



# STRUKTURA I DIMENZIJE RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE UZROKOVANE UPORABOM NUKLEARNOG ORUŽJA

*Boris ILIJAŠ*

Hrvatsko vojno učilište "Petar Zrinski" Laboratorij za RBK zaštitu,  
Ilica 256b, 10000 Zagreb, Hrvatska

## UVOD

Radioaktivna kontaminacija redovito prati djelovanje nuklearnog oružja, a njena struktura i dimenzije znatno ovise o okolnostima u svakom konkretnom slučaju.

Emisija ionizirajućeg zračenja počinje u trenutku nuklearne eksplozije (NE) i traje kontinuirano kroz dugi vremenski period, no njeno se porijeklo i struktura tokom tog perioda znatno mijenjaju. Uobičajena je podjela koja razlikuje početno i naknadno zračenje (1). Prva kategorija obuhvaća zračenje nastalo tokom prve minute nakon eksplozije. Ono se sastoji od  $\gamma$  zraka i neutrona u omjeru koji može znatno varirati, ovisno o tipu oružja, a emitirano je direktno iz središta eksplozije, odnosno iz tzv. vatrene kugle koja tada nastaje. Naknadno zračenje je posljedica radioaktivne kontaminacije u različitim vidovima, sastoji se od  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  zračenja, a može trajati i desecima godina nakon eksplozije.

## RASPRAVA

Najveći dio radioaktivne kontaminacije nakon NE javlja se u vidu radioaktivnih padalina, koje se mogu podijeliti na globalne ili kasne i lokalne ili rane. Prvi se slučaj javlja kad je eksplozija izvedena na većoj visini, tako da vatrene kugle ne dodirne tlo. U tom se slučaju radioaktivni materijal, nastao od dijelova bombe i okolnih plinova, nakon hlađenja kondenzira i koagulira, čime nastaju vrlo sitne čestice koje padaju na tlo mjesecima nakon eksplozije. Za to vrijeme, nošene stratosferskim vjetrovima, obiđu Zemlju, pa otuda i potiče naziv globalne (2,3).

Ako je NE izvedena na površini zemlje ili na maloj visini, dolazi do usisavanja ogromnih količina tla ili vode (može se raditi o milijunima tona), koji se miješaju s radioaktivnim materijalom i formiraju čestice znatno većih dimenzija nego u prethodnom slučaju. Te se čestice istalože na zemlju najvećim dijelom već prvog dana nakon eksplozije u relativnoj blizini (nekoliko stotina kilometara), pa se ovakve padaline nazivaju rane ili lokalne i predstavljaju najopasniju komponentu radioaktivne kontaminacije (4,5).

Osim radioaktivnih padalina, radioaktivnu kontaminaciju uzrokuje i pojava inducirane radioaktivnosti u blizini izvršenja NE. Pod djelovanjem neutrona iz početnog snopa dolazi do aktivacije pojedinih elemenata prirodno prisutnih u okolišu, a tako nastala radijacija značajna je prvih nekoliko dana nakon eksplozije.

Radioaktivni kontaminant u padalinama može poticati iz više izvora. Najznačajniji su produkti fisije nuklearnog eksploziva ( $^{235}\text{U}$  ili  $^{239}\text{Pu}$ ). Fragmenti nastali cijepanjem tih jezgara redovito su radioaktivni i u prosjeku tvore lanac od četiri radionuklida po svakom fragmentu. Budući da se jezgre urana ili plutonija mogu raspasti na četrdesetak različitih načina, ukupno može nastati preko 300 različitih radionuklida. Najznačajniji sa stanovišta radioaktivne kontaminacije dati su u tablici 1.

Uz fragmente fisije, određen broj radionuklida nastaje interakcijom neutrona iz početnog zračenja s materijalom bombe i s dušikom iz zraka. U drugom slučaju nastaje  $^{14}\text{C}$ , a u prvom je od više radionuklida najznačajnije  $^{55}\text{Fe}$  zbog svoje radiotoksičnosti.

Prilikom svake NE znatan dio nuklearnog eksploziva (često preko 80%) ne bude podvrgnut fisiji, nego se rasprši u okolicu, tako da se u radioaktivnom kontaminantu uvijek mogu naći značajne količine  $^{235}\text{U}$  ili  $^{239}\text{Pu}$ . U termonuklearnom oružju, koje radi na principu fuzije i koristi  $^{238}\text{U}$  kao reflektor neutrona i treći (fisijski) stupanj, dolazi do transformacije  $^{238}\text{U}$  u  $^{239}\text{Pu}$ , a tako nastale količine plutonija mogu znatno nadmašiti one koje nastaju u prethodno spomenutom slučaju. Također i dio  $^{238}\text{U}$  bude raspršen u okolicu.

Tricij je element koji se neizbježno javlja kao kontaminant prilikom termonuklearnih eksplozija. Najvećim dijelom nastaje u termonuklearnim reakcijama, a izvjesne količine i kao posljedica interakcije brzih neutrona s dušikom iz zraka.

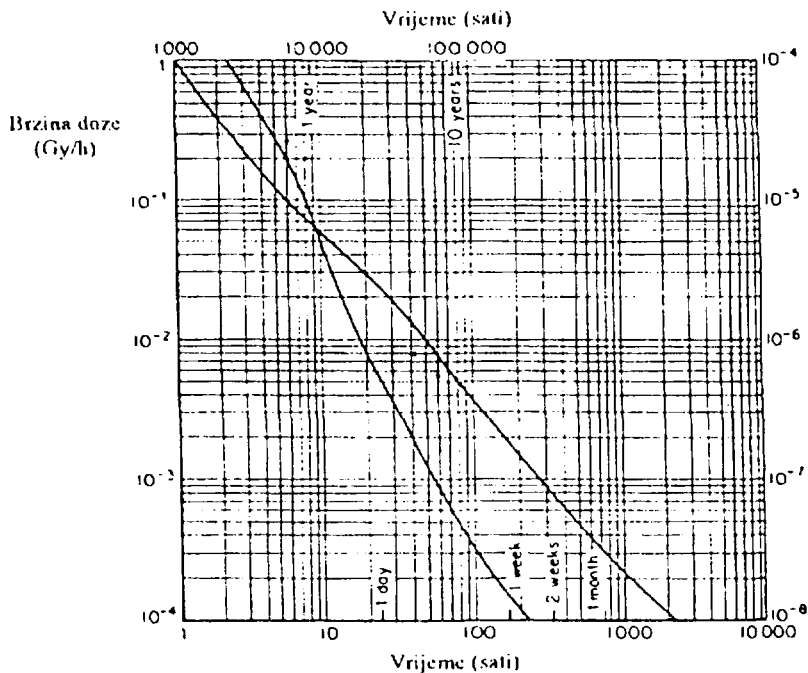
Inducirana radioaktivnost u tlu i objektima, kao i u morskoj vodi, posebno je značajna kod oružja s visokim udjelom neutrona u početnom snopu. Najznačajniji radionuklidi nastali na ovaj način su  $^{28}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Mn}$  i  $^{24}\text{Na}$ , ako je eksplozija izvedena nad kopnom, odnosno  $^{24}\text{Na}$  i  $^{38}\text{Cl}$  u slučaju eksplozije nad ili pod morskom površinom.

Iz svega navedenog vidljivo je da je zbog vrlo složene strukture radioaktivne kontaminacije teško točno procijeniti brzinu doze zračenja na nekom mjestu u određeno vrijeme, kao i ukupnu akumuliranu dozu. Ipak, uočava se da na te veličine ne utiče bitno vrsta primjenjenog oružja (osim u nekim specijalnim slučajevima (6)), a moguće ih je kvantitativno odrediti ukoliko je poznata brzina doze nakon nekog vremenskog intervala poslije eksplozije.

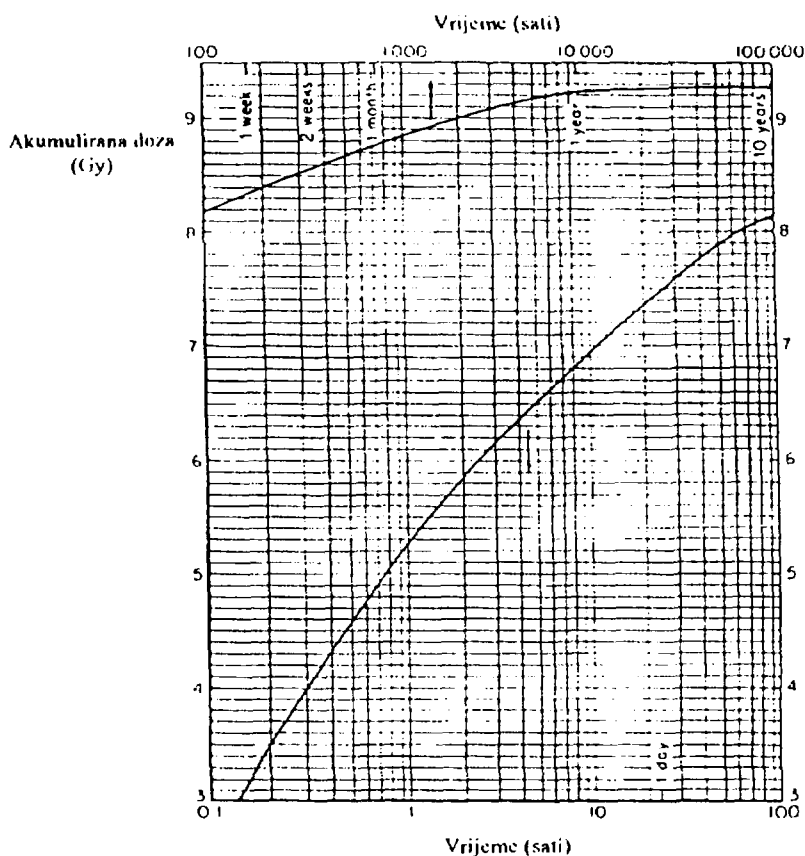
Tablica 1. Najznačajniji produkti fisije prilikom NE

Nuklid	Vrijeme poluraspada	Vrsta zračenja	Zastupljenost u produktima fisije (%)
Kripton-85	10,7 godina	$\beta, \gamma$	0,2
Stroncij-89	50,5 dana	$\beta$	2,9
Stroncij-90	28,8 godina	$\beta$	3,2
Itrij-91	58,5 dana	$\beta, \gamma$	5,8
Cirkonij-93	$1,5 \times 10^6$ godina	$\beta$	6,4
Cirkonij-95	64,0 dana	$\beta, \gamma$	6,3
Tehnecij-99	$2,1 \times 10^5$ godina	$\beta$	6,3
Rutenij-103	39,4 dana	$\beta, \gamma$	6,6
Rutenij-106	367 dana	$\beta$	2,7
Jod-129	$1,6 \times 10^7$ godina	$\beta, \gamma$	0,9
Jod-131	8,04 dana	$\beta, \gamma$	3,2
Ksenon-133	5,25 dana	$\beta, \gamma$	5,5
Cezij-134	2,06 godina	$\beta, \gamma$	6,6
Cezij-135	$3 \times 10^6$ godina	$\beta$	6,0
Cezij-137	30,2 godine	$\beta, \gamma$	6,2
Barij-140	12,8 dana	$\beta, \gamma$	5,7
Cerij-144	284 dana	$\beta, \gamma$	4,9
Prometij-147	2,6 godina	$\beta, \gamma$	2,4
Samarij-151	90 godina	$\beta, \gamma$	0,5

Slika 1. prikazuje promjenu brzine doze u vremenu u slučaju kad je ista uzrokovana ranim radioaktivnim padalinama i uz pretpostavku da je nakon 1 sata iznosila 1 Gy/h (referentna doza).



Slika 1. Brzina doze uzrokovana ranim radioaktivnim padalinama kao funkcija vremena nakon NE (referentna brzina doze je 1 cGy/h nakon 1 h)

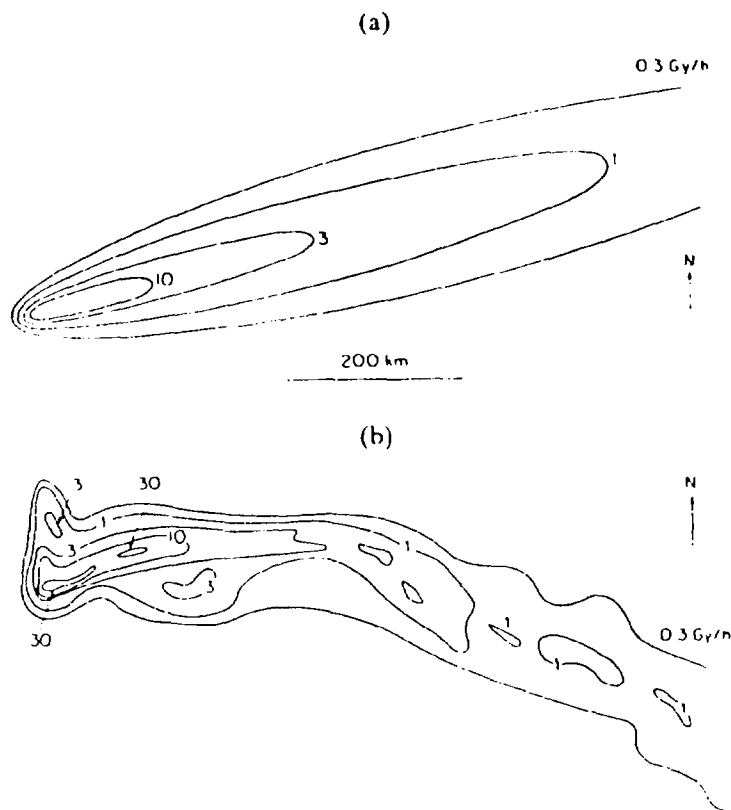


Slika 2. Ukupna akumulirana doza uzrokovana radioaktivnim padalinama kao funkcija vremena nakon NE (referentna brzina doze je 1 cGy/h nakon 1 h)

Na slici 2. prikazana je, uz pretpostavku iste referentne doze, ukupna akumulirana doza, počevši od 1 minute nakon eksplozije.

Za slučajeve drugih referentnih doza mogu se koristiti isti grafovi, s tim da se vrijednosti preračunaju na konkretan slučaj. Na veličinu i oblik kontaminiranog područja, kao i na raspodjelu kontaminanta po njemu, utiče više faktora. Kontaminant (lokalne padaline) se sastoji od čestica čija veličina varira između 1 $\mu$ m i 1mm, s maksimumom raspodjele oko 50 $\mu$ m. Oblik područja je u idealnom

slučaju eliptičan, s dužom osi u smjeru puhanja vjetrova, a njegove dimenzije ovise o jačini i visini izvršenja eksplozije, brzini vjetrova i sastavu tla. U stvarnosti postoji još mnogo čimbenika koji se moraju uzeti u obzir. Na slici 3. prikazan je idealizirani i stvarno očekivani oblik kontaminiranog područja s izodoznim krivuljama u jednom konkretnom slučaju.



Slika 3. Idealizirani (a) i očekivani (b) oblik izlaznih krivulja za površinsku NE j ačine 10 MT na definiranom terenu pri brzini vjetrova 50 km/h

Razlozi zbog kojih dolazi do deformiranja idealnih krivulja mogu biti u promjeni snage i smjera vjetrova tokom taloženja čestica, kiši ili snijegu koji se mogu pojaviti i sa sobom povući dio padalina formirajući tako manja područja vrlo jake kontaminacije (tzv. "vruće točke"), a također i isprati kontaminant s drugih, te u nepravilnostima terena i objektima koji su na njemu (da li prevladavaju urbana područja, šume, vodene površine itd.). Svi su ti slučajevi

zabilježeni prilikom izvođenja nuklearnih pokusa, ponekad s teškim posljedicama (7).

Unatoč svemu spomenutom, procjena situacije može biti vrlo korisna i neprekidno se radi na sustavima koji će što vjernije predviditi stvarno stanje u slučaju radioaktivne kontaminacije uzrokovane nuklearnim udarom.

## ZAKLJUČAK

Radioaktivna kontaminacija koja nastaje kao posljedica uporabe nuklearnog oružja složene je strukture i zahvaća velika područja. Uz određene pretpostavke moguće je predviditi brzinu doze zračenja kao i ukupnu akumuliranu dozu na nekom mjestu u određeno vrijeme nakon eksplozije. Predviđanje dimenzija i oblika kontaminiranog područja, kao i raspodjele kontaminacije po njemu, vrlo je složen posao koji zahtjeva mnogo podataka i odgovarajuću tehničku potporu.

## POPIS LITERATURE

1. Glasstone S., Dolan P.J., The Effects of Nuclear Weapons, U.S. Department of Defense and Energy, Washington D.C., 1977.
2. Peterson K.R., An empirical model for estimating world-wide deposition from atmospheric nuclear explosions, *Health Physics*, 1970; 18: 357-78
3. Krey P.W., Krajewski B., Comparison of atmospheric transport calculations with observations of radioactive debris, *Journal of Geophysics Research*, 1970; 75: 2901
4. Warner F., The environmental effects of nuclear war: Consensus and uncertainties, *Environment*, 1988; 30: 2-7
5. Pittoch A.B., Ackermann T.P., Crutzen T.J., MacCracken M.C., Shapiro C.S., Turco R.P., *Environmental Consequences of Nuclear War, Vol.1: Physical and atmospheric effects*, New York: John Willey and Sons, 1986.
6. Arnold J.R., The Hydrogen-cobalt bomb, *Bulletin of Atomic Scientists*, 1950; 6 290
7. Johnson G., Paradise lost, *Bulletin of Atomic Scientists*, 1980; 36: No.10, p.24

# STRUCTURE AND DIMENSIONS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION CAUSED BY USE OF NUCLEAR WEAPONS

*Boris ILIJAŠ*

Croatian Military Academy  
Laboratory for NBC Protection  
Ilica 256b, 10000 Zagreb, Croatia

Radioactive contamination is one of unavoidable consequences of nuclear burst. Its structure and dimensions are dependent of many factors connected with type of weapon, with meteorological conditions and location of burst and characteristics of area involved. Contamination manifests in two ways - as induced radioactivity in the nearness of the center of explosion and as radioactive fallout.

Induced radioactivity originates from interaction of neutrons from primary beam with elements naturally present in environment, which results in creating radionuclides and area of radioactive contamination. Radioactive fallout consists of material formed or collected in the explosion that falls on earth in form of small particles. This contaminant contains  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  sources with structure dependent of explosive energy and location of burst. Some radionuclides, often present in fallout, are very dangerous as internal sources ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ).

Dimension of contaminated area varies widely, but if one has knowledge of enough parameters, it is possible to predict its shape, as well as dose rate on some distance from zero point. Preciseness of this work is essentially affected by credibility of data involved and by kind of selected model.

Using of well-chosen model enables on-time evaluation of risk from radioactive contamination and planning adequate protection.