

## RADIOAKTIVNOST JADRANSKOG MORA

A. BAUMAN, M. JURAS, DJ. STAMPF i E. SOKOLOVIĆ

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb*

*(Primljeno 18. X 1979)*

Od 1963. godine praćena je radioaktivna kontaminacija Jadranskog mora.  $^{90}\text{Sr}$  je određivan kontinuirano, a  $^{137}\text{Cs}$  povremeno. Definirana je vrijednost omjera aktivnosti  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr} = 1,56$ . Koncentracija U i Ra istog je reda veličine kao u površinskom sloju svjetskih mora.

Poznavanje radioaktivnosti Jadranskog mora od osobite je važnosti jer je riječ o zatvorenom moru, a postoji mogućnost da s razvitkom nuklearne industrije s obje strane Jadrana dođe do ispuštanja radioaktivnog materijala u morsku vodu. To je razlog zašto je u svakom trenutku potrebno poznavati koncentraciju radionuklida u pojedinim dijelovima Jadranskog mora. Posebice je to važno za Jadran s obzirom na njegovu plitkost, jer bi ovakvo ispuštanje značilo možda dugogodišnju kontaminaciju pojedinih dijelova jadranske obale.

Još za vrijeme trajanja nuklearnih pokusa koje su izvodili SAD i SSSR početkom 60-ih godina izvršena su prva ispitivanja radioaktivnosti morske vode u Laboratoriju za radioaktivnost biosfere Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu.

Od 1963. godine započelo se sistematskim mjerenjima  $^{90}\text{Sr}$  u morskoj vodi duž obale Jadrana. Međutim, ti podaci nisu nikada bili sistematizirani.  $^{137}\text{Cs}$  određivan je sporadično jer se takva ispitivanja donedavna nisu financirala, a samo sakupljanje uzoraka vrlo je skupo. Da bi se dobila potpuna slika radioaktivne kontaminacije u Jadranskom moru, izvršena su 1978. godine opsežna ispitivanja prisutne kontaminacije  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u moru. Osim navedenih fizijskih produkata, određena je i koncentracija urana i  $^{226}\text{Ra}$  u moru. Time je poznavanje radioaktivne kontaminacije Jadrana upotpunjeno podacima o sadržaju prirodnih radionuklida u moru.

## MATERIJAL I METODE

*Morska voda:* Uzorci morske vode sakupljaju se na udaljenosti 3 km od obale, na 0,50 m dubine. Za  $^{90}\text{Sr}$  sakupljano je do 1968. godine 40 litara po uzorku, međutim zbog poteškoća oko određivanja niske aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  u moru, od 1969. godine sakuplja se po 100 litara.

Za određivanje  $^{137}\text{Cs}$  uzorci su sakupljeni na isti način kao i za  $^{90}\text{Sr}$ , pri čemu je minimalna količina uzorka iznosila 100 litara, a danas i više.

*Metode:* Odjeljivanje  $^{90}\text{Sr}$ :  $^{90}\text{Sr}$  je sutaložen s kalcijem prisutnim u morskoj vodi kao oksalat. Kalcij služi kao neizotopni nosač. Kada je uspostavljena radioaktivna ravnoteža između  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{90}\text{Y}$  (2), ovaj potonji je radiokemijski odvojen kao  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . Radioaktivnost je izmjerena pomoću G. M. brojača s niskim osnovnim brojenjem.

Usporedo s određivanjem  $^{90}\text{Sr}$  u morskoj vodi određuje se i  $^{90}\text{Sr}$  u radioaktivnim padavinama ekstrakcijom TBF (3), a radioaktivnost se mjeri kao gore. Radioaktivne padavine se sakupljaju kao mjesečni uzorak.

Određivanje  $^{137}\text{Cs}$ : Godine 1965. odjeljivanje  $^{137}\text{Cs}$  provedeno je taloženjem kobaltnitritom. Talog je otopljen i  $^{137}\text{Cs}$  istaložen Cezignostom<sup>(4)</sup>. Radioaktivnost je izmjerena primjenom kristala NaJ(Tl) i 256-kanalnog analizatora. Godine 1978.  $^{137}\text{Cs}$  je taložen po postupku kako je ranije opisano (5, 6), radioaktivnost izmjerena Ge(Li) detektorom povezanim s 1024-kanalnim analizatorom.

Detekcija urana i  $^{226}\text{Ra}$  izvršena je gama-spektrometrijom na Ge (Li) detektoru i 1024-kanalnim analizatorom, preko njihovih potomaka, gama-emitera, tako da je izmjeren šiljak na 1756 keV, 185 keV i 63 keV.

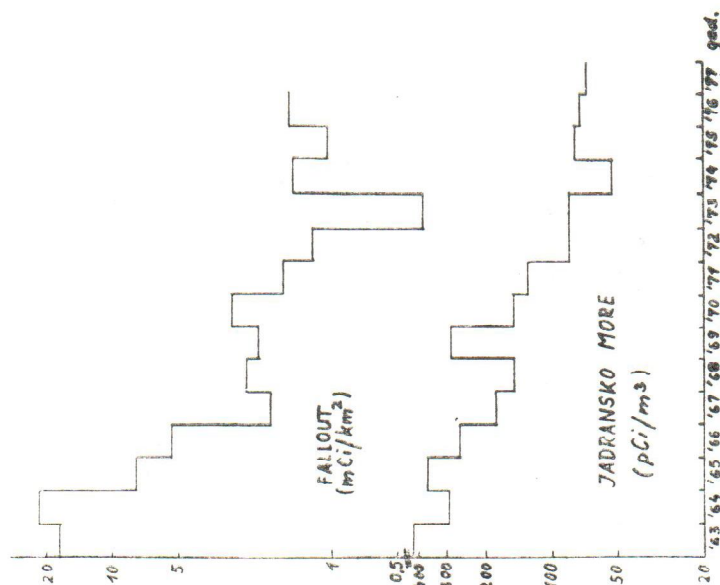
Tablica 1.

*Lokacija uzimanja morske vode*

Lokacija	Geografska širina	Geografska dužina
Sjeverni Jadran I	45°04'	13°37'
Sjeverni Jadran II	45°19'	14°26'
Srednji Jadran	43°26'	16°25'
Južni Jadran	42°37'	18°07'

## REZULTATI

Rezultati ispitivanja radioaktivnosti Jadrana prikazani su na slikama i tablicama. Slike od 1. do 4. daju radioaktivnost  $^{90}\text{Sr}$  duž jadranske obale. Slika 1. prati kretanje  $^{90}\text{Sr}$  u moru i u radioaktivnim padavinama (fallout).

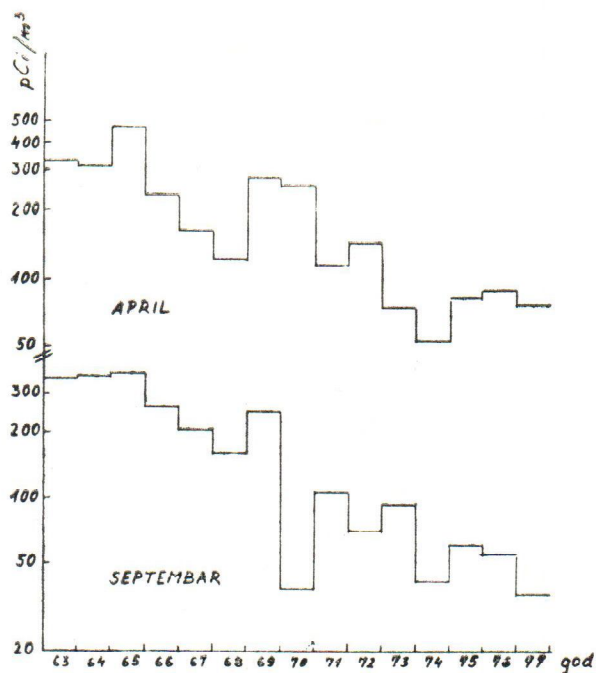


Sl. 1.  $^{90}\text{Sr}$  u fallout-u i u Jadranskom moru

Aktivnost morske vode slijedi radioaktivne padavine sa zakašnjenjem od godine dana. Ti se podaci razlikuju od aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  uz obalu Italije (3). Najviši rezultat, 472 pCi/m<sup>3</sup> postignut je u travnju 1965. godine u Sjevernom Jadranu I. Kontinuirani pad aktivnosti može se slijediti do 1969. godine, kada ponovno dolazi do porasta koncentracije  $^{90}\text{Sr}$ . Od 1974. do 1977. godine aktivnost  $^{90}\text{Sr}$  naglo pada. Ako usporedimo koncentracije  $^{90}\text{Sr}$  uz našu obalu i obalu Italije, uočljivi su znatno viši rezultati u Italiji, koji su premašivali i vrijednosti od 1 000 pCi/m<sup>3</sup>(<sup>2</sup>), u odnosu na naš dio jadranske obale, gdje 500 pCi/m<sup>3</sup> nije nikada premašeno.

Sjeverni Jadran (sl. 2) pokazivao je najvišu aktivnost  $^{90}\text{Sr}$ , što ne začuđuje ako se uzmu u obzir velike količine slatke vode koje donosi rijeka Po, u koju se slijeva dobar dio radioaktivnih padavina iz Sjeverne Italije.

Najniža aktivnost  $^{90}\text{Sr}$  od 36,0 pCi/m<sup>3</sup> izmjerena je u rujnu 1977. godine. Najbrži pad aktivnosti zabilježen je 1970. godine, kada je vrijed-



Sl. 2.  $^{90}\text{Sr}$  u morskoj vodi sjevernog Jadrana

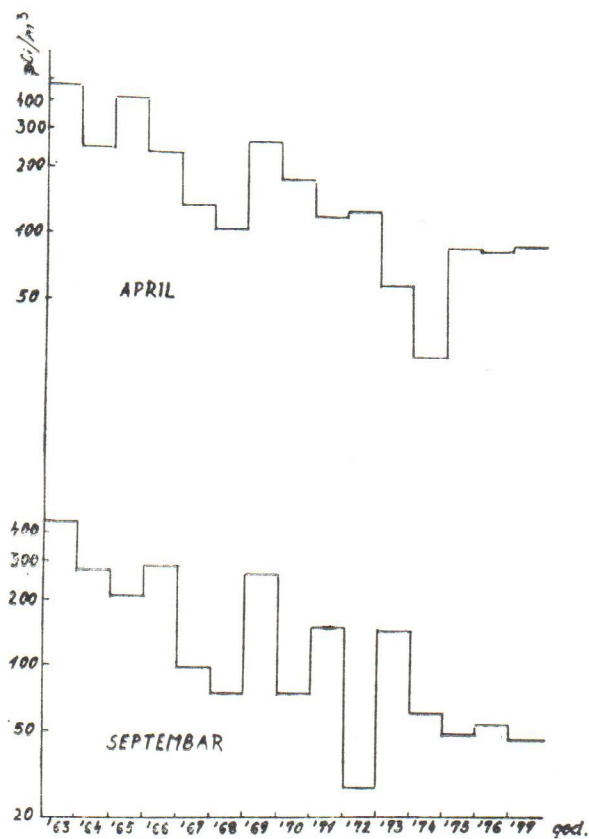
nost  $^{90}\text{Sr}$  pala na 1/4 od jeseni do proljeća. Od 1973. godine na dalje, rezultati i za proljeće i za jesen nalaze se ispod 100 pCi/m<sup>3</sup>.

Srednji Jadran slijedi proljetne vrijednosti za  $^{90}\text{Sr}$  koje pokazuje Sjeverni Jadran. I ovdje je najviša aktivnost određena u travnju 1963. godine, i to 462,0 pCi/m<sup>3</sup>. Kao i na Sjevernom Jadranu minimum kontaminacije postignut je već u travnju 1974. godine, i to sa 27,0 pCi/m<sup>3</sup>, a to je i najniža vrijednost za  $^{90}\text{Sr}$  registrirana do sada na našem dijelu Jadrana. Inače na ovoj lokaciji dolazi do značajne razlike u aktivnosti rujanskih uzoraka  $^{90}\text{Sr}$  u odnosu na Sjeverni Jadran, a rezultati su otprilike dva puta viši. Tek od 1974. godine na dalje svi rezultati nalaze se ispod 100 pCi/m<sup>3</sup>. Takvo sniženje aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  registrirano je na Sjevernom Jadranu već godinu dana ranije. Na Južnom Jadranu započeto je kontrolom  $^{90}\text{Sr}$  godinu dana nakon drugih lokacija, pa tako manjkaju podaci za 1964. godinu. Najviša aktivnost pojavila se vrlo kasno, i to 1969. godine, kada je na drugim mjestima već registriran kontinuirani pad radioaktivnosti. Nakon toga se koncentracija  $^{90}\text{Sr}$  snižavala do 46,0 pCi/m<sup>3</sup>, što je za minimum znatno više od ostalih lokacija. Kao što se

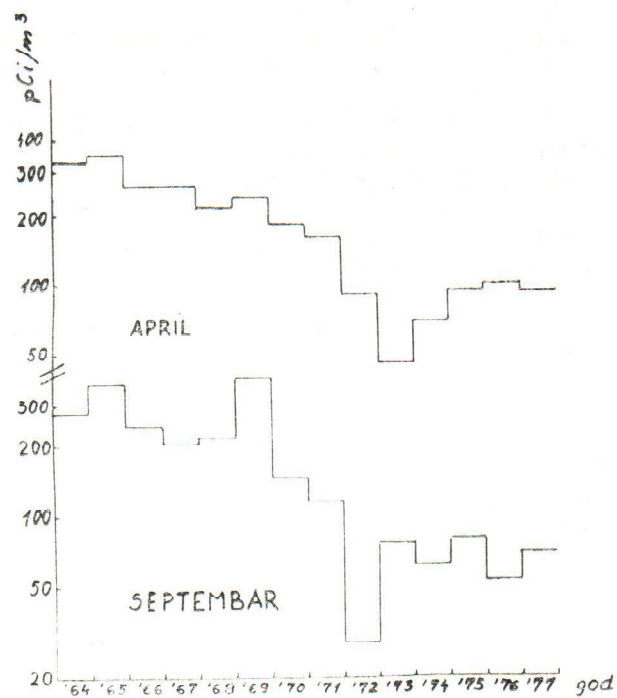
visoka aktivnost  $^{90}\text{Sr}$  zadržala još do 1969. godine, isto tako je i pad aktivnosti ispod granice od  $100 \text{ pCi/m}^3$  dostignut tek 1976. godine. Najniža aktivnost registrirana je u rujnu 1972. godine. Od tada nema više aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  iznad  $80 \text{ pCi/m}^3$ .

Za  $^{137}\text{Cs}$  je mnogo teže dati tok kontaminacije negoli kod  $^{90}\text{Sr}$ . Mjerenje aktivnosti izvršeno je 1965. godine na Sjevernom Jadranu II, a dobivena je vrijednost od  $640,0 \text{ pCi/m}^3$ . Sistematska ispitivanja  $^{137}\text{Cs}$  provode se tek od prvog tromjesečja 1978. godine.

U tablici 2. prikazano je kretanje aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u Jadranskom moru tokom 1978. godine. Najviše vrijednosti za  $^{137}\text{Cs}$  u Sjevernom Jadranu I dobivene su ljeti i zimi. Na području Sjevernog Jadrana II je aktivnost ujednačena tokom cijele godine. Srednji Jadran pokazuje najnižu



Sl. 3.  $^{90}\text{Sr}$  u morskoj vodi srednjeg Jadrana



Sl. 4. <sup>90</sup>Sr u morskoj vodi južnog Jadrana

Tablica 2.  
<sup>137</sup>Cs u Jadranskom moru (pCi/m<sup>3</sup>) tokom 1978. godine

		Sjeverni Jadran		Srednji Jadran	Južni Jadran
		I	II		
		pCi/m <sup>3</sup>	pCi/m <sup>3</sup>	pCi/m <sup>3</sup>	pCi/m <sup>3</sup>
I	tromjesečje	155,30	114,80	64,60	124,55
II	tromjesečje	219,80	108,40	80,10	112,40
III	tromjesečje	55,61	112,50	78,08	111,65
IV	tromjesečje	202,53	118,41	156,51	126,63

Tablica 3.

Prosjeak  $^{137}\text{Cs}$  u morskoj vodi (pCi/m<sup>3</sup>) tokom 1978. godine

Sakupljačko mjesto	pCi $^{137}\text{Cs}$ /m <sup>3</sup>
Sjeverni Jadran I	158
Sjeverni Jadran II	113
Srednji Jadran	94
Južni Jadran	118

koncentraciju na Jadranu uopće, a najviše vrijednosti dostiže u zimi. Južni Jadran je ujednačen tokom cijele godine. Međutim, najveća kontaminacija postoji na Sjevernom Jadranu prema Tršćanskom zaljevu, što se odražava i na vrijednostima za Sjeverni Jadran I.

Tablica 4.

Omjer koncentracija  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  u Jadranskom moru 1978. godine

Sakupljačko mjesto	pCi/m <sup>3</sup> $^{137}\text{Cs}$	pCi/m <sup>3</sup> $^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
Sjeverni Jadran I	158	85	1,85
Sjeverni Jadran II	113	80	1,41
Srednji Jadran	94	59	1,59
Južni Jadran	118	90	1,31
Prosjeak za Jadran	121	78	1,56

Iz tablice 4. vidi se da omjer koncentracije  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  u Jadranskom moru slijedi tok kretanja fizijskih produkata  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  kao i u ostalim svjetskim morima, bez većih odstupanja. Čak je i omjer  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  sa 1,56 vrlo blizu podatka utvrđenog za sva mora od 1,60 (7, 8).

Pokušamo li sada ekstrapolirati  $^{137}\text{Cs}$  u razdoblju od 1963. godine naovamo, na temelju faktora izračunatog iz tablice 4, i to najnižeg i najvišeg dobivamo zanimljive podatke.

Ako podatak u tablici 5, izračunat za Sjeverni Jadran 1965. godine od 650 pCi/m<sup>3</sup> usporedimo s izmjerenom vrijednošću od 640 pCi/m<sup>3</sup>, vidimo gotovo potpuno slaganje eksperimentalnog i računskog rezultata.

Osim fizijskih produkata u Jadranskom moru, ispitana je i kontaminacija prirodnim radionuklidima, pa su dobiveni podaci za uran i  $^{226}\text{Ra}$  prikazani u tablici 5. Pri tom je srednja vrijednost za uran 3,40 mg U/m<sup>3</sup>, što odgovara poznatim podacima za ostale oceane. Isto se tako aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  ne razlikuje od ostalih mora (8).

Tablica 5.

*Ekstrapolirane vrijednosti za  $^{137}\text{Cs}$  u  $\text{pCi}/\text{m}^3$  izračunate pomoću faktora 1,56 iz podataka za  $^{90}\text{Sr}$*

	Sjeverni Jadran	Srednji Jadran	Južni Jadran
1963.	527	724	
1964.	516	401	5466
1965.	650	488	555
1966.	415	404	390
1967.	284	183	362
1968.	220	139	332
1969.	411	418	488
1970.	231	198	256
1971.	172	211	212
1972.	170	122	94
1973.	131	159	95
1974.	73	67	101
1975.	112	108	134
1976.	114	109	119
1977.	89	108	126

Tablica 6.

*Koncentracije urana i  $^{226}\text{Ra}$  u Jadranskom moru*

Lokacija	U ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	$^{226}\text{Ra}$ ( $\text{pCi}/\text{m}^3$ )
Sjeverni Jadran I	3,28	44,0
Sjeverni Jadran II	3,38	46,2
Srednji Jadran	3,55	47,6
Južni Jadran	3,40	45,6

#### ZAKLJUČAK

Iz rezultata dobivenih za  $^{90}\text{Sr}$  opaža se postepeni pad radioaktivnosti nakon zabrane nuklearnih eksperimenata. Taj se pad nastavlja 70-ih godina i pored privremene stabilizacije zbog kineskih nuklearnih eksplozija. Podaci za  $^{137}\text{Cs}$  su nepotpuni, ali i takvi dokazuju da i ovdje kao i u ostalim svjetskim morima  $^{137}\text{Cs}$  prati tok kretanja  $^{90}\text{Sr}$ , što je uočeno od MAAE (8). Koncentracija urana i  $^{226}\text{Ra}$  ne razlikuje se od ostalih svjetskih mora.



### Literatura

1. Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji: RBIO 1962—1976, Beograd.
2. *Malvicini, V., Vido, A.*: CNI-93, Ispra (1961).
3. Data on Environmental Radioactivity collected in Italy, ONEN 1963—1966.
4. *Payton, H. P., Hild, B. S.* i dr.: Health Phys., 38 (1977) 145—148.
5. *Bauman, A., Juras, M.*: Kem. ind., 6 (1971) 265.
6. *Bauman, A.*: Disertacija, Tehnološki fakultet, Zagreb (1965).
7. *Kupferman, S. L., Livingston, H. D., Browen, V. T.*: Marine Res., 37 (1979) 157.
8. Technical Rep. Ser. 177: Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems, IAEA Vienna (1976).

### Summary

#### RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE ADRIATIC

The control of the radioactive contamination of the Adriatic Sea started in 1963.  $^{90}\text{Sr}$  has been measured at regular intervals, and  $^{137}\text{Cs}$  sporadically. The value of  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  in the sea water has been determined as 1.56. The same amount of U and  $^{226}\text{Ra}$  activity has been found as in world oceans.

*Institute for Medical Research  
and Occupational Health, Zagreb*

*Received for publication  
October 18, 1979*