Koncentracija aktivnosti 137Cs u sjevernom Jadranu po utjecajme rijeke Po

Ivančić, Andrea

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:293863

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula

zir.nsk.hr Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

ZNANOST O MORU

ANDREA IVANČIĆ

Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u sjevernom Jadranu pod utjecajem rijeke Po

ZAVRŠNI RAD

Rovinj, 2017.

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

ZNANOST O MORU

Andrea Ivančić

Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u sjevernom Jadranu pod utjecajem rijeke Po

Završni rad

JMBAG: 74 – ZM, redovit student

Studijski smjer: Sveučilišni Preddiplomski Studij Znanost o Moru

Predmet: Radioekologija

Znanstveno područje: prirodne znanosti

Mentor: doc. dr. sc. Dijana Pavičić-Hamer

Rovinj, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana, Andrea Ivančić, kandidatkinja za prvostupnicu (baccalaureus) znanosti o moru, izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mojeg vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio ovog Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz nekog necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio ovog rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

U Puli, 2017. godine Student :

_____

Završni rad završetak je Sveučilišnog preddiplomskog studija Znanost o moru pri Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli. Rad je napravljen u Laboratoriju za biomineralizaciju, nanostrukture i radioekologiju Centra za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u Rovinju, pod vodstvom doc. dr. sc. Dijane Pavičić-Hamer, predan je na ocjenu preddiplomskom studiju Znanost o moru Sveučilišta u Puli radi stjecanja zvanja prvostupnik (Baccalaureus) znanosti o moru.

Voditelj Sveučilišnog preddiplomskog studija Znanost o moru je za mentora Završnog rada imenovao doc. dr. sc. Dijanu Pavičić-Hamer.

Povjerenstvo za ocjenjivanje i obranu:

Predsjednik: doc. dr. sc. Giconda Millotti
Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru Sveučilišta u Puli

Mentor: doc. dr. sc. Dijana Pavičić-Hamer
Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanja mora, Rovinj

Član: dr. sc. Ines Kovačić
Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru Sveučilišta u Puli

Datum i mjesto obrane završnog rada: 30. lipnja 2017. godine, Rovinj

Rad je rezultat samostalnog istraživačkog rada.

Andrea Ivančić _____

ZAHVALA

Završni rad izradila sam u Laboratoriju za biomineralizaciju, nanostrukture i radioekologiju Centra za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u Rovinju.

Ovim putem zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Dijani Pavičić-Hamer na pomoći i savjetima tijekom izrade i pisanja završnog rada.

SADRŽAJ

1. UVOD.....1

1.1. Ionizirajuće zračenje.....1

1.2. Radionuklid ^{137}Cs.....2

1.3.Koncentracija aktivnosti Cezija-137 u sjevernom Jadranu.....3

2. CILJ RADA.....5

3. MATERIJALI I METODE.....6

3.1. MATERIJALI.....6

3.1.1. Istraživano područje.....6

3.1.2. Prikupljanje uzoraka.....7

3.1.3. Kemikalije i uređaji.....7

3.2. METODE.....8

3.2.1. γ spektrometrija.....8

3.2.1.1. Morska voda.....9

3.2.1.2. Sediment.....10

4. REZULTATI.....11

5. RASPRAVA.....13

6. ZAKLJUČCI.....15

7. LITERATURA.....16

8. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....18

9. BASIC DOCUMENTATION CARD.....19

1. UVOD

1.1. Ionizirajuće zračenje

Zračenje ili radijacija je način prijenosa energije kroz prostor, npr. svjetlost, toplina, zvuk, a zračenje čija je energija dovoljno velika da u interakciji s tvari stvara električki nabijene čestice (ione), naziva se ionizirajućim zračenjem. Ionizirajuće zračenje ima sposobnost utjecaja na velike kemijske molekule od kojih su sastavljena sva živa bića te na taj način uzrokuje značajne promjene na živim stanicama koje se nazivaju biološko djelovanje ionizirajućeg zračenja. Razlikujemo dvije osnovne skupine ionizirajućeg zračenja, elektromagnetsko ili fotonsko zračenje, te čestično ili korpuskularno zračenje (Jakobović, 1991).

Elektromagnetsko ili fotonsko zračenje nastaje uglavnom prijelazom elektrona s više energijske razine na nižu energijsku razinu u elektronskom omotaču atoma, kočenjem brzih elektrona te u nuklearnim procesima, općenito pri promjenama energijskog stanja u svijetu atoma. Elektromagnetsko ionizirajuće zračenje obuhvaća rendgensko zračenje (*X* zračenje) i gama zračenje (γ zračenje), a poznato je da ionizaciju nekih tvari može uzrokovati i ultraljubičasto elektromagnetsko zračenje. Ako je zračenje emitirano od radioaktivne jezgre onda je u pitanju γ zračenje, a ako zračenje nastaje izvan jezgre, prelaskom elektrona iz jedne ljuske u drugu, onda je to *X* zračenje. *X* zračenje čine elektromagnetski valovi kratkih valnih duljina, od 10^{-10} do oko 10^{-13} m , a emitiraju ga orbitalni elektroni prilikom prijelaza u orbitalu s nižom energijom. Energijskim prijelazima nestabilnih atomskih jezgri radioaktivnih tvari i usporavanjem vrlo brzih čestica nastaje gama zračenje, a čine ga elektromagnetski valovi valnih duljina kraćih od 10^{-13} m. Do gama raspada dolazi kod jezgri koje prelaze iz više energetske razine u nižu energetsku razinu, uz oslobađanje energije, koje se oslobađa u obliku fotona. Za razliku od rendgenskog zračenja, γ zračenje potječe iz atomske jezgre (Jakobović, 1991).

Korpuskularno ili čestično zračenje nastaje raspadom atomske jezgre ili ubrzanjem čestica u električnom ili promjenjivom magnetskom polju. Korpuskularno zračenje naziva se prema česticama od kojih se sastoji pa tako razlikujemo alfa zračenje (α zračenje), beta zračenje (β zračenje), neutronsko zračenje i ostala zračenja (protonsko, deuteronsko, teškoionsko itd.). Alfa zračenje predstavlja roj α čestica koje se sastoje od dva protona i dva neutrona, istovjetna je jezgri helija. Beta zračenjem smatra se svako zračenje koje se sastoji od elektrona (β^-) ili pozitrona (β^+), koje emitiraju nestabilne jezgre. Neutronsko zračenje

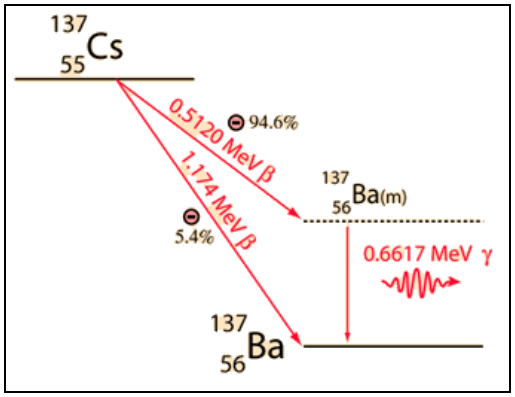
sastoji se od brzih neutrona koji lako prodiru kroz tvar, obzirom da nemaju električni naboj. Ovo zračenje, na Zemlji, uglavnom nastaje cijepanjem (fisijom) atoma u nuklearnim reaktorima, no dio je i kozmičkog zračenja (Jakobović, 1991).

1.2. Radionuklid ^{137}Cs

Kemijski element cezij ima atomski broj 55 i atomsku masu 132,91. Srebrno-bijeli je alkalni metal vrlo niska tališta (28,5°C) s izraženim elektropozitivnim svojstvima. Obzirom da je alkalijski metal, njegova fizička i kemijska svojstva slična su kaliju. Ukoliko je cezij prisutan u mediju, apsorbira se sličnim putovima u organizam kao i kalij, međutim njegova apsorpcija je sporija. Cezij ima 5 radioaktivnih izotopa, s masenim brojevima 131, 134, 135, 136 i 137, od kojih je najznačajniji ^{137}Cs (Bryan, 1961).

Cezij-137 (^{137}Cs) je radioaktivni izotop cezija, koji je najučestaliji fisijski produkt Urana-235. Kako je ^{137}Cs umjetno stvoren radionuklid, ima i svoje pozitivne strane. U malim se količinama koristi za kalibraciju instrumenata za detekciju radijacije, koristi se u medicini za radioterapije. Budući da je Cs vrlo reaktivan, teško je njime manipulirati te se iz tog razloga češće koristi ^{60}Co.

Poluživot ^{137}Cs iznosi 30 godina i često se koristi kao izotopni obilježivač u morskoj vodi gdje, zbog svoje topljivosti, ostaje dugo vremena u stupcu vode (Fowler, 1991). ^{137}Cs se raspada uz vjerojatnost od 94,6% prvo na metastabilni međuproizvod ^{137}Ba$_{(m)}$ koji, s vremenom poluraspada od 2,5 minute, putem gama raspada prelazi u stabilni izotop ^{137}Ba. Kod preostalih 5,4% dešava se direktan prijelaz u stabilni izotop ^{137}Ba (Slika 1) (Hyperphysics, 2013).



Slika 1. Prikaz raspada ^{137}Cs u ^{137}Ba$_{(m)}$

Zbog svoje dobre topivosti dugo se zadržava u moru, te se putem morskih struja širi na globalnu razinu (Florou i sur., 2003). Ulaskom ^{137}Cs u morski ekosustav dolazi do bioakumulacije i biomagnifikacije, odnosno ekološke koncentracije u hranidbenom lancu. Smatra se najvažnijim radionuklidom za procjenu onečišćenja mora umjetnim radionuklidima, prvenstveno zbog svog doprinosa u kontaminaciji hrane putem biomagnifikacije u hranidbenom lancu (UNEP, 1992; Papucci i Delfanti, 1999).

1.3. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u sjevernom Jadranu

Kao posljedica černobilske nesreće 1986. godine dolazi do povećane antropogene radiokontaminacije u Europi. Putevi unosa radionuklida u Jadran izravnim taloženjem iz atmosfere (eng. *fallout*) i priljeva rijeka. Radioekološka procjena morskog ekosustava provodi se s ciljem istraživanja ekoloških procesa koji utječu na raspodjelu i akumulaciju radionuklida. Nakon 26. travnja 1986. godine (nesreća u Černobilu) radioaktivna taloženja preko mediteranskog područja brzo su doprinijela rastućoj razini kratkoživućih i dugoživućih radionuklida. U razdoblju od 1986. do 1987. godine intenzivno se provode zanimljiva istraživanja u vezi s bioakumulacijom pojedinih produkata neutronske aktivacije, kao što je Ag-110m, koji nije bio prisutan u Italiji prije černobilskog događaja. Nakon usporedbe koja je provedena između razine radioaktivnosti u okolišu otvorenog mora i estuarija rijeke Po koncentracije Cezija pokazale su da je delta rijeke Po pravi radioaktivni rezervoar, koji će dugo trajati. Visoke koncentracije ^{137}Cs otkrivene u Sacca di Goro (Po delta) upućuju na potrebu za stalnim praćenjem (Nonnis Marzano i Triulzi, 2000).

Prema istraživanjima između 2006. i 2010. godine na području delte rijeke Po koncentracija ^{137}Cs u morskoj vodi vratila se na vrijednost prije černobilske nesreće, s tim da su u sedimentu koncentracije nešto veće (Pavičić-Hamer i Barišić, 2011).

Sjeverni Jadran je plitak, s prosječnom dubinom 33,5 m pa rijeka Po jako utječe na visoku produktivnost ekosustava s visokim unosom hranjivih tvari i zagađivala. Dominantni izvor antropogenih radionuklida u sjevernom Jadranu je globalni "fallout" izravno iz atmosfere i posredno donosom rijeke Po.

^{137}Cs se smatra najvažnijim radionuklidom koji se nalazi u atmosferi. Unosom u morsku vodu prenosi se strujama na velike udaljenosti i značajno pridonosi radoaktivnoj kontaminciji prehrambenog lanca. Opća rasprostranjenost ^{137}Cs rezultat je različitih izvora

onečišćenja i režima cirkulacije vode u Jadranskom moru, zbog toga je važnost poznavanja strujanja mora u Jadranu tijekom godine. Jadran je povezan sa Sredozemnim morem kroz Otrantska vrata i karakterizira ga opća ciklonalna cirkulacija, s ulazom duž istočne, a izlazom duž zapadne obale. Sjeverni Jadran može biti isključen iz ove opće ciklonalne cirkulacije, te je u takvim prigodama cirkulacija sjevernog Jadrana zatvorena i pod utjecajem rijeke Po (tipično u toplom dijelu godine). Tijekom zime, pod utjecajem hladnog i suhog vjetra, nastaje brzo miješanje površinskih voda s dubljim vodenim slojevima. Formira se gusta voda koje se naziva sjeverno-jadranska gusta voda (eng. *Northen Adriatic Dense water, NAdDW*). (Cushman-Roisin i sur., 2001). Ta gusta voda struji po dnu i prolazi kroz Otranska vrata u Sredozemlje. ^{137}Cs putem te cirkulacije vode rasprostire se u najdublje dijelove Sredozemlja gdje su izmjereni tragovi atmosferskog zagađenja iz Jadrana (Papucci i Delfanti, 1999). Rijeka Po svojim tokom protječe kroz najveću talijansku ekonomsku zonu u kojoj je razvijena industrija i poljoprivredna proizvodnja, te utjecanjem u sjeverni Jadran predstavlja veliko opterećenje nutrijentima i antropogenim zagađivalima, među kojima su i radionuklidi. Protok rijeke može značajno varirati tijekom godine, ovisno o dinamici padalina na njezinom slivnom području i o periodičkim klimatskim kolebanjima. Prosječan protok iznosi 1700 $m^{-3}s^{-1}$ što predstavlja 28% ukupnog slatkovodnog donosa u Jadran (Cushman-Roisin i sur., 2001).

Ovo će istraživanje pridonijeti radiološkoj procjeni stanja sjevernog Jadrana kroz određivanje koncentracijskih aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu na postaji koja je pod direktnim utjecajem rijeke Po.

2. CILJ RADA

1. Radiološka procjena sjevernog Jadrana analizom koncentracijskih aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentima delte rijeke Po.

2. Usporedba radiološkog stanja između morske vode i sedimenta na području delte rijeke Po (postaja 108) u razdoblju od 22. 01. 2014. do 27. 08. 2015. godine.

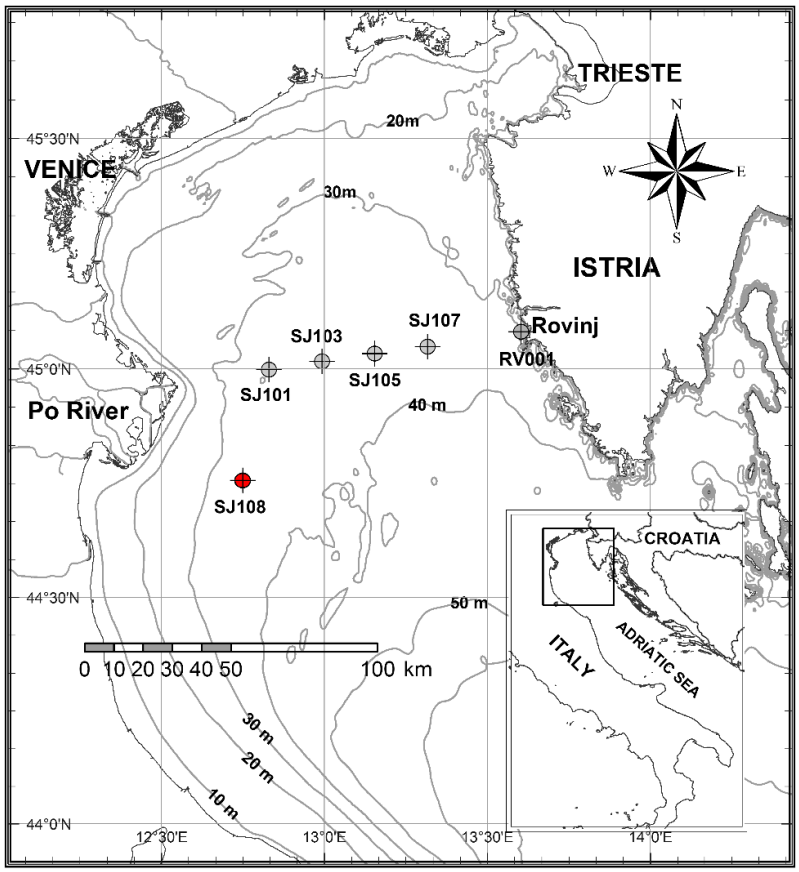
3. Analizom rezultata dokazati tezu da je povećanje koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u sjevernom Jadranu posljedica donosa rijekom Po.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Istraživano područje

Istraživano područje sjevernog Jadrana obuhvaća postaju ispred ušća rijeke Po, postaja 108 koja se nalazi na transektu Rovinj-delta Po. (Slika 2).



Slika 2. Položaj postaje 108 u odnosu na deltu rijeke Po

Postaja 108 nalazi se ispred ušća rijeke Po, te je pod stalnim utjecajem riječnog donosa. Dubina mora na postaji je 32 metara, a dno je muljevito tipa siltozna glina.

Ova postaja ima nižu slanost u površinskom sloju (0 m) zbog unosa slatke vode iz rijeke Po. Smanjenje slanosti u površinskom sloju najizraženije je u proljeće, posebno kod izraženijeg kišnog razdoblja.

3.1.2. Prikupljanje uzoraka

Svi uzorci sakupljeni su u razdoblju od siječnja 2014. do kolovoza 2015. godine na postaji 108 (Slika 2). Uzorke morske vode i sedimenta uzimali smo sezonski s istraživačkim brodom „Vila Velebita“ u vlasništvu Centra za istraživanje mora, Instituta Ruđer Bošković (Slika 3). Niskinovim crpcem uzorkovali smo po 50 l morske vode s površine (0 m) i na dubinama od 15 i 30 metara. Uzorke sedimenta uzimali smo površinski grabilom (00-03cm).



Slika 3. Istraživački brod „Vila Velebita“ Centra za istraživanje mora, Rovinj

3.1.3. Kemikalije i uređaji

Korištene kemikalije:

- HCl (Kemika)
- destilirana voda
- CsCl (m.w. 168,358; CHEMAPOL, Praha)

- amonijum – fosfo – molibdat (AMP, Carlo Erba)

Uređaji:

- Camberra GE detector (model GC – 2518 – 7500SL)
- Lead shild Canberra
- Canberra system – 100
- PC – Genie 2000
- Portable multi parametar (pIONneer 65, Radimeter)
- Miješalica (Package R2R 2052)
- Laboratorijska peć za žarenje (LP-20, Inko)
- Mlin za usitnjavanje rudače (Glen Greston 156)
- Vaga (VIC 5100, max 5100g/0,1 g)

3.2. METODE

3.2.1. γ spektrometrija

Metodologija koja se koristi za uzorkovanje, radiokemijsku analizu i mjerenje ^{137}Cs u uzorcima morske vode i sedimenta opisana u tehničkim izvještajima IAEA (Florou i sur., 2003). Kalibracija efikasnosti je usklađena s izvorima IAEA.

Svi uzorci su spremljeni u valjkaste plastične posudice, volumena 100 ml, koje omogućuju direktno mjerenje u γ detektoru. Uzorci su mjereni 80 000 sekundi direktnom gama-spektrometrijom na GC detektoru (FWHM 1.82 keV do 1.33 MeV), relativne efikasnosti 25% i multi kanalni analizator 4096 ch u ukupnom području spektra (2000 keV). Canberra Genie software je korišten za analizu dobivenih spektara. Svi pripremljeni uzorci su mjereni direktnom γ spektrometrijom u Laboratoriju za radioekologiju, Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu. Preciznost i mjerna nesigurnost su određene kao standardna devijacija

ponavljanih mjera dane vrijednosti (mjerena vrijednost ± proširena nesigurnost). Jedinica koncentracijske aktivnosti za morsku vodu je Bq m^{-3}, a za sediment je Bq kg^{-1}.

3.2.1.1. Morska voda

Uzorci vode su prikupljeni u dva kanistra, volumena 25 litara. U laboratoriju smo uzorke prelili u bačvu od 50 litara, a kanistre isprali sa 100 ml DE i 100 ml HCl-a. U bačvu smo zatim dodali 5 ml stabilnog Cs (CsCl 1.3261 g u 100 ml DE) i 15 g AMP (amonijum – fosfo – molibdat). Bačvu smo namjestili pod miješalicu i stavili miješati oko 8 sati (Slika 4). Nakon miješanja, uzorak se taloži 24 sata. Nakon što se uzorak istaložio, pomoću vakuum pumpe, odvojili smo talog i prelili ga u čašu od 5 litara te pustili da se taloži slijedećih 24 sata. Isti proces je ponovljen smanjenjem volumena. Talog koji smo prelili u plastičnu posudicu za mjerenje sušen je do potpunog uklanjanja vode, te smo izvagali uzorak.



Slika 4. Miješanje morske vode s AMP

3.2.1.2. Sediment

Nakon uzorkovanja sediment smo stavili u zamrzivač na temperaturu od – 20^{o}C. Obradu uzorka započeli smo odmrzavanjem sedimenta na sobnoj temperaturi. Zatim smo ga sušili u peći tijekom 48 sati na temperaturi od 80^{o}C, do stalne težine (Slika 5). Nakon sušenja uzorak smo usitnili u tarioniku (Slika 6), te smo na kraju uzorak stavili u plastične posudice za mjerenje i izvagali.



Slika 5. Osušeni sediment izvađen iz peći



Slika 6. Tarionik, usitnjeni sediment

4. REZULTATI

Salinitet i temperatura mora na postaji 108 prikazani su u tablici 1. Primjećujemo da se temperatura i salinitet sezonski mijenjaju. U siječnju 2014. godine najniža temperatura na površini (0 m) bila je 10,24ºC i najniži salinitet je 27,22, a najviša temperatura bila je u kolovozu 2015. godine 26,44ºC i najviši salinitet u prosincu 2014. godine je 36,36. Također, evidentno je da su na dubini od 15 i 30 m prisutne puno manje oscilacije temperature i saliniteta dok je u površinskom sloju to jače izraženo. Salinitet s dubinom manje oscilira u odnosu na oscilacije temperature i salinitet s dubinom raste.

Tablica 1. Salinitet i temperatura na postaji 108 na različitim dubinama (0, 15 i 30 m)

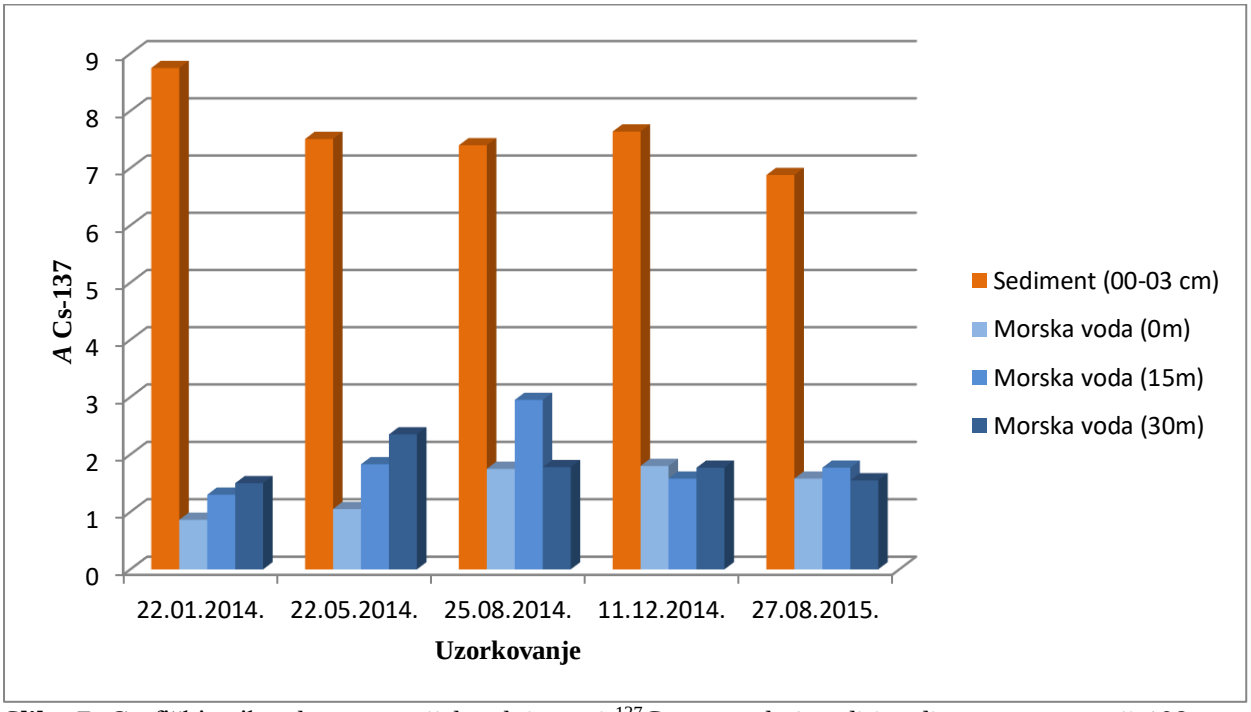
Datum mjerenja	Temperatura (ºC)	Salinitet
22.01.2014.		
0 m	10,24	27,22
15 m	12,78	37,74
30 m	13,43	38,09
22.05.2014.		
0 m	20,82	30,05
15 m	14,11	37,54
30 m	13,14	37,78
25.08.2014.		
0 m	24,11	30,49
15 m	19,67	37,99
30 m	15,89	38,04
11.12.2014.		
0 m	15,54	36,36
15 m	15,81	36,57
30 m	17,19	37,22
27.08.2015.		
0 m	26,44	35,98
15 m	23,02	37,89
30 m	14,24	37,76

Na postaji 108 izmjerena je koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi (0, 15 i 30m) i u površinskom sloju sedimenta (00-03 cm) (Tablica 2, Slika 9). Koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi bile su u rasponu od 0,862 do 2,95 Bq m^{-3}. Najveća

koncentracijska aktivnost zabilježena je u kolovozu 2014. godine na dubini od 15 metara. Također je ustanovljeno da razlike nisu značajne u koncentracijskim aktivnostima ^{137}Cs između pojedinih slojeva morske vode. Trend opadanja koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs s dubinom na postaji 108 nije izražen. Koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu bile su u rasponu od 6,88 do 8,75 Bq kg^{-1}.

Tablica 2. Koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu na postaji 108 u razdoblju od siječnja 2014. do kolovoza 2015. godine

	A ^{137}Cs (Bq kg^{-1})	*A* ^{137}Cs (Bq m^{-3})		
Datum mjerenja	Sediment (00-03 cm)	Morska voda (0 m)	Morska voda (15 m)	Morska voda (30 m)
22.01.2014.	8,75	0,862	1,3	1,5
22.05.2014.	7,51	1,05	1,83	2,35
25.08.2014.	7,4	1,75	2,95	1,78
11.12.2014.	7,64	1,8	1,58	1,77
27.08.2015.	6,88	1,58	1,77	1,55



Slika 7. Grafički prikaz koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu na postaji 108 u razdoblju od siječnja 2014. godine do kolovoza 2015. godine; Sediment (Bq kg^{-1}) i morska voda (Bq m^{-3})

5. RASPRAVA

Svrha ovog istraživanja je radioekološka procjena sjevernog Jadrana analizom koncentracijskih aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentima delte rijeke Po u razdoblju od siječnja 2014. do kolovoza 2015. godine. ^{137}Cs je izabran kao najzastupljeniji antropogeni radionuklid u morskom okolišu koji znatno pridonosi radioaktivnom onečišćenju.

Najveći donos slatke vode u Jadran je rijekom Po (Cushman-Roisin i sur., 2001). Na postaji 108 izmjereni su niski saliniteti u površinskom sloju mora zbog priljeva slatke vode rijekom Po. Najniži salinitet je 27,22 izmjeren u siječnju 2014. godine. Smanjeni salinitet u površinskom sloju je najviše izražen zimi i u proljeće, a osobito za vrijeme kišnih mjeseci kao što je bilo u kolovozu 2014. godine. Iz rezultata se vidi da je u kolovozu 2014. godine bila izražena stratifikacija vodenog stupca na postaji 108, visoka temperatura i niski salinitet na površini, dok je na dnu bilo obrnuto. U blizini delte rijeke Po slatka voda može izazvati stratifikaciju vodenog stupca (piknoklina), što je izraženo u toplom dijelu godine (Supić i Ivančić, 2002; Pavičić-Hamer i sur., 2016).

Koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u površinskoj vodi Jadranskog mora 1985. godine bila je oko 4 Bq m^{-3}. Černobilska nesreća 1986. godine uzrokovala je povećanje koncentracije ^{137}Cs u Jadranu za dva reda veličine. Od tada je primijećen trend opadanja te koncentracije. Mjerenja su pokazala da se 1990. godine koncentracija vratila u razinu prosjeka prije nesreće (Franić i Bauman, 1993). Sadašnja koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u morskoj vodi sjevernog Jadrana je u rasponu od 1,00 do 3,60 Bq m^{-3} što je niže od aktivnosti prije Černobilske nesreće (Pavičić-Hamer i sur., 2016). Uzrok tome je vjerojatno smanjeni globalni "fallout" ^{137}Cs iz drugih nuklearnih aktivnosti, prvenstveno nuklearnih proba u odnosu na početne koncentracijske aktivnosti iz 1985. godine.

Koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u morskoj vodi bila je u rasponu od 0,862 do 2,95 Bq m^{-3}, te nema značajne razlike između slojeva (0, 15 i 30m). Vertikalni profili ^{137}Cs u vodenom stupcu obično pokazuju pad koncentracijske aktivnosti od površine prema dnu (UNEP, 1992; IAEA, 2005). Međutim, na postaji 108 nije izražen pad koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs sa dubinom, vjerojatno zbog male dubine (30 m) i stalnog priljeva slatke vode rijekom Po. Sezonska razlika u koncentracijskoj aktivnosti ^{137}Cs je slabo izražena, najniže vrijednosti su zimi (0,862 Bq m^{-3}), a najviše ljeti (2,95 Bq m^{-3}). Razlog tom povećanju koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u kolovozu 2014. godine je izražena haloklina (piknoklina) koja sprečava slobodni transport Cs iona u vodenom stupcu.

Na postaji 108 koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu bile su u rasponu od 6,88 do 8,75 Bq kg^{-1}. Unos radionuklida iz atmosfere preko površine mora i prijenos u dublje slojeve ovisi ponajviše o procesima difuzije i konvekcije. Na dnu, iz vodenog stupca prelaze u površinski sediment (Papucci i Delfanti, 1999). Koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u površinskom sedimentu Sredozemnog mora su u uskom rasponu od 2 do 11 Bq kg^{-1} (UNEP, 1992). Najveća koncentracijska aktivnost ^{137}Cs je u sedimentu sjevernog Jadrana na postaji 108 jer je pod utjecajem donosa rijeke Po. Razlike u koncentracijskim aktivnostima u sedimentima ne ovise samo o izvoru zagađenja radionuklidima već i o tipu sedimenta. Na postaji 108 sediment je tipa siltozna glina dok je na obalnom području Rovinja sediment tipa siltozni pijesak (Vdović i sur., 1991). Na postaji 108 sediment je tipa siltozna glina koja u pravilu sadrži više ^{137}Cs od pjeskovitih sedimenata (Delfanti i sur.,1997). To je u skladu s većom koncentracijskom aktivnošću^{137}Cs izmjerenim u sedimentu područja delte rijeke Po (8,75 Bq kg^{-1}) u odnosu na aktivnost izmjerenu u sedimentu obalnog područja Rovinja (1,88 Bq kg^{-1}) (Pavičić-Hamer, 2016). Najveća koncentracijska aktivnosti ^{137}Cs 8,75 Bq kg^{-1} u sedimentu delte rijeke Po izmjerena je u siječnju 2014. godine što se poklapa sa najnižim salinitetom 27,22 koji nam pokazuje da je donos slatke vode rijekom Po bio u tom razdoblju najveći.

Rezultati su pokazali da je povećana koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u sedimentu delte rijeke Po u odnosu na ostale postaje sjevernog Jadrana. Povećana koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u sedimentu dokazuje da je donos efluenata rijekom Po glavni izvor ^{137}Cs u sjevernom Jadranu i u skladu su sa vrijednostima izmjerenim u prijašnjim istraživanjima (Delfanti i sur., 1997; Pavičić-Hamer i sur., 2016).

6. ZAKLJUČCI

1. Antropogena radioaktivnost u sjevernom Jadranu, na području delte rijeke Po procijenjena je određivanjem koncentracijskih aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu u razdoblju od siječnja 2014. do kolovoza 2015. godine.

2. Povećane koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs (od 6,88 do 8,75 Bq kg^{-1}) u sedimentu delte rijeke Po dokazuje donos ^{137}Cs rijekom Po u sjeverni Jadran.

3. Koncentracijske aktivnosti ^{137} Cs u morskoj vodi sjevernog Jadrana su niže od višegodišnjeg prosjeka prije Černobilske nesreće, sa kolebanjima koja su pod utjecajem fizikalno–kemijskih i hidrografskih parametara tog područja.

7. LITERATURA

1. Bryan, G.W. 1961. The accumulation of radioactive caesium in crabs. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 41, 551-575.

2. Cushman-Roisin, B., Gačić, M., Poulain, P.M., Artegiani, A. 2001. Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0225-4.

3. Delfanti, R., Frignani, M., Langone, L., Papucci, C., Ravaioli, M. 1997. The role of the rivers in Chernobyl radiocesium delivery, distribution and accumulation in coastal sediments of the Northern Adriatic Sea. Studies in Environmental Science 68 C, 235-240.

4. Fowler, S.W. 1991. Biologically mediated removal, transformation and regeneration of dissolved elements and compounds. In: Mantolura, Martin and Wollast eds. Ocean Margin Processes in Global Change; 127-143.

5. Florou, H., Kritidis, P., Vosniakos, F., Trindafyllis, J., Delfanti, R., Papucci, C., Cigna, A., Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Bologa, A.S., Patrascu, V. 2003. Caesium-137 in the eastern Mediterranean- impact sources and marine pathways. Fresenius Environmental Bulletin; 12(1), 3-9.

6. Franić, Z., Bauman, A. 1993. Radioactive contamination of the Adriatic Sea by ^{90}Sr and ^{137}Cs. Health Phys. 64 (2), 162-169.

7. IAEA 2005. Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) Radionuclide levels in oceans and seas. IAEA-TECDOC-1429, Vienna.

8. Jakobović, Z. 1991. Ionizirajuće zračenje i čovjek. Zagreb, Školska knjiga, 19-30.

9. Nonnis Marzano F., Triulzi C. 2000. Evolution of radiocontamination in the mediterraean sea in the period 1985-1995. International Journal of Environment and Pollution; 609-611.

10. Papucci, C., Delfanti, R. 1999. ^{137}Ceasium distribution in the eastern Mediterranean Sea: recent changes and future trends. Science of the Total Environmen. 237/238, 67-75.

11. Pavičić-Hamer D., Barišić D. 2011. ^{137}Ceasium distribution in the northern Adriatic sea (2006-2010), Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies. Proceedings of an International Symposium Vol. 2. IAEA, Monaco, 519-526.

12. Pavičić-Hamer D., Barišić D., Šimunac B., Petrinec B., Štrok M. 2016. 137Cs distribution in the northern Adriatic Sea. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 309 (3); 989-998

13. Supić, N., Ivančić, I. 2002. Hydrographic conditions in the northern Adriatic in the relation to surface fluxes and the Po river discharge rates (1966-1992). Periodicum Biologorum 104: 203-209.

14. Šimunac B. 2013, Radioekološko stanje ^{137}Cs u sjevernom Jadranu, završni rad

15. UNEP 1992. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by radioactive substances. Athens: MAP Technical Reports Series 62.

16. Vdović, N., Bišćan, J., Juračić, M. 1991. Relationship between specific surface area and some chemical and physical properties of particulates: study in the northern Adriatic. Marine Chemistry 36, 317-328

17. Hyperphysics, dostupno na URL:

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/fisfrag.html#c4 31.05.2017.

8. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ – ZNANOST O MORU

Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u sjevernom Jadranu pod utjecajem rijeke Po

SAŽETAK

Antropogena radiaktivnost u sjevernom Jadranu je procijenjena analizom koncentracijskih aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu. Radioekološko promatranje je napravljeno analizom površinskog sloja sedimenta i u morskoj vodi na različitim dubinama (0, 15 i 30 m) na području delte rijeke Po (postaja 108) u razdoblju od siječnja 2014. godine do kolovoza 2015. godine. Koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu bile su u rasponu od 6,88 do 8,75 Bq kg^{-1} u promatranom razdoblju dok je koncentracijska aktivnost ^{137}Cs u morskoj vodi bila u rasponu od 0,862 do 2,95 Bq m^{-3}. Povećane koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu delte rijeke Po u odnosu na sediment obalnog područja Rovinja dokazuje donos ^{137}Cs rijekom Po u sjeverni Jadran. Također je ustanovljeno da razlike nisu značajne u koncentracijskim aktivnostima ^{137}Cs između pojedinih slojeva morske vode. Trend opadanja koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs s dubinom na postaji 108 nije izražen.

U području delte rijeke Po koncentracijske aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi danas su niže od višegodišnjeg prosjeka prije Černobilske nesreće općenito uzevši u obzir prirodno kolebanje fizikalno-kemijskih i hidrografskih parametara istraživanog područja.

Rad je pohranjen u knjižnicama Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli i Instituta Ruđer Bošković u Rovinju. Izvornik je na hrvatskom jeziku (19 stranica, 7 slika, 2 tablice, 17 literaturnih navoda)

Ključne riječi: cezij-137, sjeverni Jadran, radioekologija, rijeka Po.

9. BASIC DOCUMENTATION CARD

JURAJ DOBRILA UNIVERSITY OF PULA

UNIVERSITY UNDERGRADUATE STUDY PROGRAMME – MARINE SCIENCES

Concentration of ^{137}Cs activity in the northern Adriatic under the influence of the River Po

ABSTRACT

Anthropogenic radioactivity in the northern Adriatic Sea was assessed by analysing ^{137}Cs in seawater and sediment. Radiological observation was done by analysing the sediment surface layer and seawater at different depths (0, 15 and 30 m) at the Po River delta (station 108) in the period from January 2014 to August 2015. ^{137}Cs activity concentrations in the sediment were in the range between 6.88 to 8.75 Bq kg^{-1} in the observed period while ^{137}Cs concentration measured in seawater were ranged from 0.862 to 2.95 Bq m^{-3}. Higher average ^{137}Cs activity concentrations in the sediment of the Po River delta in compared with the sediment of the Rovinj coastal area indicate that the discharge from the Po River could be an important supplier of ^{137}C to the northern Adriatic. It was also found that differences in ^{137}Cs concentration were not significant between investigated layers of seawater. The decreased trend of ^{137}Cs concentration activity with the depth at station 108 is not expressed.

In the area of the Po River delta, concentrations of ^{137}Cs in seawater are now lower than pre-Chernobyl values, generally taking into consideration the natural fluctuation due to the physico-chemical and hydrographic parameters of the investigated area.

This thesis is stored in the Library of Juraj Dobrila University of Pula and Ruđer Bošković Institute in Rovinj. Original in Croatian (19 pages, 7 figures, 2 tables, 17 references)

Keywords: caesium-137, northern Adriatic Sea, radioecology, river Po.