

Arh. hig. rada, 13 (1962) 245

## METODE ZA ODREĐIVANJE RADIOAKTIVNOSTI ATMOSFERE\*

V. B. VOUK I V. POPOVIĆ

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb*

*(Primljeno 10. IX 1962)*

Kratak pregled izvora radioaktivnih onečišćenja atmosfere. Rasprostranjenost fisionih produkata nakon nuklearnih eksplozija i princip različitih metoda mjerenja ukupne  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  aktivnosti i pojedinih radionuklida u atmosferi.

U odnosu na druge elemente biosfere, radioaktivnost atmosfere ima određenu specifičnost s obzirom na mogućnost kontaminacije ljudi i životinja. Osnovna razlika je u tom da se udisavanje zraka ne može kontrolirati kao što možemo kontrolirati uzimanje hrane ili vode. U vezi s tim postavljaju se neki posebni uvjeti na metode za određivanje radioaktivnosti zraka, u prvom redu da to određivanje bude brzo i direktno na samom mjestu uzimanja uzorka.

### 1. PORIJEKLO RADIOAKTIVNOSTI ATMOSFERE

Izvori atmosferskih radioaktivnih onečišćenja su:

1. prirodni radioaktivni elementi, kozmičkog ili terestričkog porijekla,
2. radioaktivne otpadne tvari koje se ispuštaju u atmosferu,
3. nuklearne eksplozije.

Zračni omotač zemlje nalazi se pod stalnim udarom elementarnih čestica vrlo visokih energija porijeklom iz svemira; to je tzv. kozmičko zračenje. Primarno kozmičko zračenje sastoji se od 79% protona, 20% alfa-čestica i 1% teških jezgara. Energija tih čestica iznosi više od  $10^{15}$  eV. Prolazeći kroz atmosferu te čestice se sudaraju s atomima i molekulama koje su sastavni dio atmosfere i pri tom se odvijaju nuklearne reakcije. Određeno biološko značenje ima relativno česta reakcija N-14 (n, p) C-14. Radioaktivni izotop C-14 ima vrijeme poluraspada 5750 godina i emitira beta-zračenje. U toku nuklearnih reakcija koje su

\* *Predavanje održano na Seminaru o aerozagađenjima, Zenica, 25-30. VI 1962.*

uzrokovane kozmičkim zračenjem, nastaju i H-3, O-19, A-41, ali su ti izotopi ili tako kratkog života ili tako malih koncentracija da nemaju naročito biološko značenje.

Od prirodnih radioizotopa koji onečišćuju atmosferu treba u prvom redu istaknuti raspadne produkte radija i torija-X. Prvi raspadni produkti tih elemenata su emanacije radon i toron, koji imaju relativno kratak život i koji ulaze u atmosferu difuzijom iz tla ili izvora podzemnih voda. Prosječne razine aktivnosti za radon i torij iznose  $10^{-10}$  C/m<sup>3</sup>, odnosno  $10^{-12}$  C/m<sup>3</sup>. Ti se radioizotopi dalje raspadaju stvarajući potomke koji nisu plinoviti i koji se nalaze u atmosferi u obliku aerosola, a mogu se i adsorbirati na čestice prašine i na taj način ili taložiti na zemlju ili ući u respiratorni ili probavni trakt čovjeka inhalacijom ili ingestijom.

Razmjerno veliki dio radona odnosno torona ulazi u organizam čovjeka inhalacijom. Zajedno sa svojim potomcima ti plinovi predstavljaju interne izvore zračenja u sluznici bronhija i u plućima. Godišnja doza koju taj dio organizma na taj način primi iznosi 25-250 mrema, tako da pluća pripadaju među najozračenije dijelove organizma. Toron ima razmjerno manje značenje, jer mu je život mnogo kraći, tako da ga ne nalazimo praktički u visinama koje su veće od 10 m iznad tla; radon može difundirati i do 1000 m iznad površine zemlje.

Jedan dio radioaktivnih otpadnih produkata nuklearnih reaktora, odnosno pogona za preradu nuklearnih goriva također se pušta u atmosferu. To su, na primjer, plinoviti radioaktivni izotopi kripton-85, ksenon-133 i jod-131. Prema nekim procjenama smatra se da se u nuklearnom pogonu u Handfordu, SAD dnevno ispušta u zrak oko 1.000 C.

Pored tog redovnog zagađenja atmosfere puštanjem radioaktivnih otpadaka u atmosferu, treba napomenuti i mogućnost reaktorskih nesreća, kao što je to bilo prije nekoliko godina u britanskoj tvornici plutonija u Windscaleu. Tom prilikom je zapaženo da je u prvim danima reaktorske nesreće kritičan radioizotop jod-131, a tek kasnije dugo živeći radioizotopi kao što su stroncij-90, stroncij-89 i cezij-137.

Kontaminacija atmosfere koja nastaje zbog ispuštanja radioaktivnih otpadnih materijala u atmosferu je uglavnom samo lokalna. Pokusne nuklearne eksplozije dovode do kontaminacije kudikamo većeg prostiranja. Kolika će površina zemlje biti kontaminirana i u kojem stupnju, zavisi u prvom redu o mjestu eksplozije, o količini nuklearnog eksploziva i visini eksplozije. Kod nuklearnih eksplozija u zraku, pored fisionih produkata koji padnu na zemlju blizu mjesta eksplozije (lokalni »fall-out«), određeni dio materijala diže se u više slojeve atmosfere, u stratosferu. Taj dio radioaktivnosti spušta se u troposferu i na zemlju vrlo polagano. Prema proračunima, to može trajati i nekoliko godina.

Sastav fisionih produkata nakon nuklearnih eksplozija vrlo je različit. Od najvećeg značenja su radioizotopi jod-131, stroncij-89, stroncij-90 i cezij-137. Treba uzeti u obzir da jedan dio nuklearnog eksploziva uopće ne reagira nego se raspršuje u obliku vrlo finih čestica – aerosola. Tako nastaje kontaminacija alfa-emiterima (plutonij i uran).

## 2. RASPODJELA RADIOAKTIVNOSTI ATMOSFERE

Geografska raspodjela radioaktivnosti atmosfere zavisi jednim dijelom od lokalnih izvora, a jednim dijelom, kao što je bilo spomenuto, od načina cirkuliranja fisionih produkata koji nastaju pri nuklearnim eksplozijama. O tome ima više teorija. Jednoj je teoriji, koja ima mnogo pristalica, autor *Machta* (1). Prema toj teoriji (koja se odnosi na stratosfersku radioaktivnost) koncentracija fisionih produkata je geografski nejednoliko rasprostranjena s naglašenim maksimumom u umjerenoj i sjevernoj zoni. Postoje i sezonske varijacije s maksimumom u proljeće. Sezonsku varijabilnost i nejednaku geografsku raspodjelu radioaktivnosti uzrokuje radioaktivni materijal koji prodire iz stratosfere. Eksplozije blizu polarnih oblasti zadržavat će radioaktivni materijal kraće vrijeme u stratosferi. Razmjerno brzo će se taložiti fisioni produkti, ako se eksplozije izvode u umjerenim i sjevernim geografskim zonama. U umjerenim zonama radioaktivnost je oko 2,5 puta veća od svjetskog prosjeka.

Pored ove teorije ima još i niz drugih teorija, ali nijedna od njih ne tumači potpuno sve pojave geografske rasprostranjenosti radioaktivnih padavina.

Poznavanje geografske raspodjele radioaktivnosti atmosfere važno je radi pravilnog odabiranja mjesta za skupljanje uzoraka. Ovdje ne bismo ulazili u problem organizacije mreže za skupljanje uzoraka, jer je to vrlo složen problem i zavisi od svrhe mjerenja radioaktivnosti atmosfere. Takve mreže možemo uglavnom podijeliti u dvije kategorije: jedna vrsta mreža odnosi se na lokalnu kontrolu radioaktivnosti oko nuklearnih postrojenja, a drugi sistem se odnosi na kontrolu radioaktivnosti atmosfere koja nastaje zbog nuklearnih eksplozija i reaktorskih akcidenata.

## 3. METODE ZA MJERENJE RADIOAKTIVNOSTI ZRAKA

Brza ocjena radioaktivnosti atmosfere dobiva se mjerenjem ukupne beta-radioaktivnosti, mjerenjem ukupne alfa-radioaktivnosti, ili gama-spektrometrijskom analizom.

*Mjerenje ukupne beta-radioaktivnosti* je najjednostavnija metoda, a sastoji se u tom da se određena količina zraka provuče kroz filter,

kojemu poznajemo efikasnost, i da se radioaktivnost takvog filtra mjeri bilo direktno (bez spaljivanja filtra) ili nakon spaljivanja filtra. Obično se vrši nekoliko mjerenja aktivnosti u određenim vremenskim razmacima, da bi se mogla razlikovati prirodna radioaktivnost od umjetne. Taj sistem je, na primjer, usvojen kao kontrolni sistem za mrežu alarmnih stanica Evropske organizacije za atomsku energiju. Mjerenje ukupne beta-aktivnosti može biti i kontinuirano, tako da se kroz filtrir-papir, koji polako prolazi preko brojača, prosisava određena količina zraka. Mjerni uređaji su postavljeni tako da prođe dovoljno vremena od uzimanja uzorka do mjerenja aktivnosti, kako bi se mogla izvršiti korektura s obzirom na prirodne radioaktivne elemente.

*Mjerenje alfa-aktivnosti* atmosfere može se vršiti i metodom provlačenja zraka kroz filter kojemu se mjeri radioaktivnost pomoću alfa-scintilatora. Alfa-scintilatori mogu biti ugrađeni i u uređaj za kontinuirano mjerenje aktivnosti.

Za brzu identifikaciju svježih produkata cijepanja prijeko je potreban uređaj za gama-spektrometriju. Budući da su aktivnosti vrlo niske, gama-spektrometar treba da bude snabdjeven višekanalnim analizatorom, jer inače mjerenje traje kudikamo predugo.

Osim celuloznih filtara upotrebljavaju se tzv. »milipor-filtri«. To su filtri koji imaju vrlo dobro definirane veličine pora, tako da se točno zna koje se čestice zadržavaju na filtru. Jedan od načina za uzimanje uzoraka su i *elektrostatski precipitatori*. Termički precipitator, koji je inače vrlo dobar instrument za skupljanje prašine u industrijskoj atmosferi, ne može se upotrebljavati za uzimanje uzoraka u svrhu određivanja radioaktivnosti, jer je količina zraka koja prolazi kroz takav filter u jedinici vremena kudikamo premalena.

Iako se danas proizvode vrlo dobri filtri, njihova efikasnost nije 100%-na. Da bi se dobili pouzdani podaci o efikasnosti filtara, treba je za svaku vrstu filtra posebno odrediti. Mjerenje efikasnosti brojača je također važno. Nijedan brojač ne mjeri uvijek jednako, i njegova se efikasnost mijenja iz dana u dan, pa ih treba vrlo često baždariti. Za baždarenje se najčešće upotrebljava kalij-40 i talij-204. Kojiput je potrebno da se baždarenje provodi i nekoliko puta na dan.

Za direktno mjerenje radioaktivnosti filtara vrlo su povoljni *proporcionalni brojači* s prozorima ili bez njih. Takvi brojači imaju vrlo veliku površinu, a mogu diskriminirati alfa i beta-emitere.

Za mjerenje plinovitih radioaktivnih onečišćenja upotrebljavaju se ili specijalni apsorberi ili se služimo tehnikom niskih temperatura.

Želimo li vršiti identifikaciju pojedinih radionuklida koji se zadržavaju u atmosferi, treba vršiti i kemijsku separaciju i analizu. To su vrlo *teški postupci* i rijetko se upotrebljavaju za analizu radioaktivnosti atmosfere. Radi ilustracije navodimo, da je za određivanje Sr-90 potrebno 25 dana. Radiokemijska separacija omogućuje i separaciju i kvantitativno određivanje Cs-137, Zr-95, Ru-103 i slično.

Ima vrlo velik broj različitih metoda za radiokemijsku analizu pojedinih elemenata. To znatno otežava usporedbu rezultata dobivenih u različitim laboratorijima. Kako bi se uklonio taj nedostatak, Međunarodna agencija za atomsku energiju formirala je posebnu komisiju koja je dala preporuke za odabiranje metoda za analizu radioaktivnosti biosfere uključivši i atmosferu (2). Isto takav pokušaj izvršila je posebna komisija Svjetske zdravstvene organizacije i FAO (3).

#### 4. MAKSIMALNO DOPUŠTENE KONCENTRACIJE RADIONUKLIDA U ATMOSFERI

Kako bi se dobila higijenska ocjena razine radioaktivnosti u atmosferi, potrebno je da se rezultati mjerenja usporede s određenim standardima. Ti su standardi poznati pod imenom »maksimalno dopuštenih koncentracija radionuklida u atmosferi«. U tom pogledu postoji preporuka Internacionalne komisije za radiološku zaštitu (4). Velik broj zemalja ima i svoje posebne nacionalne standarde (5, 6). Kako bismo mogli pravilno koristiti te vrijednosti, treba da poznamo njihovo porijeklo. Maksimalno dopuštene koncentracije u atmosferi su podaci dobiveni indirektnim, računskim putem. Postoje dvije metode za računanje tih vrijednosti. Jedna se osniva na usporedbi sa štetnošću radija. Postoji dovoljno dugo iskustvo po kojemu se zna koje količine radija u organizmu mogu izazvati bilo somatsko, bilo genetsko oštećenje, a zna se i gornja granica količine radija u organizmu za koju je gotovo sigurno da neće izazvati nikakvih somatskih oštećenja. U odnosu na tu količinu radija određuju se i maksimalno dopuštene koncentracije u zraku za sve radioizotope koji se talože u kostima, kao što je na primjer stroncij-90.

Druga metoda se sastoji u tom, da se izračuna doza koju bi organizam ili dio organizma primio, kad bi se određena količina radioizotopa zadržala u organizmu, uzimajući u obzir brzinu kojom se radioizotop raspada, i brzinu kojom se eliminira iz organizma prirodnim putem. Dakako da su svi ti podaci vrlo nesigurni. Zato se i sve navedene tablice redovno revidiraju. Tendencija je da se maksimalno dopuštene koncentracije iz godine u godinu snizuju, u prvom redu zbog mogućih genetskih efekata. Još nesigurniji su podaci o maksimalno dopuštenim koncentracijama za slučaj nužde ili nesreće. Neke zemlje, kao što je npr. SAD, uopće su napustile termin »maksimalno dopuštene koncentracije« i uvode termin »smjernice za razine radioaktivnosti« (Guidance Levels of Radioactivity), smatrajući da je svaka vrijednost toliko nesigurna, da ne može poslužiti kao siguran oslonac za zaštitu od zračenja, nego samo kao baza na kojoj stručnjaci treba da stvore odluku da li je riziko u određenom slučaju suviše velik ili nije.

*Literatura*

1. *Machta, L.*: Hearings before the Special Subcommittee on Radiation of the Joint Committee on Atomic Energy, 1959, str. 778.
- Machta, L. et al.*: World-wide Travel of Atomic Debris, *Science* 124 (1956) 474.
2. *IAEA*: Radioactive Substances in the Biosphere, Vienna, 1961.
3. *WHO and FAO*: Methods of Radiochemical Analysis, Technical Report Series, No. 173, Genova, 1959.
4. *IRCP*: Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, Pergamon Press, London, 1959.
5. Sanitarnije pravila raboti s radioaktivimi vešćestvami i istočnikami jonizirajušćih izlučeniĵ, Gosatomizdat, Moskva 1960.
6. Handbook 69: U. S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1953: Maximum Permissible Amounts of Radioisotopes in the Human Body and Maximum Permissible Concentrations in Air and Water, Washington, 1959.

*Summary*METHODS FOR DETERMINATION OF RADIOACTIVITY  
IN THE ATMOSPHERE

A historical review is given of the origin of radioactive contamination in the atmosphere. The distribution of the fission products after a nuclear explosion and the principles of different methods for the measurement of radioactivity in the atmosphere are presented.

*Institute for Medical Research,  
incorporating the Institute of Industrial Hygiene,  
Zagreb*

*Received for publication  
September 10, 1962*