

Z. Franić, Z. Franić*

RADIOEKOLOGIJA KAO ČIMBENIK SIGURNOSTI NA MEDITERANU

UDK 504.054:614.73(262.3)
PRIMLJENO: 8.3.2010.
PRIHVAĆENO: 29.7.2010.

SAŽETAK: U radu je prikazan značaj radioekologije kao čimbenika sigurnosti na Mediteranu, s naročitim osvrtom na Jadran. Dan je pregled i opis tekućih radioekoloških istraživanja jadranskog područja koja se provode u Republici Hrvatskoj kao dio proširenog programa monitoringa radioaktivnosti okoliša u Hrvatskoj.

Ključne riječi: radioekologija mora, nadzor radioaktivne kontaminacije, sigurnost, rizik

UVOD

Radioekologija je grana ekologije koja proučava učinke radioaktivnih tvari u okolišu, što uključuje istraživanje mehanizama translokacije i migracije radioaktivnih tvari kroz različite ekološke sustave (atmosfera, tlo, voda, zrak) i hranidbeni lanac. Radioekološka istraživanja uključuju uzorkovanje, eksperimente u prirodi i laboratorijima, razvijanje predikcijskih i simulacijskih modela, dozimetriju i dr.

Radioekologija se kao zasebna znanost pojavila krajem 19. stoljeća, tj. neposredno nakon što je Wilhelm Conrad Röntgen 1895. godine otkrio X zrake, Antoine Henri Becquerel 1896. godine otkrio fenomen radioaktivnosti, a Marie Skłodowska Curie 1898. godine identificirala i opisala prirodne radioaktivne elemente polonij i radij (*Alexakhin, 2006.*). Prva znanstvena istraživanja vezana uz radioekologiju odnosila su se

na disperziju i migraciju prirodnih radionuklida kroz prehrambeni lanac u okolišu i proučavanje odnosa i utjecaja prirodnog osnovnog ionizirajućeg zračenja (engl. *background radiation*) na razvoj biote na Zemlji.

Međutim, radioaktivna kontaminacija okoliša uzrokovana ljudskom djelatnošću nastala je tek pedesetak godina kasnije, odnosno 16. srpnja 1945. godine, kada je izvedeno probno detoniranje prve nuklearne fisijske bombe pokraj grada Alamogordo u Novom Meksiku. Posljedična utrka u nuklearnom naoružavanju i atmosferske probe nuklearnog oružja, koje su bile najintenzivnije početkom 1960-ih godina, dovele su do naglog napretka radioekologije. Sam termin „radioekologija“ u znanstveni vokabular simultano su uveli godine 1956. E. P. Odum (*1959.*) u SAD-u te A. M. Kuzin i A. A. Peredel'sky u tadašnjem SSSR-u (*Alexakhin, 2006.*).

Kao posljedica fisijskog materijala unesenog u atmosferu eksplozijama nuklearnog oružja javlja se taloženje radioaktivnih čestica (radioaktivne oborine, odnosno radioaktivni ispadak - engl. *fallout*) na površinu Zemlje, kao i u mora i

*Dr. sc. Zdenko Franić, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Ksaverska cesta 2, p.p. 291, 10001 Zagreb (zdenko.franic@franic.info), Zrinka Franić, dr. med., Klinički bolnički centar Zagreb, Šalata 2, 10000 Zagreb (zrinka.franic@franic.info).

oceane. Time je u fokus znanstvenih istraživanja vezanih uz radioaktivnu kontaminaciju okoliša došla radioekologija mora (*marine radioecology*). Međutim, razvoj civilnih nuklearnih programa u priobalnim područjima i njihova povezanost sa znatnim ispuštanjima radioaktivnog materijala u mora i oceane kao posljedice rada nuklearnih elektrana, kao i postrojenja za preradu nuklearnog materijala te upravljanja otpadom stavilo je radioekologiju mora pred nove izazove.

Za radioekologe je 1960-ih godina prisutnost umjetnih, odnosno ljudskom djelatnošću stvorenih (fisijski produkti), radionuklida pružala nebrojene mogućnosti za eksperimentalni rad i proučavanja s primarnim interesom na istraživanju utjecaja radioaktivnih oborina na kontaminaciju okoliša i posljedičnih zdravstvenih učinaka na živi svijet.

Također, primjena nuklearnih tehnika kao što su uporaba radioaktivnih obilježivača, uključujući i one intrinzične, autoradiografije, neutronске aktivacije i sl. pružile su učinkoviti način za određivanje mehanizama kojima se biološki značajni radionuklidi translociraju kroz okoliš i za istraživanja kako oni utječu na biotu.

Zbog iznimno širokog spektra informacija koje mogu poslužiti za daljnja istraživanja, proučavanja i analize, radioekologija se izdigla iznad statusa osnovne, odnosno fundamentalne znanosti i postala integralan dio u planiranju izgradnje i monitoringu nuklearnih objekata. Radioekologija je stoga multidisciplinarna znanost koja kombinira druge znanstvene discipline kao što su npr. fizika, kemija, matematika, biologija, medicina, ekologija i sl., pri tome primjenjujući koncepte zaštite od zračenja. Radioekološka istraživanja čine osnovu za procjenu doza i posljedica radioaktivnog zagađenja (kontaminacije) na ljudsko zdravlje. Radioekologija stoga pruža ključni doprinos u ostvarivanju osnovne svrhe zaštite od zračenja, naime kontrole ili eliminacije rizika za ljude i okoliš uzrokovanog uporabom nuklearne tehnologije.

Uz navedeno, istraživanja ciljana na smanjivanje radiološkog utjecaja na okoliš ukazala su

na multidisciplinarnu prednost uporabe nuklearnih tehnika, a posebice radionuklida kao intrinzičnih radioaktivnih obilježivača u morima i oceanima i „alata“ za procjenu trajanja različitih procesa. Takva su istraživanja pomogla boljem razumijevanju cirkulacije morske vode, mjerenju biološke produktivnosti, praćenju disperzije otopljenih tvari i različitih zagađivala, proučavanju sedimentacije i sl. Stoga je radioekologija mora usko povezana ne samo sa zaštitom okoliša i ljudskog zdravlja nego i s fizičkom oceanografijom, ekotoksikologijom, geokemijom, biogeokemijom, kao i s različitim drugim poljima znanosti vezanim uz zagađivanje radioaktivnim i mnogim neradioaktivnim tvarima. Također, radioekološka istraživanja mora i oceana pomažu boljem razumijevanju interakcije mora i oceana s atmosferom, kao i utjecaju atmosferskih, hidroloških i oceanskih sustava na klimatske promjene (*Kershaw, 2004.*).

Naime, jedan od najvažnijih parametara pri proučavanju klime na Zemlji jest baza podataka o temperaturi mora i oceana. Suodnos temperature površinskog sloja svjetskih mora i oceana s atmosferskim procesima u prizemnim slojevima atmosfere iznimno je važan za proučavanje dugoročnih klimatskih promjena. Nadalje, nuklearne i izotopske tehnike pridonose boljem razumijevanju prošlih klimatskih promjena te predviđanju budućih klimatoloških trendova. Posljedično, ovakva i slična radioekološka istraživanja, zaštitne mjere i aktivnosti koje iz njih proistječu imaju izravan utjecaj na sigurnost ljudi i poboljšavanje sveukupne kakvoće života.

U ovom je radu prikazan značaj radioekologije kao čimbenika sigurnosti na Mediteranu, s naročitim osvrtom na Jadransko more te je dan pregled i opis radioekoloških istraživanja jadranskog područja koja se provode u Republici Hrvatskoj kao dio proširenog programa monitoringa radioaktivnosti okoliša u Hrvatskoj koja su počela još godine 1959., tj. u vrijeme naročito intenzivnih pokusnih eksplozija nuklearnog oružja u atmosferi. Istraživanja provodi Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba te se o tome svake godine objavljuju izvještaji (*Popović, 1978., Bauman i sur., 1992., Kovač i sur., 1999., Marović i sur., 2010.*).

SITUACIJA NA MEDITERANU

Kako prema procjenama u priobalnim zonama svjetskih mora i oceana obitava oko 60% svjetske populacije, ta područja zahtijevaju specijalnu pozornost zbog njihovog doprinosa proizvodnji hrane i osjetljivosti na razne vrste i izvore zagađenja. Posebice je interakcijom različitih antropogenih aktivnosti i okoliša ugrožen održivi razvoj mediteranske regije; spomenimo samo čimbenike kao što su ubrzana urbanizacija i gospodarski razvoj priobalnih zona, rastuća turistička industrija, nedostatak pitke vode, porast trgovine i sl. *United Nations Environment Programme* (UNEP) i *European Environmental Agency* (EEA) izdali su izvješće o stanju i pritiscima na more i priobalje u mediteranskoj regiji (1999.) u kojem je prvenstveno obrađena radioaktivna kontaminacija s $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{137}Cs . Detaljno su obrađeni mehanizmi unosa tih radionuklida u morski okoliš (atmosferske nuklearne eksplozije, nuklearna industrija, unos iz Crnog mora, čornobiljska nesreća). Na osnovi mjerenja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u vodenom stupcu u razdoblju 1991.-1994. procijenjeno je da je u Sredozemnom moru prisutno oko 13,6 PBq ^{137}Cs . Važno je napomenuti da su koncentracije aktivnosti i trendovi njihovog smanjivanja u ostalim dijelovima Sredozemnog mora za ^{137}Cs slični kao i u Jadranskom moru (Franić, Bauman, 1993.).

Degradacija morskog okoliša i priobalja u zatvorenom bazenu kao što je Sredozemno more predstavlja ozbiljnu opasnost za sigurnost i zdravlje ljudi, ali i sveukupne flore i faune. U tom je kontekstu interesantno promotriti važnost radioloških i nuklearnih aktivnosti vezano uz ugrožavanje okoliša u mediteranskoj regiji, ali i mogućnosti koje oni predstavljaju kao sigurnosni čimbenici.

Nedavno se brojnim ugrozbama mediteranskog okoliša pridružila još jedna: kriminalne aktivnosti, tzv. eko-mafije, vezane uz namjerno potapanje brodova natovarenih najrazličitijim vrstama opasnog, toksičnog otpada, uključujući i radioaktivni (Mukerjee, 2010.). Naime, procesuiranje i sigurno odlaganje otpada proizašlog iz

kemijske, prehrambene, farmaceutske i sličnih industrija može po toni otpada koštati i više tisuća dolara, što ilegalno odlaganje takvog otpada čini iznimno profitabilnim. Posljedično, postoje snažne indicije da se na Mediteranu, posebice u području priobalja južne Italije, potapaju brodovi s toksičnim teretom, što je čak uzrokovalo i reakciju talijanskih parlamentarnih zastupnika.

Kako bi se informirala javnost i što više senzibilizirala za ovu tematiku, na internetskoj adresi: <<http://infondoalmar.info/>> uspostavljene su specijalizirane internetske stranice na kojima su interaktivno prikazane vizualizacije cijelog niza sumnjivih brodoloma na Mediteranu, uključujući i Jadransko more, onih brodova za koje se sumnja da su bili natovareni toksičnim otpadom, uključujući i radioaktivni materijal (slika 1).

Podaci prezentirani na spomenutim infondoalmar (tal. *infondoalmar* = ispod mora) internetskim stranicama prikupljeni su iz različitih službenih izvora kao što su pomorski registri, raznovrsna službena izvješća, dokumenti londonskog Lloydja i sl.

Vizualizacija se sastoji od zemljopisne mape na kojoj su prikazane lokacije, kronologija potapanja, dostupnih podataka o tijeku predmetnih incidenata i statističkih podataka o brodovima.

U tom kontekstu nipošto nije čudno da je predmetna tematika, uključujući i nedopušteni promet ljudima i opasnim materijalima, postala i ozbiljno sigurnosno pitanje kako Europske unije (Hellenthal, 2009., Bodewig i sur., 2009.) tako i Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA).

Iz dokumenata, odnosno izvještaja, Europske unije i specijaliziranih agencija Ujedinjenih naroda kao što su IAEA, UNDP (*United Nations Development Programme*) ili UNEP koji se odnose na Sredozemno more mogu se unutar tri osnovna zadatka radioekologije (razrada „ekološkog inventara“ i analiza ekosustava, sustavni nadzor (monitoring) okoliša, uspostava pripravnosti na ekološkoj razini za slučaj bilo kakvog neplaniranog događaja) sistematizirati sljedeće

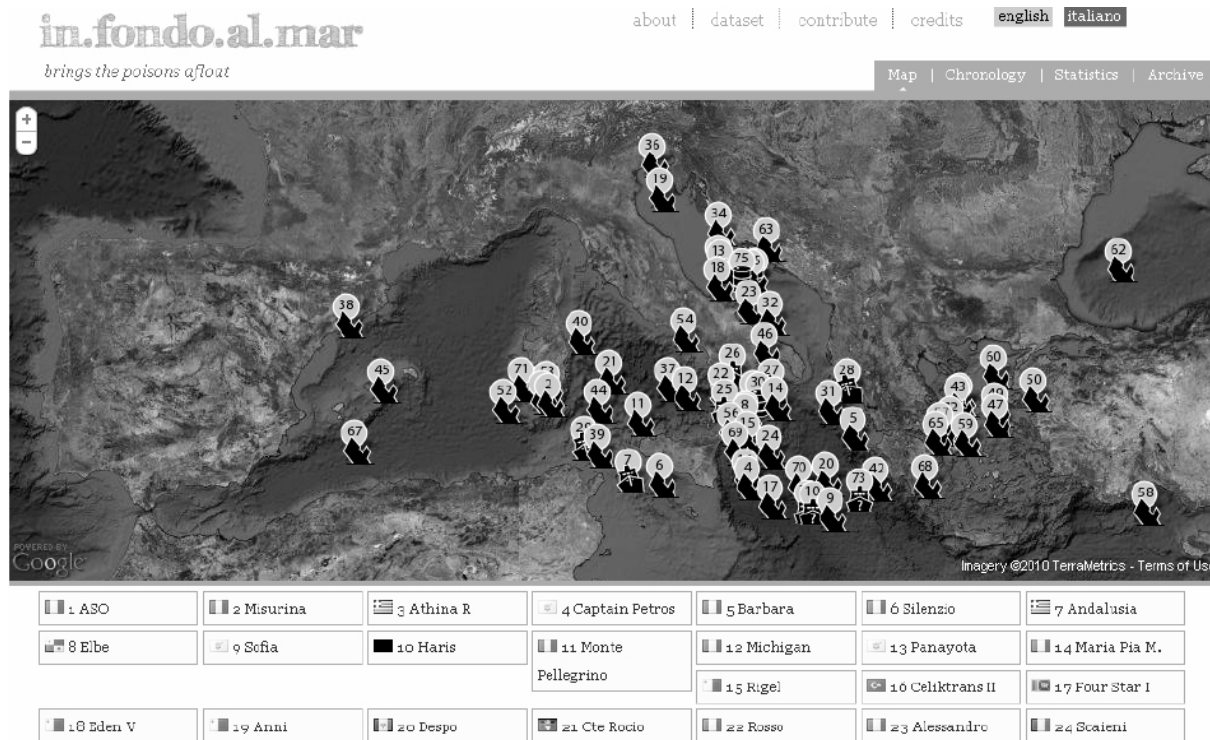
teme od interesa vezane uz radioaktivnu kontaminaciju, radioekologiju, ali i uporabu nuklearnih tehnika:

- Istraživanje radioekološke osjetljivosti priobalja
- Istraživanje kontaminacije hrane podrijetlom iz mora
- Nadzor i kontrola neovlaštenog prometa nuklearnim materijalom
- Uspostavljanje i održavanje baze podataka
- Postavljanje dopuštenih, odnosno prihvatljivih razina za kontaminaciju mora
- Istraživanje klimatskih promjena
- Uporaba radioaktivnih obilježivača kao alata pri istraživanjima u fizičkoj oceano-

grafiji, ekotoksikologiji, geokemiji, biogeokemiji i sl.

- Uporaba nuklearnih tehnika u kontroli različitih gospodarskih aktivnosti, npr. izmjena balastnih voda
- Ostalo.

Posebice valja napomenuti važnost uspostave i održavanja baze podataka o koncentracijama aktivnosti različitih radionuklida u moru, bioti i priobalju. Naime, takvi su podaci potrebni zbog poznavanja referentnih vrijednosti radi usporedbe u slučaju neplaniranih događaja, odnosno ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš. Također, poznavanje osnovnih razina koncentracija aktivnosti važne su i za donošenje različitih bitnih odluka za zaštitu ljudi i okoliša i sl.



Slika 1. Vizualizacija sumnjivih brodoloma na Mediteranu

Figure 1. Visualisation of suspicious shipwrecks in the Mediterranean

RADIOEKOLOŠKI PROGRAM MONITORINGA JADRANA

Interesantno je razmotriti stanje radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora i radioekoloških mjera koje se provode u svrhu monitoringa, zaštite mora i priobalja kao i znanstveno-istraživačkih aktivnosti.

Za razliku od Sredozemnog mora (*Papucci, Delfanti, 1999.*), razine koncentracija aktivnosti fisijskih, kao i prirodnih radionuklida, njihovi vremenski sljedovi i njihovi inventari su u Jadranskom moru slabije istraživani, osim za ^{90}Sr i ^{137}Cs . Ekstenzivniji pregled koncentracija aktivnosti umjetno stvorenih radionuklida (uglavnom fisijski radionuklidi ^{90}Sr i ^{137}Cs) u površinskoj vodi istočne obale Jadranskog mora do 1990-ih godina dali su Franić i Bauman (*1993.*). Kao i u slučaju Sredozemnog mora, ustanovljeno je da su glavni mehanizmi unosa fisijskih radionuklida u morski okoliš radioaktivne oborine kao posljedica atmosferskih nuklearnih pokusa.

Naime, atmosferske nuklearne eksplozije započete su nakon 1945. godine, kada su ispaljene prve nuklearne bombe. Naročito intenzivni nadzemni pokusi nuklearnog oružja provodili su se 1960-ih godina, odnosno prije nuklearnog moratorija. Međutim, unatoč zabrani nadzemnih nuklearnih eksplozija, Kina i Francuska su nastavile s pokusima sve do 1970-ih godina, pa i poslije. Posljedično, koncentracije aktivnosti fisijskih radionuklida u uzorcima iz okoliša su u dobroj korelaciji s koncentracijama aktivnosti u radioaktivnim oborinama (tj. u površinskom depozitu u Bqm^{-2}), što je također potvrđeno i za morsku vodu (posebice površinsku) Jadranskog mora (*Franić, Bauman, 1993.*).

Glavni izvori radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora jesu radioaktivne oborine te čornobiljska nesreća. Godine 2009. koncentracije aktivnosti fisijskih radionuklida u uzorcima sakupljenim na Jadranu bile su detektabilne na vrlo malim razinama (*Marović i sur., 2010.*).

Radioekološka istraživanja Jadranskog mora i priobalja sumarno su prikazana i objavljena u literaturi (*Franić, Petrinc, 2006.*). Od uzoraka prikuplja se površinska morska voda na lokacijama Rovinj, Rijeka, Split i Dubrovnik te povremeno grad Kaštela i Plomin. Uzorci radioaktivnih oborina prikupljaju se u Zadru zajedno s prikupljanjem uzoraka zraka prikladnim filtrima. Također, na 5-20 lokacija duž jadranske obale i otoka prikupljaju se i uzorci cisternske vode, jer su se cisterne pokazale kao odličan mehanizam za proučavanje radioaktivnih oborina (*Franić i sur., 1999.*).

Uz navedeno, na godišnjoj se razini prikuplja i uzorci određenih bioindikatorskih organizama kao što su dagnje (*Mytilus galloprovincialis*), muzgavci (*Ozaena Moschata*) te srdele (*Sardina pilchardus*); (*Franić, Lokobauer, 1993.*).

Prikupljeni uzorci analiziraju se prema postupcima koje su standardizirali *Environmental Measurement Laboratory* (EML); (*Papucci, Delfanti, 1999.*) kao i Međunarodna agencija za atomsku energiju. Kontrola i osiguravanje kvalitete provodi se sudjelovanjem u programima međulaboratorijskih ispitivanja koje redovno organiziraju IAEA i *Joint Research Centre* (JRC) Europske komisije.

Program radioekoloških ispitivanja Jadranskog mora i priobalja za godinu 2009. prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1. Uzorci, lokacije, frekvencija sakupljanja uzoraka i analize koje se provode u sklopu programa radioekološkog monitoringa Jadranskog mora i priobalja**Table 1. Specimens, sites, frequency of specimen collection and analyses conducted as part of the program of radioecology monitoring of the Adriatic Sea and the coastal zone**

Uzorak	Lokacija	Frekvencija sakupljanja	Analiza
Morska voda			
	Rovinj, Plominski zaljev, Rijeka, Kaštela, Split, Dubrovnik	Proljeće i jesen	Gamaspektrometrija, ⁹⁰ Sr, 226Ra
Radioaktivne oborine			
	Pula, Rijeka, Zadar, Dubrovnik	Kontinuirano uzorkovanje, analiza 6-mjesečnih alikvota	Gamaspektrometrija, ⁹⁰ Sr (u Zadru)
Cisternska voda			
	Bale, Doli, Marina, Pag	Proljeće	Gamaspektrometrija
Brzina apsorbirane doze (zrak)			
	Zadar	Kontinuirano uzorkovanje, analiza 4 puta godišnje	Gamaspektrometrija
Bioindikatorski organizmi			
<i>Ozaena moschata</i>	Rovinj, Plomin, Kaštela, Split, Dubrovnik	Proljeće	Gamaspektrometrija
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Zadar, Dubrovnik	Proljeće	Gamaspektrometrija, ⁹⁰ Sr
<i>Sardina pilchardus</i>	Zadar	Proljeće	Gamaspektrometrija, ⁹⁰ Sr

Valja napomenuti da Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada još od godine 1963. kontinuirano provodi istraživanja radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora i priobalja fizijskim produktima. Ta su istraživanja dio šireg programa monitoringa radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj, a rezultati ovih istraživanja objavljuju se u godišnjim publikacijama – izvješćima (Popović, 1978., Bauman i sur., 1992., Kovač i sur., 1999., Marović i sur., 2010.).

Cirkulacije vode Jadranskoga mora

Detaljno poznavanje kretanja, odnosno cirkulacije vode Jadranskoga mora iznimno je važno u kontekstu ocjene bilo kakve procjene ekološkog i zdravstvenog rizika od ispuštanja radioaktivnih kao i neradioaktivnih tvari u more i priobalje. Također, spoznaje koje pruža fizička oceanografija važne su i za proučavanje neobičajenih događaja, kao što su npr. bili iznimno veliki plimni valovi zabilježeni u mnogim gradovima jadranskog priobalja (npr. Vela Luka, Šibe-

nik, Stari Grad i Omiš) u veljači 2010. godine, kao i planiranje mjera zaštite. Procijenjeno je, naime, da porast razine mora za hrvatsku obalu postaje jedna od ozbiljnijih i vrlo skupih posljedica klimatskih promjena (Chieco, 1997.).

UNDP u svojem izvješću preporučuje mjere koje Republika Hrvatska treba poduzeti na ovom području, što uključuje poboljšanje institucionalnih kapaciteta za provedbu sveobuhvatnog planiranja i gospodarenja obalnim resursima. Naime, planeri, osobe zadužene za gospodarski i društveni razvoj, kao i donositelji odluka moraju u obzir uzimati učinke klimatskih promjena i posljedično podizanje razina mora i promjene u cirkulaciji morske vode pri planiranju velikih infrastrukturnih projekata, pri korištenju priobalnog zemljišta te planiranju gospodarskih i komunalnih aktivnosti kao što je primjerice gradnja kanalizacijskih sustava.

Posljedično, vezano uz more i priobalje, Hrvatska mora aktivirati resurse i napore na uspostavljanju novih te popunjavanju i održavanju postojećih baza podataka na državnoj i među-

narodnoj razini jer su podaci iz tih baza ulazni parametri predikcijskih modela za predviđanje posljedica klimatskih promjena, porasta razine mora te fizičkih i gospodarskih šteta, kao i troškova alternativnih opcija prilagodbe.

Nadalje, detaljno poznavanje cirkulacije morske vode iznimno je važno za planiranje mjera zaštite pri većim zagađenjima bilo radioaktivnim, bilo neradioaktivnim tvarima. Posljednji primjer jest ekološka katastrofa koja je krajem veljače 2010. godine zaprijetila talijanskoj obali Jadrana zbog sabotaže u bivšoj rafineriji u blizini Monze sjeverno od Milana kada se u rijeku Lambro, pritoku rijeke Po, izlila veća količina nafte uzrokujući višekilometarsku naftnu mrlju (*UNDP Hrvatska, 2009.; NoviList.hr, 2010.*).

U tom je kontekstu vrlo važno precizno poznavanje vremena potrebnog za izmjenu cjelokupne vode Jadranskog mora (volumen od oko 35.000 km³) kao ključnog podatka za procjenu rizika kojeg sa sobom nose razne gospodarske aktivnosti, turizam i svakojake intervencije u prostoru. Ujedno, taj je podatak važan i za pro-

cjenu opterećenja Jadranskog mora raznim otpadom te balastnim i drugim otpadnim vodama. Naime, radi se o najmanjem mogućem vremenu tijekom kojeg bi se Jadran sam od sebe, tj. spontanin procesima, oporavio od nekog globalnog zagađenja.

Ne iznenađuje stoga da je proučavanje izmjene morske vode između Jadranskog i Jonskog mora kroz Otrantska vrata proteklih tridesetak godina bilo predmetom mnogih oceanografskih istraživanja, kao i matematičkog modeliranja. U pravilu, brzina izmjene vode između Jadranskog i Jonskog mora (engl.: *turnover time*) procjenjivala se iz masenog transporta kroz Otrantska vrata tako da se ukupna masa vode koja tijekom godine dana uđe (ili izađe) iz Jadrana podijeli s njegovim volumenom. Ta vrijednost ujedno predstavlja i vrijeme boravka morske vode u Jadranskom moru.

Literaturni podaci za brzinu izmjene morske vode u Jadranskom moru prikazani su u Tablici 2 (*Franić, 2005., 2005.a*).

Tablica 2. Vrijeme izmjene morske vode u Jadranskom moru

Table 2. Adriatic seawater turnover time

Vrijeme boravka/god.	Način procjene	Literatura	Godina
2,7	mjerenje protoka	Zore-Armanda, Pulcher-Petković, 1976.	1976.
5,0	---	LIMK, 1979.	1979.
1,1 – 3,7 2,8 (najbolja procjena)	mjerenje protoka	Mosetti, 1983.	1983.
4,4	mjerenje protoka	Orlić i sur., 1992.	1992.
0,7 – 1,7	mjerenje protoka	Vetrano i sur., 1999.	1999.
1,0	mjerenje protoka	Cushman-Roisin i sur., 2001.	2001.
2,2	modeliranje balansa vode	Vilibić, Orlić, 2002.	2002.
2,9	modeliranje konc. akt. ¹³⁷ Cs u Mediteranu	Sanchez-Cabeza i sur., 2002.	2002.
3,4 ± 0,4	modeliranje konc. akt. ⁹⁰ Sr u Jadranskom moru	Franić, 2005.	2005.

Iz Tablice 2 vidljivo je da se procjene kreću od minimalnih 0,7 do maksimalnih 5 godina. Prema novijim istraživanjima, točnije su one vrijednosti koje ukazuju na bržu izmjenu vode. Razlike u vrijednostima uzrokovane su nizom fizikalnih parametara koji prirodno fluktuiraju, ovisno o klimatološkim i oceanografskim prilikama, kao i godišnjem dobu. Valja napomenuti da se radi o ograničenim eksperimentima i trenutnim vrijednostima protoka iz kojih su provedene ekstrapolacije, osim u slučaju posljednjih dviju referencija iz Tablice 2.

Naime, podaci za koncentracije aktivnosti ^{90}Sr dobiveni dugoročnim monitoringom radioaktivne kontaminacije vode Jadranskog mora poslužili su za procjenu gornje granice boravka morske vode u Jadranskom moru, koja je procijenjena na $3,4 \pm 0,4$ godine. Budući da se do te vrijednosti od 3,4 god. došlo primjenom dugogodišnjih, a ne trenutnih podataka, kao što je slučaj s procjenom brzine izmjene tehnikom mjerenja protoka, odnosno trenutnih vrijednosti, može se smatrati da se radi o gornjoj granici (Franić, 2005.).

ZAKLJUČCI

Radioekologija mora ne samo da ima ključnu ulogu u postizanju osnovnih zadataka zaštite od zračenja nego pruža mnogo šire mogućnosti, posebice u današnjim okolnostima kada je sveobuhvatna zaštita okoliša od svakojakog zagađivanja postala briga ne samo znanstvenika već i nacionalnih, kao i međunarodnih autoriteta. Nažalost, oslobađanje radioaktivnih materijala u okoliš, pa tako i u mora i oceane, zbog normalnog rada industrijskih postrojenja, medicinskih ustanova i sl. nije moguće spriječiti jer se uporaba najrazličitijih nuklearnih tehnika najuže povezuje s porastom standarda.

Posljedično, na tehnologijskoj razini moraju se iskoristiti i rabiti „najučinkovitija praktična sredstva“ za redukciju i sprečavanja oslobađanja radioaktivnih i neradioaktivnih tvari koja zagađuju okoliš do onih (poželjno zanemarivih) razina koja neki ekološki sustav može podnijeti.

Razvoj metoda i formulacija načela sličnih onima koji se rabe u radioekologiji i za neradioaktivna zagađivanja pomoći će učinkovitijem proučavanju, a posljedično i sprečavanju utjecaja zagađivanja okoliša. Stoga je odnos radioekologije i zaštite od zračenja jedan od ponajboljih primjera interakcije znanosti i zaštite ljudi i okoliša.

U tom kontekstu buduća radioekološka istraživanja na području Mediterana, odnosno mora i priobalja trebala bi se fokusirati na proučavanje radiološke i neradiološke karakterizacije, što također pomaže i očuvanju nuklearnog znanja koje se zbog kompleksnih odnosa u suvremenom svijetu ubrzano gubi radi zabrinjavajućeg opadanja interesa studenata da upisuju zahtjevne prirodnoznanstvene ili tehničke fakultete.

LITERATURA

Alexakhin, R. M.: Radioecology: history and state-of-the-art at the beginning of the 21st century. In: A. A. Cigna, Marco Durante (Ed.): *Radiation risk estimates in normal and emergency situations*. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Impact of Radiation Risk Estimates in Normal and Emergency Situations. Yerevan, Armenia, 8-11 September 2005. Springer, The Netherlands, 2006.

Bauman, A., Cesar, D., Franić, Z., Kovač, J., Lokobauer, N., Marović, G., Maračić, M. and Novaković, M.: *Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj*. Godišnji izvještaji 1978 - 1991. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 1979 - 1992.

Bodewig, K., Köuts, T. and Vrettos, K.: *European Maritime Surveillance*. Report submitted on behalf of the Defence Committee to European Security and Defence Assembly - Assembly of Western European Union (WEU). Document C/2051, WEU, 3 November 2009.

Chieco, N.A (Ed.): EML *Procedures Manual*. HASL-300: *The procedures manual of the envi-*

ronmental measurements laboratory. 28th Edition. U.S. Department of Homeland Security, 1997.

Cushman-Roisin, B., Gačić, M., Poulain, P-M. and Artegiani, A.: *Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Past, Present and Future*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2001.

Delfanti, R., Klein, B. and Papucci, C.: The new distribution of the tracer ¹³⁷Cs in the Eastern Mediterranean: Relationship to the Deep Water Transient, *Journal of Geophysical Research*, 108, 2003., 9, 8108.

European Environment Agency (EEA) and United Nations Environment Programme (UNEP). *State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment*. Environmental issues series No 5. European communities, 1999.

Franić, Z. and Bauman, A.: Radioactive contamination of the Adriatic Sea by ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs, *Health Physics.*, 64, 1993., 2, 162-9.

Franić, Z., Petrinec, B.: Marine radioecology and waste management in the Adriatic, *Arh. Hig. Rada Toksikol.*, 57, 2006., 4, 347-352.

Franić, Z., Lokobauer, N. and Marović, G.: Radioactive contamination of cistern waters along the Croatian coast of the Adriatic sea by ⁹⁰Sr, *Health Physics.*, 77, 1999., 1, 62-6.

Franić, Z. and Lokobauer, N.: ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in pilchards from the Adriatic Sea, *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 44, 1993., 3, 293-301.

Franić, Z.: Estimation of the Adriatic Sea water turnover time using fallout ⁹⁰Sr as a radioactive tracer, *Journal of Marine Systems*, 57, 2005., 1, 1-12.

Franić, Z.: Analiza osjetljivosti modela za procjenu srednjeg vremena boravka morske vode u jadranskom moru zasnovanom na ⁹⁰Sr kao radioaktivnom obilježivaču. *Proceedings of the 6th Symposium of the Croatian Radiation Protection Association*, Stubičke Toplice, April 2005., pp 364-377.

Hellenthal, M.: *Maritime Safety and Security as a central pillar of a comprehensive Security Strategy*. The European – Security and Defense Union, pp 23-26, No. 2, 2009.

Jadransko more, *Pomorska enciklopedija*, 3, 135-214, Leksikografski institut "Miroslav Krleža" (LIMK), Zagreb, 1979.

Kershaw, P.: Radiotracers as new barometers of ocean-climate coupling, *A newsletter of the IAEA Marine Environment Laboratory*, Monaco. Vol. 2, No 1, March 2004.

Kovač, J., Cesar, D., Franić, Z., Lokobauer, N., Marović, G. and Maračić, M.: *Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj*. Godišnji izvještaji 1992-1997. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 1993 - 1998.

Marović, G., Franić, Z., Kovač, J., Lokobauer, N. and Maračić, M.: *Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj*. Godišnji izvještaji 1998-2009. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 1999 – 2010.

Mosetti, F.: A tentative attempt at determining the water flow through the Otranto Strait: The mouth of the Adriatic Sea, Criterion for applying the computation of dynamic height anomalies on the water budget problems, *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 1983., 1, 143-163.

Mukerjee, M.: Poisoned Shipments, *Scientific American*, pp 14-15, February 2010.

Odum, E. P.: *Fundamentals of Ecology*. Second edition. 546 p. W. B. Saunders Co. Philadelphia and London, 1959.

Orlić, M., Gačić, M. and La Violette, P.E.: The currents and circulation of the Adriatic sea, *Oceanologica Acta.*, 15, 1992., 2, 109-123.

Papucci, C. and Delfanti, R.: ¹³⁷Cs distribution in the Eastern Mediterranean Sea: recent changes and future trends, *The Science of the total environment*, 237/238, 1999., 1, 67-75.

Popović, V. (Ed): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji. Godišnji izvještaji 1962-1977*. Savezni komitet za zdravstvo i socijalnu zaštitu, Beograd, 1963-1978.

Sanchez-Cabeza, J.A., Ortega, M., Merino J. and Masqué, P.: Long-term box modelling of ^{137}Cs in the Mediterranean Sea, *Journal of Marine Systems*, 33-34, 2002., 4, 457-472.

UNDP Hrvatska. Dobra klima za promjene – Klimatske promjene i njihove posljedice na društvo i gospodarstvo u Hrvatskoj, UNDP, Zagreb 2009.

NoviList.hr. *Nafta iz rijeke Po stiže do Jadrana?* Dostupno na: <<http://www.novilist.hr/2010/02/28/tisuce-tona-nafte-na-putu-prema-.aspx>> Pristupljeno: 29.09.2010.

Vetrano, A., Gačić, M. and Kovačević, M.: Water fluxes through the Strait of Otranto. The Adriatic Sea. In: Hopkins, T. S. et al., eds., *Ecosystem Research Report No. 32*, EUR18834, European Commission, Bruxelles, 2001., 127-140.

Vilibić, I., Orlić, M.: Adriatic water masses, their rates of formation and transport through Otranto Strait, *Deep-Sea Research*, 49, 2002., 1321-1340.

Zore-Armanda, M. and Pulcher-Petković, T.: Some dynamic and biological characteristics of the Adriatic and other basins of the Eastern Mediterranean Sea, *Acta Adriatica*, 18, 1976., 17-27.

RADIOECOLOGY AS A FACTOR OF SAFETY IN THE MEDITERRANEAN

SUMMARY: The paper presents the importance of radioecology as a safety factor in the Mediterranean, with special focus on the Adriatic. A survey and description of radioecology investigations in progress in the Croatian Adriatic zone is provided. They are part of a larger program of monitoring environment radioactivity in Croatia.

Key words: sea radioecology, control of radioactive contamination, safety, risk

Subject review
Received: 2010-03-08
Accepted: 2010-07-29