

## **PREGLED RAZVITKA RADIOEKOLOGIJE JADRANSKOG MORA**

*Zdenko Franić<sup>1</sup>, Branko Hanžek<sup>2</sup>, Gina Branica<sup>1</sup>, Branko Petrinec<sup>1</sup> i  
Gordana Marović<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Zavod za povijest i filozofiju znanosti,

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb

[franic@imi.hr](mailto:franic@imi.hr)

### **UVOD**

U radu su prikazani povijesni pregled i neki rezultati istraživanja radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora prirodnim i antropogenim radionuklidima s naglaskom na istočnu obalu. Prva poznata istraživanja radioaktivnosti Jadrana objavio je prof. dr. Peter Salcher još godine 1909., usporedivši ih sa sličnim istraživanjima provedenim na Atlantskom oceanu. Sustavna istraživanja vezana uz radioekologiju istočne obale Jadranskog mora počela su 1961. godine na tri lokacije (Rovinj, Split i Dubrovnik) u organizaciji Uprave za civilnu zaštitu Državnog sekretarijata za narodnu obranu SFRJ, a mjerile su se koncentracije aktivnosti <sup>90</sup>Sr i <sup>137</sup>Cs u morskoj vodi. Sređivanje podataka, standardizaciju i tehničku obradu rezultata koordinirao je inž. Velimir Popović iz Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI). Suvremena radioekološka ispitivanja u Republici Hrvatskoj vezana uz Jadransko more danas provodi Jedinica za zaštitu od zračenja IMI-a unutar programa "Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj" i u sklopu znanstvenog projekta "Radioekologija Jadranskoga mora i priobalja".

### **REZULTATI**

Peter Salcher (1848-1928) bio je profesor na austrougarskoj carskoj i kraljevskoj mornaričkoj akademiji (k.u.k. Marine Akademie) u Rijeci i jedan od prvih radiofizičara u Hrvatskoj. U proljeće 1909. godine proveo je prva radioekološka istraživanja Jadranskog mora te ih iste godine i objavio [2]. Ideju je dobio od istraživača Himstedta, Sommera i Knocha, koji su istraživali radioaktivnost Atlantskog oceana. Salcherova mjerenja su prikazana u tzv. ME (Mache-Einheit) jedinicama koje su se svojevremeno koristile u balneologiji za označavanje volumne koncentracije radona u vodi

i zraku. ME je definirana kao količina radona, (u praksi  $^{222}\text{Rn}$ ) po litri, a koji uzrokuje ionizacijsku struju od 0,001 StatAmper (0,001 esu). Odnosno:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ME} &= 1 \times 10^{-3} \text{ esu L}^{-1} \times \text{s}^{-1} = 3,336 \times 10^{-12} \text{ A L}^{-1} \text{ s}^{-1} \\ 1 \text{ ME} &= 3,64 \text{ Eman} = 3,64 \times 10^{-10} \text{ Ci L}^{-1} = 13,4545 \text{ Bq L}^{-1} \\ 1 \text{ Eman} &= 0,275 \text{ ME} = 10^{-10} \text{ Ci L}^{-1} = 3,7 \text{ Bq L}^{-1} \end{aligned} \quad (1)$$

U Tablici 1 prikazani su neki Salcherovi rezultati. U zagradama su preračunate vrijednosti u  $\text{BqL}^{-1}$ .

Tablica 1. Aktivnost morske i vodovodne vode u Riječkom zaljevu

Datum	Mjesto sakupljanja	Lokacija i dubina	Aktivnost	
			V/h/L	ME (Bq/L)
13.05.	Rijeka	Morska voda 4 m	26,5	0,31 (4,17)
11.06.	„	Morska voda 4 m	22,1	0,27 (3,63)
15.05.	„	Morska voda 10 m	31,6	0,38 (0,38)
18.05	„	Morska voda 20 m	24,2	0,29 (3,90)
22.05.	„	Morska voda 20 m	19,8	0,23 (3,09)
14.06.	„	Morska voda 28 m	33,4	0,40 (5,38)
21.05.	Rijeka (Marine Ak.)	Vodovodna voda	39,4	0,47 (6,32)

Valja naglasiti da zbog tehnike mjerenja rezultati nisu usporedivi s literaturnim podacima za koncentracije aktivnosti u morskoj vodi, bilo tada dostupnim koje citira Salcher (razlikuju se čak za jedan red veličine), bilo današnjima. Međutim, zanimljivi su trendovi i relativne vrijednosti. Mjerenja su izvedena pomoću fontaktoskopa, specijalnog elektroskopa za mjerenja radioaktivnosti vode. Salcher u svome radu iznosi sljedeća zapažanja:

- aktivnosti u Riječkom zaljevu su više u odnosu na one izmjerene na otvorenom moru;
- aktivnost površinske vode smanjuje se udaljavanjem od obalnog pojasa;
- aktivnosti površinske vode se smanjuju s povećavanjem dubine, da bi opet pri dnu rasle.

Salcher potom detaljno raspravlja o gornjim zapažanjima tumačeći opaženu razdiobu aktivnosti rasporedom morskih struja u Jadranu. Zanimljivo je kako Salcher propituje i relativizira i moguće zdravstvene (tada se vjerovalo pozitivne) učinke emanacije u toplicama, budući da su aktivnosti izmjerene u vodi tih kupališta usporedive s aktivnostima vode koje je Salcher pronašao u Riječkom zaljevu.

Mogli bismo reći da se Salcher ne samo upustio u nešto što bismo mogli smatrati pretečom dozimetrijskih razmatranja, već je bio i jedan od pionira uporabe prirodne radioaktivnosti kao obilježivača (*radiotracer*) morske vode, a da to u naravi nije mogao znati.

Istraživanja radioaktivnosti morske vode je na Mediteranu (Tirensko more) proveo godine 1911. i Domenico Pacini sa Sveučilišta u Bariju proučavajući kozmičko zračenje. Međutim, nakon tih eksperimenata, prema dostupnim literaturnim i ostalim podacima, I. svjetski rat je prekinuo bilo kakva istraživanja vezana uz radioekologiju mora, a isto vrijedi i za razdoblje između dva svjetska rata. Ponovni interes za proučavanje i nadzor (*monitoring*) radioaktivne kontaminacije morskog okoliša na globalnom planu javlja se nakon razdoblja intenzivnih atmosferskih proba nuklearnog oružja 1960-tih godina koje su uzrokovale pojavu radioaktivnih oborina (*fallout*) i posljedično zagađivanje morske vode. Na području istočne obale Jadranskog mora sustavna istraživanja vezana uz radioekologiju započela su 1961. godine na tri lokacije (Rovinj, Split i Dubrovnik) u organizaciji Uprave za civilnu zaštitu Državnog sekretarijata za narodnu obranu SFRJ. Predmet proučavanja u tim istraživanjima su brzina doze, ukupna alfa i ukupna beta aktivnost, kao i antropogeni tj. fizijski radionuklidi  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ .

Kvaliteta tih podataka svakako jest u tome što je naručitelj želio doći do konkretnih vrijednosti za koncentracije aktivnosti promatranih radionuklida u medijima od interesa. Vezano uz program osiguranja kvalitete podataka valja napomenuti da su institucije koje su provodile mjerenja imale opremu različite kvalitete, a i metode nisu bile standardizirane. Također, interkomparacije, barem u početku programa, provodile su se rijetko ili nikako.

Ova su se istraživanja nastavila u sličnom opsegu do početka 1980-tih godina, kada odgovornost za nadzor radioaktivne kontaminacije okoliša preuzimaju pojedine republike što se odnosilo i na radioekologiju mora. U RH suvremena radioekološka ispitivanja vezana uz Jadransko more danas provodi Jedinica za zaštitu od zračenja IMI-a unutar programa „Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj“, a čiji je naručitelj Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Zahtijeva se da podatci uključuju i ukupnu nesigurnost metode. Takav pristup naime omogućuje proučavanje trendova, matematičko modeliranje i sl. kako bi se u slučaju potrebe provele određene korektivne akcije i mjere. Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost uz to zahtijeva i međunarodnu akreditaciju laboratorija koji provode ispitivanja.

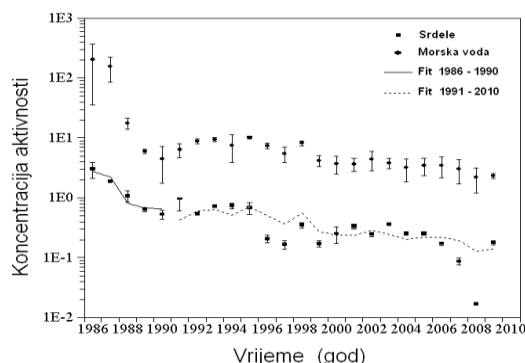
Radioaktivnost Jadrana proučava se i u sklopu znanstvenog projekta "Radioekologija Jadranskoga mora i priobalja".

Slična, komplementarna istraživanja provode se i na Institutu Ruđer Bošković, a uspostavljena je i suradnja s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (IAEA). Npr., na radioekološkom krstarenju godine 1997. sudjelovalo je preko 30 međunarodnih znanstvenika. Tada su po prvi put istraženi i prirodni fenomeni kao što je povišeno osnovno zračenje srednje-dalmatinskih otoka magmatskog podrijetla te su prikupljeni i obrađeni sedimenti iz Južnojadranske kotline (1000 m), najdublje točke Jadranskog mora [3]. Program radioekološkog monitoringa Jadrana i priobalja se tijekom godina vrlo malo mijenjao (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz uzoraka u radioekološkom monitoringu Jadrana

Uzorak	Lokacija	Frekvencija	Analiza
Morska voda	Rovinj, Plomin, Rijeka, Kaštela, Split, Dubrovnik	Proljeće i jesen	$\gamma$ -spektrometrija, analiza $^{90}\text{Sr}$ i $^{226}\text{Ra}$
Radioaktivne oborine	Pula, Rijeka, Zadar, Dubrovnik	Kontinuirano uzorkovanje,	$\gamma$ -spektrometrija, analiza $^{90}\text{Sr}$ (Zadar)
Cisterske vode	Cca 15 lokacija duž jadranske obale	Proljeće	$\gamma$ -spektrometrija
Brzina aps. doze u zraku	Zadar	Kontinuirano uzorkovanje	$\gamma$ -spektrometrija
Bioindikatorski organizmi	5-7 lokacija duž jadranske obale	Proljeće	$\gamma$ -spektrometrija, analiza $^{90}\text{Sr}$

Prikupljeni uzorci analiziraju se prema akreditiranim metodama prema međunarodnoj normi HRN EN ISO/IEC 1702. Za ilustraciju nekih rezultata mjerenja uzoraka prikazanih u Tablici 2, na Slici 2 prikazan je vremenski slijed koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u morskoj vodi i srdelama u Jadranskom moru u post-černobilskom razdoblju [4]. Kao što je iz slike vidljivo, a u gornjem tekstu spomenuto, kvalitetna dugogodišnja baza podataka omogućuje i matematičko predviđanje trendova odnosno točno opisivanje matematičke funkcije koja u ovom slučaju opisuje eksponencijalno opadanje koncentracija aktivnosti kao i procjenu efektivnog (ekološkog) vremena boravka  $^{137}\text{Cs}$  u morskoj vodi i biološkom uzorku.



Slika 2. Koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u morskoj vodi i srdelama

### ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Iako početak radioekoloških istraživanja Jadranskog mora seže još u godinu 1909., začetak sustavnih istraživanja započinje 1960-tih godina. Nositelj tih istraživanja u Republici Hrvatskoj je u kontinuitetu do danas IMI, Jedinica za zaštitu od zračenja. Nakon nuklearne nesreće u Čornobilju interes se širi i na ostale radionuklide. Dugogodišnja baza podataka omogućuje matematičko modeliranje i predviđanje trendova, što sve daje dodanu vrijednost samim rezultatima. Danas je u RH naručitelj monitoringa, a koji je harmoniziran sa zahtjevima Europske unije, DZRNS.

### ZAHVALA

Ovaj rad ostvaren je u sklopu projekata financiranih od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja* (022-0222882-2335) i *Radioekologija Jadranskog mora i priobalja* (022-0222882-2823). Autori zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći.

### LITERATURA

- [1] Hanžek B, Franić Z, Branica G. Znameniti radiofizičari i radiokemičari u Hrvatskoj do 1945. *Arh hig rada toksikol* 2011;62(4):279-290.
- [2] Salcher P. Die Radioaktivität des Meerwassers im Golfe von Fiume und Umgebung. *Monatschriften für Physikalisch-diätetischen Heilmethoden*, München 1. Jahrg, 10. Heft, 598-601, Oktober 1909.
- [3] Petrincec B, Franić Z, Leder N, Tsabaris Ch, Bituh T, Marović G. Gamma radiation and dose rate investigations on the Adriatic islands of magmatic origin. *Radiation Protection Dosimetry* 2010;139(4):551-559.
- [4] Franić Z, Petrincec B, Branica G, Marović G, Kubelka D, Franić Z. Post-Chernobyl Investigations of Radiocaesium Activity Concentrations in the Adriatic Sea Pilchards. *Radiation Protection Dosimetry* 2012;151:314-322.

## REVIEW OF DEVELOPMENT OF ADRIATIC MARINE RADIOECOLOGY

*Zdenko Franić<sup>1</sup>, Branko Hanžek<sup>2</sup>, Gina Branica<sup>1</sup>, Branko Petrinec<sup>1</sup> and Gordana Marović<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

<sup>2</sup>Institute for the History and Philosophy of Science,  
Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb

[franic@imi.hr](mailto:franic@imi.hr)

This paper presents a historical overview and some research results of radioactive contamination of the Adriatic Sea and coastal areas caused by natural and anthropogenic radionuclides, with emphasis on the eastern Adriatic coast. The results of the first known survey of radioactivity of the Adriatic Sea have been published in 1909, by Prof. Dr. Peter Salcher from the Imperial and Royal Naval Academy (k.u.k. Marine Akademie) in the city of Rijeka. These were compared with similar studies conducted in the Atlantic Ocean.

Systematic radioecological research of the eastern coast of the Adriatic Sea that began in 1961 at three locations (Rovinj, Split and Dubrovnik) have been organized by the Directorate for Civil Protection of the State Secretariat for people's defence, targeting the activity concentrations of fission products <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in seawater. Editing and standardization of data has been coordinated by the engineer Velimir Popović, an associate of the Institute for Medical Research and Occupational Health.

Nowadays, contemporary radioecological monitoring in the Republic of Croatia related to the Adriatic Sea today is conducted by Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health within the framework of "Monitoring of environmental radioactivity in the Republic of Croatia" and the scientific project "Radioecology of the Adriatic sea and Coastal Areas", project no. 022-0222882-2823 funded by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia.