravstvenih snaga i sredstava zemlje.

Nosilac koordinacije načelno je onaj organ koji je u određenoj situaciji nosilac glavnog tereta zdravstvene zaštite. U slučajevima nuklearnih, hemijskih, bioloških i drugih udara po gradovima i većim naseljima, nosilac koordinacije je organ civilne odbrane (zaštite), na operacijskim prostorijama to je organ sanitetske službe oružanih snaga, a u ostalim slučajevima organ civilne zdravstvene službe.

S obzirom na ogroman broj ranjenika i bolesnika koji se očekuju u eventualnom budućem ratu, na pomanjkanje zdravstvenih snaga i sredstava, teške uslove rada, probleme fizičke zaštite zdravstvenih ustanova, ranjenika i bolesnika itd., zdravstvena zaštita u ratu ne može se uspešno sprovoditi ako se u tome angažuju samo zdravstveni radnici. Važnost koju ta zaštita ima u održavanju borbenog morala naroda i armije, i uopšte u odbrani zemlje, nalaže da se na rešavanju zadataka zdravstvene zaštite angažuju ne samo zdravstveni radnici nego i svi drugi odgovorni organi samouprave i oružanih snaga. S obzirom na to da je zdravstvena zaštita, a naročito briga o ranjenicima i bolesnicima, kao što je izneto, i važno moralno političko pitanje, u izvršavanju zadataka moraju se angažovati posebno društvene i društveno-političke organizacije i udruženja (pored Jugoslovenskog crvenog krsta i stručnih organizacija zdravstvenih radnika, i SSRNJ, Narodna omladina, organizacija žena).

### *Neki osnovni principi u sprovođenju mera zdravstvene zaštite*

*Medicinska trijaža* je razvrstavanje ranjenika i bolesnika na grupe i kategorije prema određenim karakteristikama i sa određenim ciljem. Pri masovnoj pojavi ranjenika i bolesnika medicinska trijaža je najvažnija

organizaciona mera kojom se obezbeđuje red u njihovom zbrinjavanju i glavna je mera protiv haosa koji bi mogao nastupiti ako se ne sprovede pravilno.

Medicinska trijaža je neophodna zbog toga što pri pojavi velikog broja ranjenika i bolesnika nije moguće obezbediti tolike snage i sredstva zdravstvene službe da bi se svim ranjenicima i bolesnicima odmah pružila potrebna pomoć. To zahteva da određene vrste (kategorije) ranjenika i bolesnika imaju prednost u primanju medicinske pomoći, dok će druge morati da na nju čekaju. Prednost će se zasnivati na medicinskom stanju ranjenika i bolesnika (težina povrede ili oboljenja), ali će na nju uticati i operativna situacija.

Pri određivanju redosleda u pružanju medicinske pomoći polazi se od postavke da se najpre pruži onim ranjenicima i bolesnicima kojima je najpotrebnija. To znači, prvenstvo imaju oni čiji život ili sposobnost zavise od brze medicinske intervencije, ali se može i pozudano očekivati da će intervencijama za koje je potrebno manje vremena i sredstava biti postignuti dobri rezultati. Posle njihovog zbrinjavanja — pomoć će se pružati i ostalim ranjenicima i bolesnicima.

Sem toga, medicinska trijaža mora da obezbedi da svaki ranjenik i bolesnik dobije bar neophodni minimum medicinske pomoći u odgovarajuće vreme i na odgovarajućem mestu, sa težnjom da se održi u što boljem stanju do vremena kad će moći da mu se pruži puna potrebna medicinska pomoć.

Osnovni cilj ovih mera je da se raspoloživim snagama i sredstvima spase i osposobi što veći broj ranjenika i bolesnika i da se u slučaju pojave ogromnog broja ranjenika medicinska pomoć ne pruža prvo onim kod kojih hirurške intervencije traju vrlo dugo, zahtevaju veliki utrošak materijalnih sredstava i energije i čiji rezultat je vrlo sumljiv, već da se istim snagama i sredstvima i za isto utrošeno vreme spase život, a kad god je moguće i borbena, odnosno radna sposobnost, većeg broja ranjenika-bolesnika. Oni vrlo teški ranjenici i bolesnici kojima se ne može pružiti potrebna medicinska



pomoć, neguju se do sticanja povoljnih uslova za potpunu medicinsku pomoć.

Sem od težine povrede ili oboljenja, prognoze i dr., kriterijum medicinske trijaže uvek zavisi i od broja ranjenika i bolesnika, okolnosti u kojima se trijaža vrši, raspoloživih snaga i sredstava zdravstvene službe, uloge i mesta te zdravstvene ustanove (stanice opšte medicinske pomoći, hirurške stanice, bolnice raznih profila i dr.).

Jedan od prvih zadataka trijaže je odvajanje onih ranjenika i bolesnika koji su opasni po okolinu. Prema tome, pri dolasku u neku zdravstvenu ustanovu načelno se odmah dele na one koji su opasni za okolinu i na one ostale, a svi se dalje razvrstavaju prema karakteristikama (hitnosti u pružanju medicinske pomoći, hitnosti i pravcu dalje evakuacije itd.). Od ostalih se odvajaju svi oboleli od zaraznih bolesti, kontaminirani i psihotraumatizovani i izolovano se leče. Razne vrste zaraznih oboljenja (pegavac, dizenterija i dr.) i razne vrste kontaminacije (radiološka, hemijska ili biološka) posebno se izoluju i leče sve dok postoje mogućnosti međusobne kontaminacije ili zaraze. I pri evakuaciji načelno se evakuišu zasebnim transportom koji se posle upotrebe obavezno dezinfikuje, odnosno dekontaminira.

Pošto stignu u neku zdravstvenu ustanovu, ranjenici i bolesnici se trijažiraju i prema hitnosti i vrsti medicinske pomoći koja treba i može da im se u njoj pruži. Oni koji se dalje evakuišu trijažiraju se prema hitnosti i načinu evakuacije u sledeću zdravstvenu ustanovu.

Medicinska trijaža mora biti neprekidna, svrsishodna i elastična.

Neprekidnost trijaže sastoji se u tome što mora da otpočne već na mjestu pružanja prve pomoći i da se nastavlja u svim zdravstvenim ustanovama kroz koje ranjenici i bolesnici prolaze. Neprekidnost trijaže je neophodna zato što je nekom uvek potrebna hitnija pomoć nego drugom, a zadatak je trijaže da utvrdi kome najpre treba pružiti medicinsku pomoć.

Svrsishodnost trijaže sastoji se u usklađivanju kriterijuma i zadataka sa funkcijama određene zdravstvene

ustanove. Tako, na primer, znatno drukčije će se trijažirati u stanici opšte medicinske pomoći nego u nekoj hirurškoj ili zaraznoj bolnici.

Elastičnost trijaže treba da omogući prilagođavanje kriterijuma uslovima i zahtevima konkretne situacije. Kriterijumi trijaže u istoj zdravstvenoj ustanovi menjaju se zavisno od zadataka i uloge te ustanove, tj. zavise od broja pristiglih ranjenika i bolesnika, okolnosti pod kojima se trijaža vrši i dr.

S obzirom na važnost medicinske trijaže, kao i na to da će se ona vršiti svuda i neprekidno, važno je da se i lica van sastava zdravstvene službe upoznaju sa principima na kojima trijaža počiva i načinom na koji se sprovodi, jer će u eventualnom ratu i priučena lica morati često da vrše medicinsku trijažu.

Na mestu ranjavanja ili razboljevanja, na primer, u žarištu masovnih gubitaka, trijažu će vršiti i priučeni bolničari i nosioci ranjenika iz sastava ekipa prve pomoći. Oni će određivati red hitnosti kojim ih treba evakuisati, a često i da li neki ranjenik ili bolesnik, posle primljene prve pomoći, treba da se evakuše ili može da i sam učestvuje u otklanjanju štetnih posledica nuklearnih ili drugih udara. To zahteva da ova lica poznaju osnovne pojmove o ranjavanju, o najčešćim oboljenjima u ratu, a posebno o povredama od dejstva nuklearnih, hemijskih i bioloških borbenih sredstava.

U stanici opšte medicinske pomoći trijaža će imati šire zadatke. Ovde se ranjenici i bolesnici izdvajaju u nekoliko grupa: a) koji se posle primljene pomoći ili bez nje mogu vratiti na radno mesto, u jedinicu ili kući; b) kojima je neophodno ukazati medicinsku pomoć u stanici opšte medicinske pomoći; c) kojima je nužna medicinska pomoć, ali se ne mora pružiti u stanici; oni se mogu odmah evakuisati dalje; d) koji su opasni za okolinu (dalje se razvrstavaju prema hitnosti potrebne pomoći, odnosno evakuacije); e) najteže ranjenike i bolesnike kod kojih ima malo nade da će preživeti (morbundni, u agoniji).

Ranjenici i bolesnici kojima je potrebna pomoć i koji se dalje evakušu razvrstavaju se po redu hitnosti za pomoć, odnosno evakuaciju.

Ozračeni ili oni za koje se sumnja da su ozračeni, odmah se dele na dve grupe prema tome da li su kontaminirani ili ne. Ako su kontaminirani, dalje se razvrstavaju prema tome da li je u pitanju spoljašnja ili i unutrašnja kontaminacija. Oni koji su samo ozračeni dele se na četiri grupe prema stepenu ozračenosti, odnosno prema težini kliničke slike: ozračeni prvog stepena kojima nije potrebno nikakvo lečenje, ozračeni drugog stepena zadovoljiće se smeštajem na određeno mesto i pravilnom ishranom, ozračeni trećeg stepena moraju se energično lečiti kako bi se uklonile opasnosti infekcije i krvavljenja, a ozračeni četvrtog stepena se prema današnjem stanju medicinske nauke ne mogu izlečiti.

Svrstavanje ranjenika i bolesnika u određenu grupu, odnosno kategoriju, ne znači da stalno ostaju u istoj grupi (kategoriji). Zavisno od vremena kada se trijaža vrši, efikasnosti preduzetih medicinskih mera, izmene stanja ranjenika i bolesnika i sl., menjaće se, ponekad u relativno kratkom vremenu, i grupa (kategorija) u koju su svrstani. Tako, na primer, neki ranjenik čije stanje ne zahteva hitnu medicinsku pomoć, evakuisaće se iz stanice opšte medicinske pomoći među poslednjima, ali ako mu se stanje pogoršava i zahteva hitnu medicinsku pomoć koja mu se ne može pružiti u toj stanici, preći će u kategoriju koja se ranije evakuise.

*Lečenje.* U pogledu organizacije i načina lečenja već je izneto da kod masovnih gubitaka neće biti moguće svim ranjenicima i bolesnicima pružiti punu medicinsku pomoć, kako bi što veći broj ranjenika i bolesnika dobio makar i minimalnu medicinsku pomoć. Kad je broj ranjenika i bolesnika mali, a okolnosti za pružanje pomoći povoljne (kad je broj ranjenika i bolesnika koje treba zbrinuti u srazmeri sa raspoloživim snagama i sredstvima zdravstvene službe), medicinska pomoć se može proširiti do maksimuma.

Suženi obim medicinske pomoći sastoji se u pružanju prve pomoći (načelno u vidu samopomoći i uzajamne pomoći) svim ranjenicima i bolesnicima, opšte medicinske ili elementarne medicinske pomoći većini ranjenika i bolesnika i elementarne hirurške pomoći kojom se može spasti život velikog broja ranjenika.

Lečenje ozračenih usmereno je u tri pravca. Prvi je simptomatsko i supstituciono lečenje raspoloživim lekovima i borba protiv komplikacija (infekcija i krvavljenja). Drugi što bolja nega i što veća pažnja smeštajnim uslovima; i treći pravilna ishrana.

Od lekova se na prvom mestu nalaze antibiotici koji uklanjaju neposredni uzrok smrti (infekciju), a često su nezamenljivi u periodu manifestacije akutne radijacione bolesti. Antibiotici se daju u velikim dozama i menjaju se čim se posumnja u pojavu rezistentnih uzročnika infekcije. Kod samo ozračenih ne daju se profilaktički, a kod udruženih radijacionih povreda antibiotici čine sastavni deo hirurškog ili drugog specijalističkog lečenja. Takođe se daju derivati krvi i puna krv. Medicinska dokumentacija se vodi što potpunije i što brižljivije.

Nega bolesnika je veoma važan sastavni deo lečenja ozračenih pri masovnoj pojavi. Lična higijena, naročito usne duplje, mora se po svaku cenu održavati, pa makar i najjednostavnijim sredstvima. Često i najskromniji bolnički smeštaj može da spreči pojavu infekcije koja takođe ima masovni karakter i lako se širi među bolesnicima.

Ishrana ozračenih se rešava na krupnom planu, imajući u vidu sveukupan broj obolelih. Hrana treba da sadrži najmanje 3.500 kalorija i da je sastavljena uglavnom od proteina i uobičajene količine ugljenih hidrata, a vrlo malo masti. Hrani se po potrebi mogu dodavati vitamini. Jela se spremaju tako da mehanički i hemijski ne draže bolesnike.

Pri masovnoj pojavi ozračenih teško bi se moglo primeniti lečenje homolognom koštanom srži. Naprotiv, ako doza ozračenja nije poznata, ta srž može delovati veoma nepovoljno. Davanje koštane srži ne leči želudačno-crevnu kliničku formu akutne radijacione bolesti.

Pored već iznetih teškoća oko zbrinjavanja ranjenika i bolesnika od nuklearno-hemijsko-bioloških borbenih sredstava i neuropsihijatrijskih slučajeva, poseban problem za zdravstvenu službu predstavljale bi u eventualnom ratu udružene povrede i opekotine.

Važno je znati da udružene povrede karakteriše sindrom uzajamnog pogoršanja, tj. da pojedine povrede imaju nepovoljan međusobni odnos pa, prema tome, i nepovoljniji tok i prognozu. Tako, na primer, akutna radijaciona bolest i radijaciono oštećenje uopšte pogoršavaju tok i prognozu neke mehaničke ili toplotne povrede, i obratno, mehanička i toplotna povreda pogoršavaju tok i prognozu akutne radijacione bolesti. I smrtnost kod udruženih povreda znatno je veća nego kod samo ozračenih bolesti i samo ranjenih (opečenih).

Već u drugom svetskom ratu broj opečenih u gradovima kod civilnog stanovništva bio je velik, naročito u toku poslednje faze rata, kada se vazduhoplovstvo koristilo zapaljivim sredstvima kao najvažnijim oružjem protiv gradova. Tako je, na primer, samo u jednom napadu na Tokio zapaljena gusto naseljena zona od 15 kvadratnih milja.

Upotreba nuklearnog oružja dovodi do ogromnog povećavanja broja opečenih. Opekotine izazvane neposredno, tj. toplotnim dejstvom (bleskom) nuklearne eksplozije nazivaju se primarnim.

Pri napadu nuklearnim ili zapaljivim bombama na gusto naseljena mesta, problem opečenih biće glavni problem zdravstvene službe i tada opekotine mogu iznositi i 50% svih povređenih. Većina ovih opekotina nastaje kao posledica velikih požara koje će prouzrokovati nuklearna eksplozija. To su sekundarne opekotine.

Opekotine kao posledica neposrednog toplotnog dejstva nuklearne eksplozije biće velike kad je ljudstvo nezaštićeno, jer iako se opekotine kao posledica toplotnog dejstva nuklearne eksplozije pojavljuju na dosta velikom rastojanju od centra eksplozije, ipak zbog kratkoće trajanja toplotnog zračenja može biti efikasna i najmanja zaštita i na najkraće vreme. Može se reći da je od top-

lotnog dejstva nuklearne eksplozije zaštićena svaka osoba koja se nalazi u senci. I odeća pruža izvesnu zaštitu od toplotnog dejstva, a na stepen zaštite utiče i njena boja i kvalitet (vunena odeća bolje štiti od pamučne). Svetlo obojeni materijali pružaju bolju zaštitu od tamnijih.

Svetlosni efekat (blesak) nuklearne eksplozije može izazvati oštećenje vida do privremene slepoće. Efekat bleska na oko je znatno veći noću i ako je osoba, a naročito pogled, okrenut u pravcu eksplozije. Tada i na većoj udaljenosti može doći do težih povreda na očnom dnu.

Pored toga, opekotine su često udružene sa mehaničkim povredama, sa kontaminacijom i ozračenjem, pa se zbrinjavanje još više komplikuje.

Opekotine predstavljaju težak problem za zdravstvenu službu i zbog ogromnih potreba u sanitetskom materijalu (zavojni materijal, antibiotici, krv, plazma, zamenici plazme, fiziološki rastvor i dr.).

*Sanitetska evakuacija.* Pod time se podrazumeva prikupljanje i iznošenje ranjenika i bolesnika i njihovo prenošenje, odnosno prevoženje sa mesta ranjavanja (razboljevanja) do mesta ili ustanove gde im se mogu ukazati potrebna medicinska pomoć i nega. Sanitetska evakuacija se, po potrebi, vrši stalno i ima prednost u saobraćaju.

Sanitetska evakuacija je neophodna zbog toga što se na mestu ranjavanja (razboljevanja) najčešće ne može pružiti potpuna medicinska pomoć, a u jedinicama oružanih snaga zadržavanje ranjenika i bolesnika na bojištu ugrozila bi njihovu bezbednost i ograničilo manevarsku sposobnost trupa.

Pošto nanosi štetu ranjenicima i bolesnicima, svaka evakuacija (transportiranje) mora biti što brža i udobnija. Da bi se taj štetni uticaj što više otklonio, odnosno smanjio, treba ih za to medicinski pripremiti. Među najvažnije pripreme ranjenika i bolesnika za evakuaciju spadaju: imobilizacija preloma, davanje lekova protiv bolova, postavljanje ranjenika (bolesnika) u najpovoljniji položaj (ležeći, sedeći, potruške i sl.), pri hladnom vremenu utopljavanje i dr.

Kad god je neophodno i moguće, sa ranjenicima i bolesnicima koji se evakušu upućuju se i stručna lica kao pratnja, naročito kad se evakušu teški ranjenici i bolesnici i kada evakuacija dugo traje.

Cilj svih ovih je da ranjenici i bolesnici što bolje podnesu evakuaciju i u što boljem stanju stignu u ustanovu u kojoj će primiti medicinsku pomoć.

Za evakuaciju ranjenika i bolesnika koriste se prvenstveno sanitetska transportna sredstva, sanitetski automobili, ali će se često u nedostatku ovih koristiti bilo kakva druga transportna sredstva (kamioni, zaprežna vozila i dr.). Kad situacija to omogućava, za evakuaciju se koriste i avioni, helikopteri, vozovi, brodovi i dr. Ako se koriste nesanitetska transportna sredstva, treba uvek nastojati da se adaptiraju i opreme tako da evakuacija nanosi što manje štete ranjenicima i bolesnicima.

Zarazni i psihijatrijski bolesnici, kao i kontaminirani evakušu se odvojeno od ostalih.

### *Snabdevanje sanitetskim materijalom i drugom opremom*

Da li će zdravstvena služba izvršiti zadatke zavisi u velikoj meri i od materijalnih mogućnosti.

Snabdevanje sanitetskim materijalom u eventualnom ratu karakterisaće velike i neravnomerne potrebe; česta nestašica i osnovnog sanitetskog materijala; stalna opasnost od uništenja i kontaminacije sanitetskih snabdevačkih ustanova i rezervi materijala usled dejstva neprijatelja; otežan dotur do potrošača usled prekida puteva dotura i nedostatka transportnih sredstava i dr.

Za savlađivanje ovih teškoća preduzimaju se u miru i ratu odgovarajuće mere, među kojima su najvažnije: stvaranje rezervi sanitetskog materijala, naročito onog koji se najviše troši u ratu; takav razmeštaj sanitetsko-slabdevačkih ustanova i rezervi materijala da se što više zaštite od uništenja i kontaminacije (rastresiti raspored, smeštaj koji obezbeđuje zaštitu, maskiranje i dr.); korišćenje svih materijalnih mogućnosti teritorije; korišćenje

zamena za sanitetski materijal (lekovito bilje, improvizacije i dr.); neprekidno sprovođenje krajnje štednje; prilagođavanje organizacije sanitetskog snabdevanja stvarnoj situaciji; maksimalna i što šira tipizacija i unifikacija sanitetskog materijala za potrebe civilne zdravstvene službe i sanitetske službe oružanih snaga; sprovođenje dekontaminacije sanitetskog materijala; kontrola ispravnosti sanitetskog materijala; celishodna organizacija remonta i dr.

Izvori za snabdevanje sanitetskim materijalom u ratu su: mirnodopska materijalna baza (farmaceutska industrija, skladišta, apoteke i dr.); rezerve koje su pripremljene u miru; rezerve koje se nađu u mirnodopskim snabdevačkim i zdravstvenim ustanovama; nabavka iz mesnih izvora; ratni plen; izrada u mesnim ili posebno organizovanim radionicama; eventualno uvoz i pomoć od saveznika.

Pošto će postojati velika oskudica sanitetskog materijala, sve ljudstvo zdravstvene službe treba još u miru upućivati i privikavati na ekonomičnost i štednju u trošenju.

Sanitetska oprema koja se koristi u ratu treba da ima osobine koje odgovaraju ratnim potrebama, tj. da bude laka, što manjeg obima, jednostavna za upotrebu, otporna na mehaničke i druge uticaje, pogodna za transport, po mogućnosti unizerzalne upotrebe i da u pogledu proizvodnje odgovara ekonomici zemlje.

Uslovi upotrebe i velike potrebe u sanitetskom materijalu u ratu zahtevaju da se iz obilja sredstava koje pružaju nauka, tehnika i industrija izaberu samo neophodna i podesna za upotrebu ali u velikim količinama. Specifično je za opremanje zdravstvenih ustanova i za popunu ratnih sanitetskih materijalnih rezervi da će se na listi najpotrebnijih artikala nalaziti, uz tzv. mirnodopska, i sredstva koja su specifična samo za rat (na primer, lekovi protiv bojnih otrova, hemijski radio-protectors i dr.).

Zdravstvene ustanove treba da budu opremljene onim sredstvima koja obezbeđuju izvršavanje zadataka



ustanove. Sem toga, u sastavu zdravstvenih ustanova nalaze se i manje količine rezervi potrošnog materijala. Sve to obezbeđuje mogućnost samostalnog rada pojedinih zdravstvenih ustanova za određeno vreme i u slučaju prekida snabdevanja sanitetskim materijalom.

Za pružanje prve pomoći i sprovođenje određenih mera lične medicinske zaštite, od posebnog je značaja opremanje stanovništva ličnom sanitetskom opremom, kao i manjih grupa ljudstva priručnim apotekama (kućne, apoteke u preduzećima, vozilima i dr.).

### *Obuka*

S obzirom na to da se problem ogromnog broja ranjenika i bolesnika u eventualnom ratu ne može rešiti proporcionalnim povećanjem broja zdravstvenih kadrova, glavni izlaz za ublažavanje ove disproporcije predstavlja što masovnije angažovanje nesanitetskih lica u sprovođenju mera zdravstvene zaštite.

Cilj obuke ljudstva u zdravstvenoj zaštiti za potrebe rata je da se celokupno stanovništvo zemlje upozna sa mogućnostima i načinom zaštite od nuklearnih i drugih sredstava za masovno uništavanje i da se osposobi za pružanje prve medicinske pomoći.

Od najveće važnosti je obuka stanovništva u pružanju prve pomoći, jer će se u eventualnom ratu pretežno pružati u vidu samopomoći i uzajamne pomoći, najčešće na mestu ranjavanja i razboljevanja ili u neposrednoj blizini. Bolničari i nosioci ranjenika ukazivaće prvu pomoć prvenstveno težim ranjenicima i bolesnicima i, po potrebi, dopuniti prvu pomoć pruženu u vidu samopomoći i uzajamne pomoći. Zbog toga organizacija i pružanje prve pomoći (samopomoći i uzajamne pomoći) predstavlja ključni problem čitave zdravstvene službe. Gubici ljudstva biće znatno manji ako svaki odrasli građanin bude sposoban za pružanje samopomoći i uzajamne pomoći i obučen u primeni pasivnih mera zaštite (u izgradnji jednostavnih zaklona, načinu korišćenja i

ponašanja u skloništima, načinu čuvanja namirnica, vode, stočne hrane i dr. od kontaminacije radiološkim, hemijskim i biološkim borbenim sredstvima, u maskiranju i dr.).

Od zdravstvenog osoblja se zahteva da se osposobi za svoje funkcionalne dužnosti u ratu, tj. da se osposobi za one medicinske radnje koje su specifične za ratne potrebe i uslove. Tako se, na primer, zahteva da svi lekari ovladaju neophodnim znanjima iz male hirurgije (hirurške dijagnostike i operativne tehnike), iz zaštite od nuklearnih, hemijskih i bioloških borbenih sredstava i iz uklanjanja štetnih posledica po čovječiji organizam itd. Sve to, pak, zahteva da se još u miru u zdravstvenim ustanovama održavaju vežbe kako bi se celokupno osoblje osposobilo za rat. Pri tome će se bolji uspeh postići ako se vežbe održavaju pod raznim taktičkim pretpostavkama, kao što su, na primer, masovni rad: u ustanovi koja je neoštećena i sa punim ličnim sastavom, pri oštećenom vodovodu i dovodu električne energije, ili na otvorenom zemljištu, i sl.

Iz ovoga što je izloženo mogu se nazreti medicinski aspekti eventualnog budućeg nuklearno-hemijsko-biološkog rata u kojem će opasnosti po zdravlje i život ljudi biti neuporedivo veće nego ikad ranije.

Mesto i značaj zdravstvene službe u okviru svenarodne odbrane zemlje postavljaju pred nju bezuslovan zahtev da za takav rat bude spremna. S tim u vezi neophodno je da se još u miru preduzmu mere u pogledu obuke stanovništva i zdravstvenih kadrova, pripreme uređivanja državne teritorije u zdravstvenom smislu, sanitetskih materijalnih rezervi i dr., da bi se obezbedio brzi prelazak zdravstvene službe na rad u ratnim uslovima.

Uz pravilnu i blagovremenu pripremu u miru, prilagođavanjem svoje organizacije i rada konkretnim ratnim uslovima, pravilnom upotrebom snaga i sredstava, zdravstvena služba moći će, bar donekle, da ublaži ogromnu nesrazmeru između mogućnosti i potreba i da doprinese značajan udeo u odbrani zemlje.

## INSTRUMENTACIJA ZA POTREBE RADIOLOŠKE ZAŠTITE

Sve veće korišćenje nuklearne energije, prirodnih i veštačkih radioaktivnih elemenata dovelo je do razvoja metoda i aparatura koje omogućuju detekciju i merenje raznih vrsta zračenja.

Kontrole koje se koriste u radiološkoj zaštiti odnose se na sledeće grupe: kontrolu i merenje radijacionih polja; kontaminacije lica, odeće, mesta, atmosfere i vode, i kontrolu interne kontaminacije.

U tabeli 57 dat je pregled instrumenata domaće i strane proizvodnje koji se koriste u našoj zemlji. Instrumenti su, prema izradi, podeljeni na tri grupe: sa elektronskim cevima (osnovni deo bez napajanja); sa elektronskim cevima i tranzistorima; sa tranzistorima i ostalim poluprovodničkim elementima.

Iz tabele se vidi da veći deo instrumenata koji se sada koriste sadrži konstrukciju sa elektronskim cevima. Ti instrumenti razvijali su se pre 5 do 8 godina.

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

U našoj republici razvijen je u toku poslednje dve godine izvestan broj instrumenata u poluprovodničkoj tehnici, a u toku je izrada i ostalih za potrebe radiološke zaštite kako pri normalnim laboratorijskim uslovima tako i pri akcidentalnim i terenskim.

U daljem izlaganju iznete su osnovne karakteristike instrumenata domaće proizvodnje za potrebe radiološke zaštite. Pored instrumenata datih u tabeli, opisani su džepni dozimetri i školski GM-brojač.

| pregled instrumentacije za potrebe radiološke zaštite      |  |   |   |   |  |                               |
|--|--|---|---|---|--|-------------------------------|
| elektronske cevi   | kontrola radiacionih polja   |   | kontrola radioaktivne kontaminacije   |   | merenje uzoraka  | merenje interne kontaminacije |
|  | ionizacione komore   | impulsni detektori  | površina  | atmosfera (aerosoli)  |  |                               |
| pištolj dozimetar<br>- PD - 2<br>„Pionir“<br>- EKCO (Engl) | prenosni monitor<br>- PM - 4G<br>„Pionir“<br>prenosni radio-<br>loški detektor | monitor zračenja<br>- MZ - 1<br>(El. ind. Niš)<br>- IPAB<br>(Franc.)<br>- Airmec<br>(Engl.)<br>- EKCO<br>(Engl.)<br>i drugi                                 | aparatura za<br>kontinualnu kon-<br>trolu aerosola<br>- Frieske<br>Hoepfner<br>(Zap. Nem.)<br>- BABAR<br>EAR 620<br>(Franc.)<br>i drugi | merenje niskih<br>beta-aktivnosti<br>- „Philips“ (Hol.)<br>uredjaji za me-<br>renje uzoraka<br>- „Frieske Hoep-<br>fner (Zap. Nem.)<br>- „Nuclear Chi-<br>cago“ (Am.)<br>- „Tracerlab“<br>(Am.) i drugi | uređaj za me-<br>renje aktivnosti<br>celog tela<br>(IBK)   |                               |
| el. cevi i<br>tranzis.<br>tranzistori (poluprov.)          | pištolj dozimetar<br>- „Nuclear<br>Chicago“ SAD<br>- „Atomic Baird“<br>SAD     | lovac zračenja<br>- PLZ - 5G (IBK)*<br>alarmni uredjaji<br>- Logal - 10 (IBK)<br>- Logal - 20 (IBK)<br>prenosni radiološki<br>detektor<br>- RD-60/a „Iskra“ | monitor zračenja<br>- KOMO-T<br>(IBK)<br>- DSM (Franc.)   | aparatura za<br>kontinualnu<br>kontrolu<br>aerosola<br>- ACA-2<br>(IBK)   | merenje niskih<br>beta aktivnosti<br>- Lola - 3 (IBK)<br>modularna nuklear-<br>na elektronika<br>pojačavač<br>diferencijalni<br>analizator<br>skalier<br>tajmer<br>vremenska baza<br>merač brzine<br>brojanja<br>visoki na pon |                               |

\* (IBK — Institut »Boris Kidrič« Vinča)

## Džepni dozimetar i punjač

Džepni dozimetar sa kvarcnim elektrometrom namenjen za detekciju  $\gamma$  i X-zračenja, omogućava direktno očitovanje primljene doze nosioca. Posebna je prednost nad film-dozimetrom brzo merenje i tačno očitovanje primljene doze jonizujućeg zračenja u svakom momentu.

Za individualnu kontrolu zaštite od jonizujućeg zračenja najpogodniji je džepni dozimetar sa kvarcnim elektrometrom tip D-0,2 za opsege doze od 0 do 200 mr.



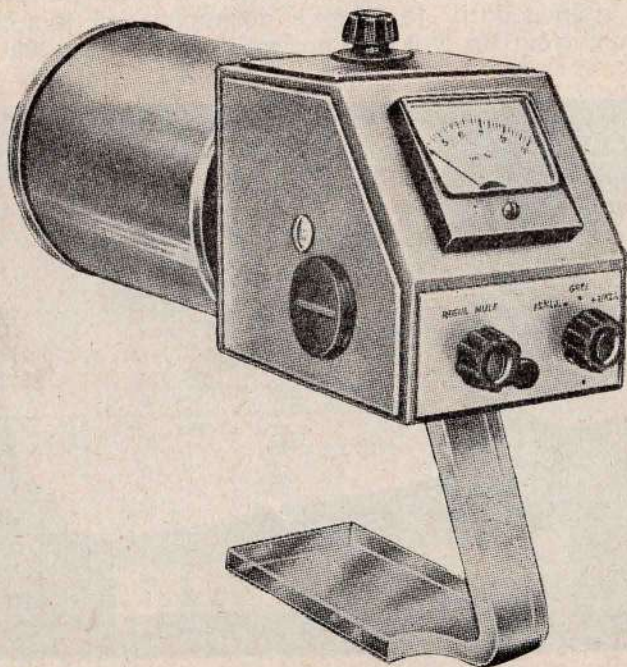
Sl. 90 — Džepni dozimetar i punjač

Za veće doze predviđeni su džepni dozimetri sa opsegom do 50 i 500 r. Aparat za punjenje dozimetra načinjen je kao posebna jedinica tako da služi za punjenje više dozimetara.

Proizvođač je Elektronska industrija Niš.

### Pištolj dozimetar PD-2

Pištolj dozimetar PD-2 je prenosni instrument sa jonizacionom komorom. Namenjen je za merenje radijacionih polja  $\gamma$  i X-zračenja i za detekciju  $\beta$ -zračenja. Najosetljiviji opseg omogućuje merenje na nivou dozvo-  
ljenih doza u jedinici vremena. Potrebni naponi dobijaju se pomoću tranzistorskog pretvarača.



Sl. 91 — Pištolj dozimetar PD-2

Tehničke karakteristike:

opseg merenja:

- 0 — 15 mr/čas
- 0 — 150 mr/čas
- 0 — 1,5 r/čas
- 0 — 15 r/čas

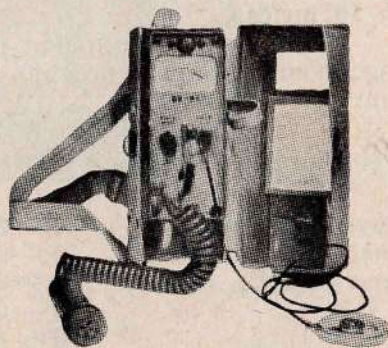
|                     |   |
|---------------------|---|
| pomeranje nule:     | manje od 2 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> pune skale u toku 1 časa rada  |
| tačnost:            | 10 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> od pune vrednosti skale  |
| jonizaciona komora: | cilindrična, zapremine 1,7 l, sa prednje strane folija 12 mg/cm <sup>2</sup> koja se može pokriti poklopcem od aluminija 300 mg/cm <sup>2</sup> |
| napajanje:          | baterija ili Ni-Cd akumulator 1,2 V   |
| težina:             | oko 1,5 kg  |
| dimenzije:          | 103 × 124 × 138 mm  |
| proizvođač:         | Elektronska industrija Niš  |

### *Radiološki detektor URD-500*

Univerzalni radiološki detektor namenjen je za detekciju  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -radioaktivnih zračenja u širokom opsegu intenziteta.

Osetljivost detektora na  $\alpha$  i  $\beta$ -zračenje može se isključiti pomoću pokretnog zaslona na sondi. Detektor je baždaren pomoću izotopa  $\text{Co}^{60}$ , a skala je data u jedinicama mr/h i r/h. Indikacija je optička pomoću mikroampermetra i akustična pomoću slušalica.

Merač je konstruisan tako da radi u širokom temperaturnom opsegu ( $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ ) i zaptiven je protiv ulaska vlage.



Sl. 92 — Radiološki detektor URD-500

Tehničke karakteristike:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| detektori:            | GM cev tipa 18504 sa prozorom debljine 2—3 mg/cm <sup>2</sup> za $\alpha$ , $\beta$ i $\gamma$ -zračenje manjih intenziteta; Neher-Whiteova jonizaciona komora za $\gamma$ -zračenje većih intenziteta |
| opsezi merenja:       | 0,05 do 500 mr/h<br>0,05 do 500 r/h<br>skala je logaritamska   |
| napajanje:            | 2 baterije od 1,5 V ili 2 NiCd-akumulatora   |
| greška pokazivanja:   | manja od 30% pod bilo kojim uslovima   |
| težina (bez torbice): | 1,7 kg   |
| proizvođač:           | »Rudi Čajavec« Banja Luka  |

*Prenosni monitor PM-4G*

Ovaj instrument sa ugrađenim halogenim brojačem tipa 18504 služi za otkrivanje i merenje radioaktivnih zračenja:  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , čiji intenzitet ne prelazi 20 000 imp/min, tj. 10 mr/čas.

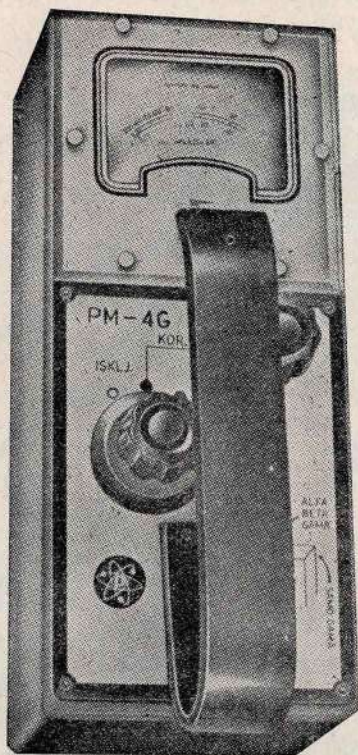
Monitor PM-4G ugrađen je u aluminijsku kutiju sa pogodnom drškom za nošenje. Konstrukcija štiti unutrašnje delove od vlage.

Tehničke karakteristike:

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| opseg merenja:             | 0 — 200 imp/min    |
| (skala u mr/h bažda-       | 0 — 2000 imp/min   |
| rena sa Co <sup>60</sup> ) | 0 — 20 000 imp/min |
|                            | 0 — 0,1 mr/h       |
|                            | 0 — 1 mr/h         |
|                            | 0 — 10 mr/h        |



integraciona konstanta: oko 6 sek  
radno temperaturno područje: —20° do + 50°C  
napajanje: 1 baterija ili Ni-Cd-akumulator

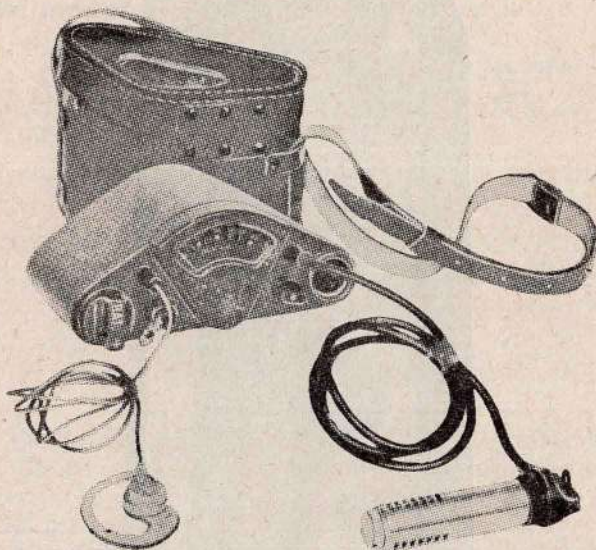


Sl. 93 — Prenosni monitor PM-4G

dimenzije: 70 × 90 × 215 mm  
težina: oko 1 kg  
proizvođač: Elektronska industrija Niš

## *Prenosni radiološki detektor RD-60/a*

Radiološki detektor se upotrebljava u laboratorijama za rad sa radioaktivnim izotopima za ustanovljavanje kontaminacije i određivanje intenziteta zračenja. Građen je u obliku foto-aparata i zaštićen je od vlage. Potpuno je tranzistorizovan.



*Sl. 94 — Prenosni radiološki detektor RD-60/a*

### Tehničke karakteristike:

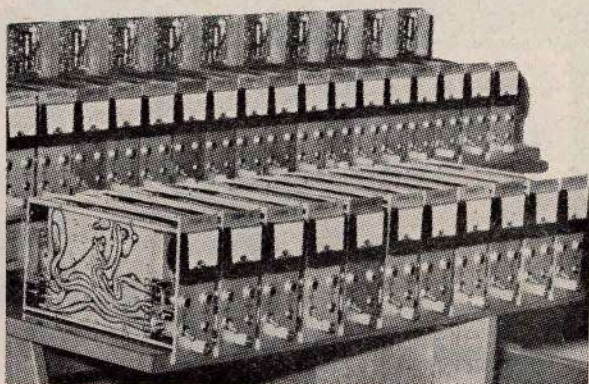
|                 |   |
|-----------------|---|
| detektor:       | halogeni GM-brojač tipa SBGH-1              |
| vrsta zračenja: | $\beta$ , $\gamma$                          |
| merno područje: | 0 do 120 mr/h baždareno sa $\text{Co}^{60}$ |

|                        |   |
|------------------------|---|
| vizuelna indikacija:   | instrument sa svetlećim ciframa i kazaljkom |
| akustična indikacija:  | minijaturna slušalica                       |
| temperaturno područje: | —20°C do + 40°C                             |
| napajanje:             | baterije 3 V                                |
| težina:                | oko 1,25 kg sa priborom                     |
| dimenzije:             | 160 × 90 × 66 mm                            |

### *Alarmni uređaj LOGAL-10*

LOGAL-10 je uređaj za kontrolu  $\gamma$ -zračenja. Sistem konstrukcije je takav da je pogodan za daljinsku kontrolu od 200 metara. Može da se upotrebljava svuda gde je potrebno da se dobije brza indikacija porasta intenziteta zračenja. Intenzitet zračenja pokazuje se na instrumentu sa logaritamskom skalom u tri dekade do 10 mr/čas (baždareno sa Co-60).

Pri konstrukciji LOGAL-10 vođeno je računa o tome da bude pogodan za eksploataciju, pa su njegove dimenzije male, mala je potrošnja električne energije i jednostavan je za rukovanje.



Sl. 95 — Alarmni uređaj LOGAL-10

Tehničke karakteristike:

|                |   |
|----------------|---|
| detektor:      | halogeni GM-brojač tipa 18504                   |
| opseg merenja: | 0,01 do 10 mr/čas (logaritamska skala)          |
| alarmna:       | prema potrebi unutar merenja opsega             |
| rastojanje:    | do 200 metara između detektora i mernog sistema |
| napajanje:     | 220 V, 50 Hz                                    |
| potrošnja:     | 12 W  |

### *Monitor zračenja MZ-1*

Monitor zračenja MZ-1 je laboratorijski instrument namenjen za kontrolu zračenja i kontaminaciju na mestima gde se radi sa radioaktivnim  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -izvorima.

Namenjen je za: ispitivanje laboratorijskog materijala na kontaminaciju; kontrolu ruku, obuće i odeće na kontaminaciju; merenje nivoa zračenja u laboratoriji.

Predviđen je priključak za pisač i komparator sa alarmnim uređajem.



Sl. 96 — Monitor zračenja MZ-1

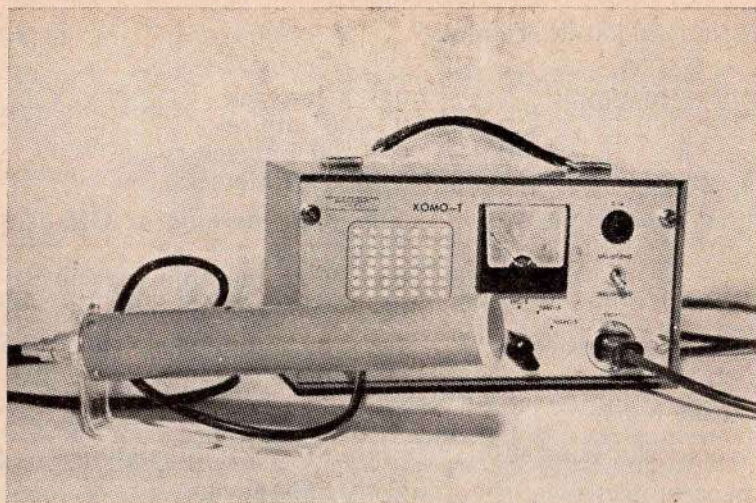
## Tehničke karakteristike:

|                      |  |
|----------------------|--|
| opseg merenja:       | 0 — 2 imp/sek<br>0 — 20 imp/sek<br>0 — 200 imp/sek<br>0 — 2000 imp/sek           |
| ulazna osetljivost:  | 0,25 V za merenja sa GM-brojačem<br>0,04 V za merenja sa scintilacionim brojačem |
| tačnost merenja:     | 10 <sup>0</sup> % od pune skale na svim opsezima                                 |
| visoki napon:        | 400 do 1800 V  |
| vremenska konstanta: | kratka (2 sek); duga (20 sek)  |
| napajanje:           | 220 V, 50 Hz, 60 W   |
| dimenzije:           | 220 × 300 × 580 mm   |
| težina:              | 12,5 kg  |
| proizvođač:          | Elektronska industrija Niš   |

### *Monitor zračenja KOMO-T*

Monitor zračenja KOMO-T je prenosni tranzistorizovan instrument koji služi za merenje  $\beta$  i  $\gamma$ -zračenja. Pogodan je za ispitivanje kontaminacije površina. Koristi sondu sa GM-brojačem STS-6 za  $\beta$  i  $\gamma$ -zračenje. Mera intenziteta zračenja je broj impulsa u jedinici vremena. Istovremeno postoji i akustična indikacija.

Pri konstrukciji KOMO-T vodilo se računa da bude pogodan za eksploataciju, pa su njegove dimenzije male, potrošnja električne energije je mala, otporan je na mehaničke udare i jednostavan za rukovanje. Napaja se iz sopstvenog akumulatora, a predviđeno je priključivanje na mrežu.



Sl. 97 — Monitor zračenja KOMO-T

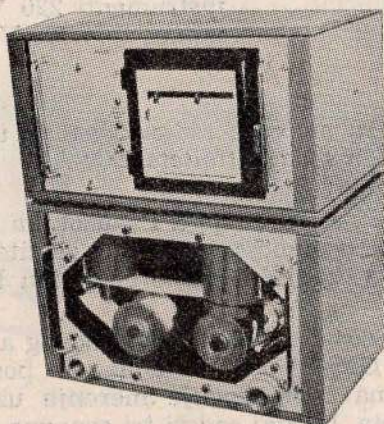
Tehničke karakteristike:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| detektor:                  | halogeni GM-brojač tipa STS-6                  |
| opsezi merenja:            | 10, 100, 1000 imp/sek                          |
| aktivan rad instrumenta:   | 100 časova                                     |
| (napajanje iz akumulatora) |  |
| napajanje:                 | iz mreže 220 V, 50 Hz ili iz akumulatora 1,2 V |
| težina:                    | 4,5 kg   |

*Aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola ACA-2*

Aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola koristi se za merenje koncentracije prirodnih i veštačkih aerosola u vazduhu. Može se koristiti u laboratorijama gde postoji mogućnost kontaminacije vazduha radioaktivnim česticama, kao i u kontrolnim stanicama za merenje kontaminacije vazduha.

Upotrebom novog antikoincidentnog kola sa GM-brojačima i primenom isključivo tranzistorizovanih kola ova aparatura postiže osobine koje je stavljaju u red najosetljivijih uređaja te vrste u svetu.



Sl. 98 — Aparatura za kontinualnu kontrolu aerosola ACA-2

**Tehničke karakteristike:**

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| moгуćnost detekcije:          | $\alpha, \beta$  |
| detektori:                    | Halogeni GM-brojači 18504 i 18516, 18518 ili 18515, 18517                  |
| osnovni fon:<br>(druga glava) | manji od 3 imp/min   |
| protok vazduha:               | 15 m <sup>3</sup> /čas   |
| širina filtra:                | 70 mm  |
| brzina filtra:                | 3 — 4 — 6 mm/čas   |
| moгуćnost merenja:            | od 0 do 90 časova (I glava od 0 do 60 časova, II glava od 17 do 96 časova) |

|                        |  |
|------------------------|--|
| osetljivost:           | veća od $10^{-13}$ Ci/m <sup>3</sup>   |
| registracija podataka: | dvokanalni pisač sa 4 dekade,<br>brzina kretanja trake pisača<br>— 60 mm/dan |
| napajanje:             | instrumenti 220 V, 50 Hz, 5 W<br>pumpa 3 × 380 V, 50 Hz, 800 W               |

*Uređaj za merenje radioaktivnosti uzoraka  
niskog aktiviteta LOLA-3*

Uređaj služi za merenje  $\alpha$  i  $\beta$ -uzoraka niskog aktiviteta (za potrebe radiološke i civilne zaštite, medicinskih merenja itd.). Merenje se može obaviti u laboratoriji ili na terenu.

Uređaj je zasnovan na primeni novog antikoincidentnog kola sa GM-brojačima, čime se postiže sniženje spoljašnjeg fona i omogućuje merenje uzoraka veoma niskog aktiviteta. Uređaj sadrži tri osnovna dela: (1) antikoincidentno kolo sa GM-brojačima, izvedeno sa čisto pasivnim elementima; kolo je smešteno u olovnu glavu; (2) dekadni skaler; (3) deo za napajanje koji daje stabilisane jednosmerne napone potrebne za rad uređaja.

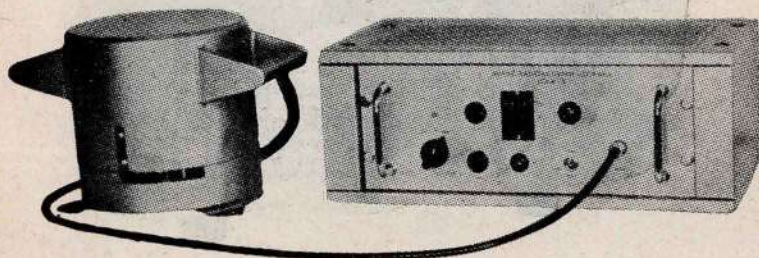
Broj upotrebljenih elektronskih komponenti sveden je na neophodni minimum. Umesto klasičnih elektronskih cevi primenjene su isključivo gasne sa hladnom katodom i poluprovodnički elementi, čime su obezbeđene velika pouzdanost uređaja i mala potrošnja.

**Tehničke karakteristike:**

|            |   |
|------------|---|
| detektori: | halogeni GM-brojači 18516 i 18518 (beta) ili 18515 i 19517 (alfa i beta) u specijalnoj antikoincidentnoj vezi |
| fon:       | manji od 2 imp/min  |



osetljivost:  $10^{-12}$  Ci  
 postavljanje uzoraka: ručno  
 skaler: 1 dekada gasni dekatron EZ-10 B sa direktnom indikacijom i sledeće 4 dekade-elektromehanički numerator SODECO



Sl. 99 — Uređaj LOLA-3

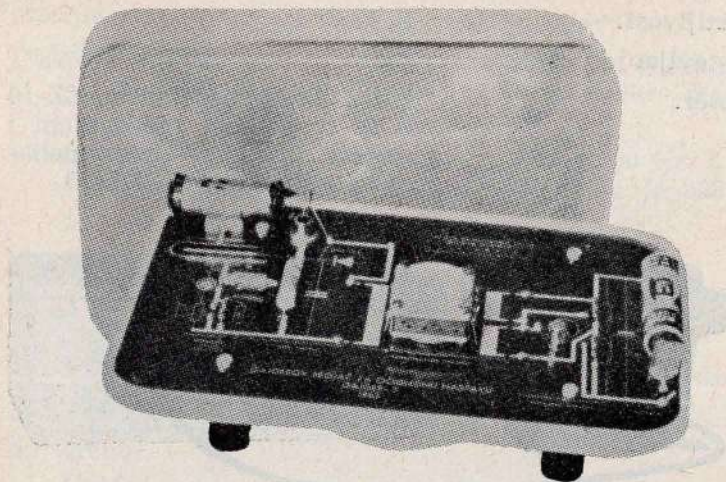
napajanje: iz mreže 220 V, 50 Hz ili iz akumulatora 12 V  
 težina: 65 kg.

### *Gajgerov brojač za očiglednu nastavu Gajger-3*

Služi za demonstraciju detekcije radioaktivnog zračenja. Namenjen je za očiglednu nastavu u školama i na kursevima. Proste je konstrukcije, tako da se lako prati njegov rad.

Tehničke karakteristike:

detektor: halogeni GM-brojač tipa 18504 sa mogućnošću detekcije  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -zračenja



Sl. 100 — Gajger-3

vrsta kontrole:

zvučna i vizuelna

fon:

manji od 20 imp/min

šema veza:

štampano kolo

napajanje:

baterija 1,5 volt.

## PRILOZI

### PREGLED NEKIH VAŽNIJIH VELIČINA I FIZIČKIH KONSTANTI

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Tera = $10^{12}$ | piko = $10^{-12}$ |
| Giga = $10^9$    | nano = $10^{-9}$  |
| Mega = $10^6$    | mikro = $10^{-6}$ |
| Kilo = $10^3$    | mili = $10^{-3}$  |
| Hekto = $10^2$   | centi = $10^{-2}$ |
| Deka = $10^1$    | deci = $10^{-1}$  |

$$1 \text{ g} = 365,25 \text{ d} = 8,766 \times 10^3 \text{ č} = 5,2596 \times 10^5 \text{ min} = 3,15576 \times 10^7 \text{ sek}$$

$$1 \text{ d} = 24 \text{ č} = 1,440 \times 10^3 \text{ min} = 8,640 \times 10^4 \text{ sek}$$

$$1 \text{ č} = 60 \text{ min} = 3,6 \times 10^3 \text{ sek}$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ sek}$$

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Avogadrov broj                       | $6,025 \times 10^{23}$ molekula/gr molu                       |
| Barn                                 | $10^{-24}$ cm <sup>2</sup>                                    |
| Bolcmanova konstanta                 | $1,38047 \times 10^{-16}$ erg/ <sup>0</sup> C                 |
|                                      | $8,6170 \times 10^{-5}$ ev/ <sup>0</sup> C                    |
| Naelektrisanje elektrona             | $4,8 \times 10^{-10}$ esj =<br>= $1,6 \times 10^{-19}$ kulona |
| Energija ekvivalentna masi elektrona | 0,51098 Mev   |
| Faradejeva konstanta                 | $9,6514 \times 10^4$ kulona/gr (fizička)                      |
| Fermi                                | $10^{-13}$ cm   |
| Masa alfa čestice                    | $6,64 \times 10^{-24}$ gr                                     |
| Masa elektrona                       | $9,1066 \times 10^{-28}$ gr                                   |
| Masa neutrona                        | $1,6751 \times 10^{-24}$ gr                                   |

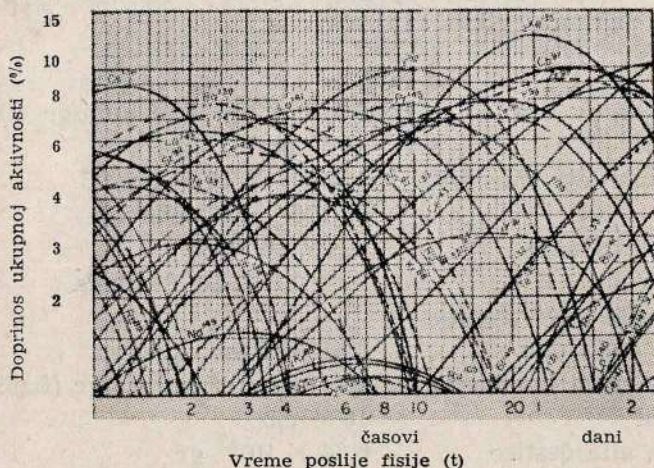
|                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| Masa protona         | $1,67274 \times 10^{-24}$ gr    |
| Masa H atoma         | $1,67339 \times 10^{-24}$ gr    |
| Plankova konstanta   | $6,624 \times 10^{-27}$ erg-sek |
| Ridbergova konstanta | $109.737,303$ cm <sup>-1</sup>  |

### BRZINA RASPADA FISIONIH PRODUKATA

U skupu fisionih produkata nalaze se radioaktivna jezgra sa različitim vremenima poluraspada gde se ukupna aktivnost fisionih produkata tokom vremena ne menja po prostom eksponencijalnom zakonu.

Efektivno vreme poluraspada ukupne aktivnosti fisionih produkata, u toku vremena, postaje sve duže i duže, zbog toga što iz smeše fisionih produkata iščezavaju kratkoživeći, a preostaju dugoživeći izotopi.

Ovo se može videti na slikama a, b i c, na kojima su date familije krivih, koje predstavljaju učešće pojedinih radioaktivnih jezgara u ukupnoj aktivnosti fisionih



Sl. 101 a, b, c) Relativna aktivnost produkata nukleida nastalih simultano fisijom U-235 termalnim neutronima



produkata, u funkciji vremena proteklog od fisije. Pomoću ovih krivih može se vrlo jednostavno pratiti nastanak, trajanje i iščezavanje pojedinih radioaktivnih jezgara iz smeše fisionih produkata i to u širokom intervalu od jednog časa do 100 godina posle fisije.

*Nizovi raspada i prinosi izotopa koji se dobijaju pri fisiji U-235 pod dejstvom termalnih neutrona*

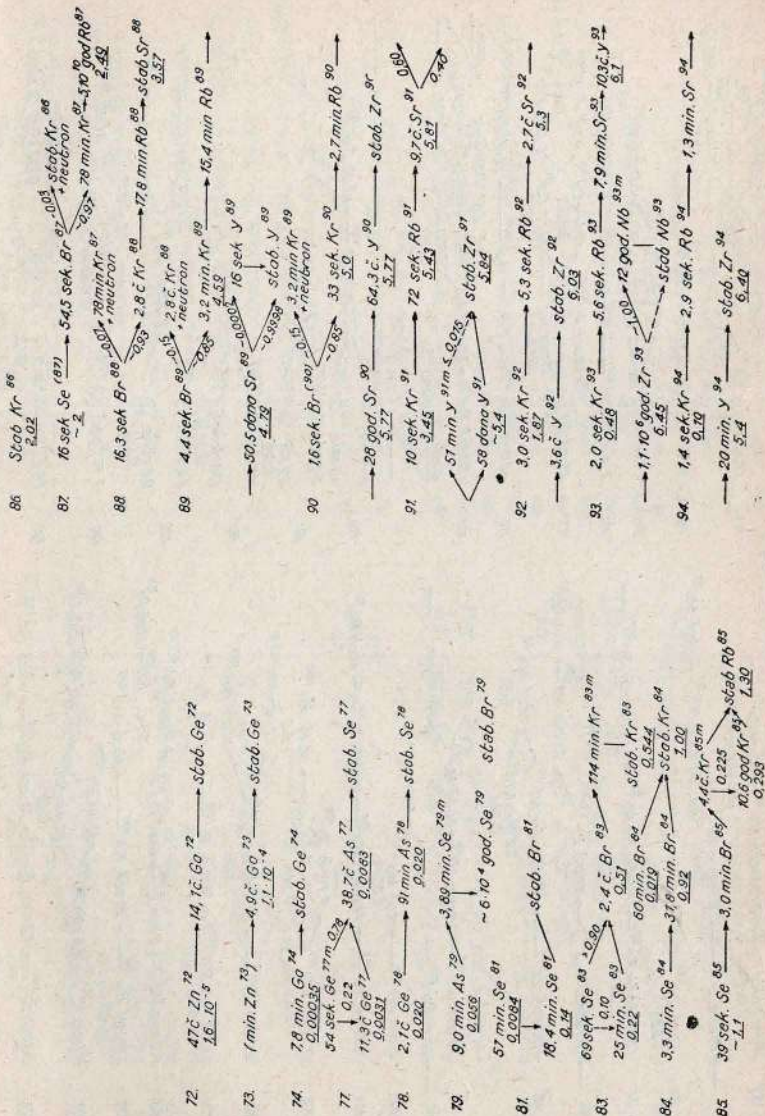
Neposredno pri fisiji U-235 nastaje oko 60 izotopa. Svaki tako nastali fisioni produkt predstavlja visoko ekscitirano jezgro, koje se dalje raspada putem beta-raspada. Srednje uzev, svako radioaktivno jezgro pretrpi 3 beta-raspada sa različitim periodima. Na taj način u skupu fisionih produkata pojavljuje se oko 200 radioaktivnih jezgara sa vremenima poluraspada od delova sekunde do desetine godina. Veći deo raspada praćen je emisijom gama kvanata, čije energije variraju u granicama od 0,002 MeV (Tc-99) do 2,9 MeV (Rb-88).

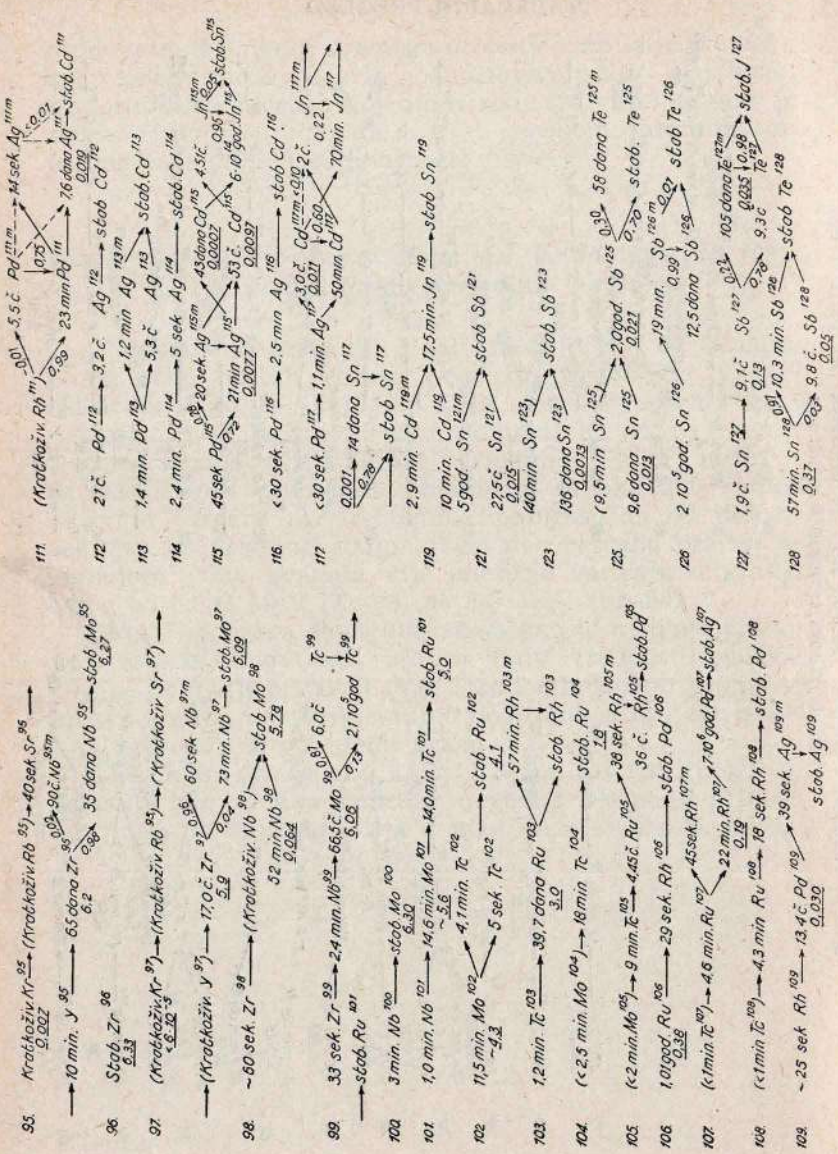
Levo od znaka elementa naznačeno je njegovo vreme poluraspada. Podvučeni brojevi daju vrednosti prinosa koji se dobijaju pri fisiji (%). Strelice pokazuju grananje nizova koji su eksperimentalno dokazani, a brojevi iznad njih procenat za određenu granu.

Direktan prinos bilo kojeg izotopa pri fisiji može se odrediti kao razlika između njegovog ukupnog prinosa i prinosa prethodnog člana u nizu (ako su oba poznata).

TABELARNI PREGLED

Nizovi raspada i prinosi izotopa koji se dobijaju pri fisiji U-235 pod dejstvom termalnih neutrona







128. 4.6 Ć. S<sub>6</sub><sup>129</sup> → 0.35 37 dana T<sub>6</sub><sup>129</sup> → 0.72 min T<sub>6</sub><sup>130</sup> → 1.7 10 god. J<sup>129</sup> → stab. Xe<sup>129</sup>

130. 2.6 min S<sub>6</sub><sup>130</sup> → 71 min. S<sub>6</sub><sup>130</sup> → stab. T<sub>6</sub><sup>130</sup>

131. 3.4 min. S<sub>6</sub><sup>131</sup> → 23 min. S<sub>6</sub><sup>131</sup> → 30 Ć. T<sub>6</sub><sup>131m</sup> → 0.44 1.0 2.0 → 605 dana J<sup>131</sup> → 2.6 24 min T<sub>6</sub><sup>131</sup> → 3.1 → stab. Xe<sup>131</sup>

132. 2.2 min S<sub>6</sub><sup>132</sup> → 2.1 min S<sub>6</sub><sup>132</sup> → 77 Ć. T<sub>6</sub><sup>132</sup> → 2.30 Ć. J<sup>132</sup> → stab. Xe<sup>132</sup> → 4.38

133. 4.1 min. S<sub>6</sub><sup>133</sup> → 52 min T<sub>6</sub><sup>133m</sup> → 20.0 Ć. J<sup>133</sup> → 0.03 → 4.0 2 min T<sub>6</sub><sup>133</sup> → 9.9 → 2.3 dana Xe<sup>133</sup> → stab. Cs<sup>133</sup> → 5.2 dana Xe<sup>133</sup> → stab. Cs<sup>133</sup> → 6.59

(50 sek. S<sub>6</sub><sup>134</sup>) → 43 min T<sub>6</sub><sup>134</sup> → 52.5 min. J<sup>134</sup> → stab. Xe<sup>134</sup> → 6.08

135. (-0.5 min. T<sub>6</sub><sup>135</sup> → 6.7 Ć. J<sup>135</sup> → 15.3 min. Xe<sup>135m</sup> → 8.1 → 9.2 Ć. Xe<sup>135</sup> → 6.2 135 → 2.6 10<sup>6</sup> god. Cs<sup>135</sup> → stab. Ba

136. 86 sek. J<sup>136</sup> → stab. Xe<sup>136</sup> → 6.46

137. 24.4 sek. J<sup>137</sup> → 0.03 stab. Xe<sup>136</sup> + neutron → 3.9 min Xe<sup>137</sup> → 30 god. Cs<sup>137</sup> → 0.03 257 min Ba → 6.02 → 6.15 → 6.26 → 6.47

138. 6.3 sek. J<sup>138</sup> → 3.9 min Xe<sup>137</sup> + neutron → 17 min. Xe<sup>138</sup> → 32.2 min. Cs<sup>138</sup> → stab. Ba<sup>138</sup> → 5.49 138

139. 2 sek. J<sup>139</sup> → 17 min. Xe<sup>138</sup> + neutron → 41 sek. Xe<sup>139</sup> → 9.5 min Cs<sup>139</sup> → 6.47

→ 83 min. Ba<sup>139</sup> → stab. La<sup>139</sup>

140. 16 sek. Xe<sup>140</sup> → 66 sek. Cs<sup>140</sup> → 12.8 dana Ba<sup>140</sup> → 6.0 → 6.35 → 40.2 Ć. La<sup>140</sup> → stab. Ce<sup>140</sup> → 6.35 → 6.44 → 1.7 sek. Xe<sup>141</sup> → 2.5 sek. Cs<sup>141</sup> → 18 min. Ba<sup>141</sup> → 1.33 1.41 → 33 dana Ce<sup>141</sup> → stab. Pr<sup>141</sup> → 4.6 → 6.3 → 1.3 sek. Xe<sup>142</sup> → 8 sek. Cs<sup>142</sup> → 10 min. Ba<sup>142</sup> → 6.0 → 6.35 → 81 min. La<sup>142</sup> → stab. Ce<sup>142</sup> → 6.07

143. 1 sek. Xe<sup>143</sup> → (Krakoziv Cs) → 13 sek. Ba<sup>143</sup> → 9.051 → 18 min. La<sup>143</sup> → 33 Ć. Ce<sup>143</sup> → 13.7 dana Pr<sup>143</sup> → stab. Nd<sup>143</sup> → 6.0 → 6.03 → Krakoziv Xe<sup>144</sup> → (Krakoziv. Cs<sup>144</sup>) → (Krakoziv. Ba<sup>144</sup>) → 6.026 → (Krakoziv. La<sup>144</sup>) → 280 dana Ce<sup>144</sup> → 17.4 min Pr<sup>144</sup> → 5 10<sup>5</sup> god. Nd<sup>144</sup> → 6.0 → 6.0 → 3.0 min. Ce<sup>145</sup> → 5.96 Ć. Pr<sup>145</sup> → stab. Nd<sup>145</sup> → 3.38 → 6.62

146. 13.9 min Ce<sup>146</sup> → 24.4 min. Pr<sup>146</sup> → 6.66. Nd<sup>146</sup> → 3.07

147. 1.2 min Ce<sup>147</sup> → 12.0 min. Pr<sup>147</sup> → 11.1 dana Nd<sup>147</sup> → 2.6 god. Pm<sup>147</sup> → 1.3 10<sup>7</sup> god. Sm<sup>147</sup> → 2.75

148. 40 sek. Ce<sup>148</sup> → 1.85 min. Pr<sup>148</sup> → stab. Nd<sup>148</sup> → (2.0 Ć. Nd<sup>149</sup>) → 53.1 Ć. Pm<sup>149</sup> → 1.21 → 1.13 → stab. Nd<sup>150</sup> → 28.4 Ć. Pm<sup>151</sup> → 80 god. Sm<sup>151</sup> → stab. Eu<sup>151</sup> → 0.44

151. 13 min. Nd<sup>151</sup> → 28.4 Ć. Pm<sup>151</sup> → 80 god. Sm<sup>151</sup> → stab. Eu<sup>151</sup>

152. Scab. Cm<sup>152</sup>

153. 47 Ć. Sm<sup>153</sup> → stab. Eu<sup>153</sup> → 6.287 → 6.59 Sm<sup>154</sup>

154. Scab. Sm<sup>155</sup>

155. 24 min Sm<sup>155</sup> → 4 god. Eu<sup>155</sup> → stab. Gd<sup>155</sup>

156. 9 Ć. Sm<sup>156</sup> → 15.4 dana Eu<sup>156</sup> → stab. Gd<sup>156</sup>

157. 0.029 Eu<sup>157</sup> → stab. Gd<sup>157</sup> → 6.014

158. 60 min. Eu<sup>158</sup> → stab. Gd<sup>158</sup> → 0.002 → 0.002 → 159 → stab. Tb<sup>159</sup>

159. 18.0 Ć. Gd<sup>161</sup> → 6.9 dana Tb<sup>161</sup> → stab. Dy<sup>161</sup> → (13.7 min. Gd<sup>161</sup> → 7.6 10<sup>5</sup> → 6.47

166. 82 Ć. Dy<sup>166</sup> → 27.3 Ć. Ho<sup>166</sup> → stab. Er<sup>166</sup>

## IZDANJE VOJNE BIBLIOTEKE »NAŠI PISCI«

- Vekoslav Kolb*, BORBENA DEJSTVA U ŠUMI, II dopunjeno i prerađeno izdanje, izdanje 1956 — rasprodato.
- Pero Morača*, NAPADI NOVJ NA NASELJENA MJESTA, izdanje 1956 — rasprodato.
- Jovo Vukotić*, ZADRŽAVAJUĆA ODBRANA, izdanje 1957 — rasprodato.
- Grupa pisaca*, ATOMSKO ORUŽJE I ZAŠTITA, izdanje 1957 — rasprodato.
- Grupa pisaca*, BIOLOŠKA SREDSTVA U RATU, izdanje 1957 — rasprodato.
- Danilo Cerović*, RAKETE, izdanje 1958 — rasprodato.
- Milivoje Stanković*, ISTORIJSKI OSVRT NA ULOGU ARTILJERIJE U ZDRUŽENOM BOJU, izdanje 1958 — rasprodato.
- Branko Obradović*, PROTIVVAZDUŠNA ODBRANA, izdanje 1959 — rasprodato.
- Borivoje Rockov — Franc Smole*, FORSIRANJE PLANINSKIH REKA, izdanje 1958 — rasprodato.
- Aleksandar Vojinović*, RAZMIŠLJANJA O PRINCIPIMA RATOVANJA U ATOMSKIM USLOVIMA, izdanje 1959 — rasprodato.
- Petar Tomac*, VOJNA ISTORIJA, izdanje 1959 — »Nagrada 22. decembar« — rasprodato.
- Milan Pavlović*, TENKOVI U PROŠLOSTI I BUDUĆNOSTI, izdanje 1959 — rasprodato.
- Pero Morača*, ODBRANA U NOR, izdanje 1959 — »Nagrada 22. decembar« — rasprodato.
- Vladimir Timčenko*, OPERATIVNO MASKIRANJE, izdanje 1959 — rasprodato.

- Blažo Žugič*, ANEGDOTE, izdanje 1959 — rasprodato.
- Branko Borojević*, DRUGA STRANA RATA, izdanje 1959 — »Nagrada 22. decembar« — rasprodato.
- Josip Žužul*, POMORSKI OPERATIVNOTAKTIČKI DESANTI, izdanje 1959 — rasprodato.
- Vladimir Gintovt*, GEOGRAFSKA KARTA, izdanje 1959 — rasprodato.
- Đorđe Dragić*, SANITETSKA SLUŽBA U PARTIZANSKIM USLOVIMA RATOVANJA, izdanje 1959 — »Nagrada 22. decembar« — rasprodato.
- Aleksandar Vojinović*, O NARODNOM RATU, izdanje 1960 — rasprodato.
- Petar Kleut*, PARTIZANSKA TAKTIKA I ORGANIZACIJA, izdanje 1960 — rasprodato.
- Branko Borojević*, DRUGA STRANA RATA, II izdanje, izdanje 1960 — rasprodato.
- Grupa pisaca*, O VOJNOJ VEŠTINI — I, Zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA — izdanje 1960, poluplatno, 711 stranica, cena 8 dinara.
- Grupa pisaca*, O VOJNOJ VEŠTINI — II, Zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA, izdanje 1960, poluplatno, 713 strana, cena 8 dinara.
- Grupa pisaca*, O MORALNO-POLITIČKOM FAKTORU I PARTIJSKO-POLITIČKOM RADU, Zbirka izabranih članaka štampanih u časopisima JNA, izdanje 1961 — rasprodato.
- Đorđe Dragić*, SANITETSKA SLUŽBA U PARTIZANSKIM USLOVIMA RATOVANJA, II izdanje, izdanje 1961 — rasprodato.
- Peko Dapčević*, TAKTIKA PARTIZANSKIH ODREDA I BRIGADA U TOKU NOR, izdanje 1961 — rasprodato.
- Rajko Tanasković*, PITANJA PARTIZANSKOG RATOVANJA, izdanje 1962 — »Nagrada 22. decembar« — rasprodato.
- Grupa pisaca*, ARTILJERIJA U NOR, izdanje 1962, poluplatno, 372 strane, cena 7 dinara.
- Milan Zelenika*, PRVI SVETSKI RAT — 1914, izdanje 1962 — rasprodato.
- Savo Orović*, MORALNO VASPITANJE, izdanje 1962 — rasprodato.
- Grupa pisaca*, OKLOPNE JEDINICE, izdanje 1962 — rasprodato.

- Bogdan Oreščanin*, VOJNI ASPEKTI BORBE ZA SVETSKI MIR, NACIONALNU NEZAVISNOST I SOCIJALIZAM, izdanje 1962 — rasprodati.
- Blažo Žugić*, ANEGDOTE I HUMORESKE, izdanje 1962 — rasprodati.
- Dušan Živković*, BOKA KOTORSKA I PAŠTROVIĆI U NOR, izdanje 1964, poluplatno, 1 skica, 452 strane, cena 10 dinara.
- Milija Stanišić*, STAREŠINA U BORBI, izdanje 1964, »Nagrada 22. decembar« — poluplatno, 243 strane, cena 6 dinara.
- Rajko Tanasković*, PITANJA PARTIZANSKOG RATOVANJA, II izdanje, izdanje 1964, poluplatno, 222 strane, cena 6,5 dinara.
- Stojan Cmelić*, VASPITANJE VOJNOG KOLEKTIVA, izdanje 1965, poluplatno, 277 strana, cena 6 dinara.
- Petar Tomac*, FRANCUSKI REVOLUCIONARI I NAPOLEONovi RATOVI, izdanje 1965, poluplatno, 794 strana, cena 1,8 dinara.
- Dorđe Dragić*, SANITETSKA SLUŽBA U USLOVIMA PARTIZANSKOG RATOVANJA — III izdanje, izdanje 1965, poluplatno, 452 strane, cena 10 dinara.
- Petar Kleut*, PARTIZANSKA TAKTIKA I ORGANIZACIJA — II izdanje, izdanje 1965, poluplatno, 324 strane, cena 8 dinara.
- Grupa pisaca*, IZGRADNJA ORUŽANIH SNAGA, izdanje 1965, proširano, 317 strana, 3 skice, cena 8,5 dinara.
- Grupa pisaca*, TEHNIKA U SLUŽBI ARMIIJE, izdanje 1965, proširano, 152 strane, 27 skica, cena 3,6 dinara.
- Grupa pisaca*, O BORBENIM DEJSTVIMA JEDINICA, izdanje 1965, proširano, 231 strana, cena 5,8 dinara.
- Branko Rakočević*, INFRACRVENI ZRACI I NJIHOVA PRIMENA U VOJNOJ TEHNICI, izdanje 1966, proširano, 148 strana, cena 13 dinara.
- Dušan Mušicki*, RAZORNI EKSPLOZIVI, poluplatno, izdanje 1966, 52 crteža, 185 strana, cena 7 dinara.
- Tomislav Kronja*, PSIHOLOŠKA RAZMATRANJA O RUKOVODENJU U ARMII, poluplatno, izdanje 1966, 132 strane, cena 6 dinara.
- Джордже Драгич* — ПАРТИЗАНСКІЕ ГОСПИТАЛИ В ЮГОСЛАВИИ, izdanje 1966, proširano, str. 152, 25 slika i 1 skica, cena 17 dinara.

*Dorđe Dragić* — PARTISAN HOSPITAL IN YUGOSLAVIA, izdanje 1966, broširano, str. 154, 25 slika i 1 skica, cena 17 dinara.

*Dorđe Dragić* — LES HÔPITAUX DES PARTISANS EN YUGOSLAVIE, izdanje 1966, broširano, str. 161, 25 slika i 1 skica, cena 17 dinara.

*Turo* — ИЗБРАННЫЕ ВОЕННЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ, izdanje 1966.

*Tito* — SELECTED MILITARY WORKS, izdanje 1966.

*Tito* — OEUVRES MILITAIRES, izdanje 1966.

*Tito* — OBRAS MILITARES ESCOGIDAS, izdanje 1966.

*Viktor Bubanj*, TREĆA DIMENZIJA RATA, izdanje 1966, platno, str. 288, cena 11,5 dinara.

CATALOGUE OF PUBLISHING INSTITUTIONS OF YUGOSLAV PEOPLE'S ARMY

CATALOGUE DES MAISONS D'EDITION DE L'ARMEE POPULAIRE YUGOSLAVE

КАТАЛОГ ПУБЛИКАЦИЙ ИЗДАТЕЛЬСТВ ЮГОСЛАВСКОЙ НАРОДНОЙ АРМИИ

Milivoje Stanković — PROTIVTENKOVSKA ODBRANA

Grupa autora — RUSKO-SRPSKOHRVATSKI VOJNI REČNIK

*U štampi i pripremi*

Grupa autora — VOJNA ANDRAGOGIJA (opšta teorija vojnog vaspitanja i obrazovanja)

Zdravko Kolar — OSNOVI TEORIJE VOJNE NASTAVE

Stevo Jovanović — PRILAGODAVANJE OBUKE RATU

Ilija Mrmak — METODE VOJNE NASTAVE

## S A D R Ź A J

|   |     |
|---|-----|
| Predgovor . . . . .   | 5   |
| Struktura materija (dr fiz. nauka <i>Relja V. Popić</i> ) . . . . .   | 9   |
| Radioaktivnost (doc. <i>Predrag Bojović</i> , dipl. inž. tehnolog) . . . . .  | 24  |
| Prolaz zračenja kroz materiju (mr fiz. <i>Marko M. Ninković</i> ) . . . . .   | 50  |
| Detekcija jonizujućih zračenja ( <i>Milovan Vidmar</i> , dipl. inž. elektrotehnike) . . . . .   | 78  |
| Dozimetrija zračenja (dr fizič. hem. nauka <i>Branislav Radak</i> i mr fiz. <i>Petar Mirić</i> ) . . . . .  | 106 |
| Primena nuklearne energije u vojne svrhe ( <i>Borivoje Filipović</i> , puk. JNA u penz.) . . . . .  | 117 |
| Kontrola biosfere ( <i>Dušan Stojanović</i> , dipl. meteorolog, <i>Radoslav Radosavljević</i> , dipl. hemičar, mr fiz. <i>Dragana Patić</i> , dipl. fiz. <i>Radmila Smiljanić</i> i dr agr. nauka <i>Đurđe Jelenić</i> ) . . . . .  | 157 |
| Elementi tehničke zaštite (doc. <i>Predrag Bojović</i> , dipl. inž. tehnolog i mr. fiz. <i>Marko Ninković</i> ) . . . . .   | 196 |
| Medicinska zaštita (dr <i>Velimir Tomin</i> , lekar i dr farmac. nauka <i>Milan Jovanović</i> ) . . . . .   | 227 |
| Dekontaminacija površina ( <i>Andrija Matijašić</i> , dipl. fiz. hem. i <i>Martin Sajnkar</i> , dipl. inž. hemije) . . . . .  | 267 |
| Dekontaminacija vode, životnih namirnica, ljudi i domaćih životinja (doc. <i>Predrag Bojović</i> , dipl. inž. tehnolog, dr veter. nauka <i>Branislav Petrović</i> , dr agr. nauka <i>Đurđe Jelenić</i> , dr <i>Branislav Pendić</i> , lekar i <i>Jovan Stajić</i> , dipl. vet.) . . . . . | 314 |
| Zaštita skloništima (dr tehn. nauka <i>Miloš Kovarž</i> i <i>Vukašin Kostić</i> , dipl. inž. arh.) . . . . .  | 370 |

|   |     |
|---|-----|
| Zdravstvena zaštita (san. puk. dr <i>Vladimir Mikulić</i> , i san. puk. dr <i>Borislav Kuzmanović</i> ) . . . . .                                   | 407 |
| Instrumentacija za potrebe radiološke zaštite (dr teh. nauka <i>Slobodan Muždeka</i> i <i>Milovan Vidmar</i> , dipl. inž. elektrotehnike) . . . . . | 437 |
| Prilozi (priredio <i>Vladimir Ćirić</i> , dipl. fiz.) . . . . .   | 453 |

# ZAŠTITA OD NUKLEARNIH ZRAČENJA

Urednik - redaktor  
*pukovnik Sergije Šarunac*

\*

Lektor  
*Stevan Kojić*

\*

Tehnički urednik  
*Andro Strugar*

\*

Korektor  
*Sibe Grgević*

Štampanje završeno aprila 1967. godine  
Tiraž 3.000, cena 34.— N, din



ALPHABETIC LIST OF NAMES

Urednik: ...  
Izdavač: ...

Izdavač:  
Štamparstvo ...

Izdavač:  
Štamparstvo ...

Izdavač:  
Štamparstvo ...

Štamparstvo ...  
Zagreb, 1967.

