

# SUSTAVNO PRAĆENJE RADIOAKTIVNOSTI PRIOBALNIH VODA JADRANA KORIŠTENJEM DAGNJI (*Mytilus galloprovincialis*) KAO BIOINDIKATORA

Martina Rožmarić Mačefat<sup>1\*</sup>, Matea Rogić<sup>1</sup>, Delko Barišić<sup>1</sup>,  
Ljudmila Benedik<sup>2</sup> i Marko Štrok<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorij za radioekologiju, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

<sup>\*</sup>Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency,  
Monako

<sup>2</sup>Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija  
[rozmar@irb.hr](mailto:rozmar@irb.hr)

## UVOD

Mediterranean Mussel Watch (MMW) je projekt praćenja stanja radioaktivnosti voda priobalnog mora Mediterana pri čemu se dagnje (*Mytilus galloprovincialis*) koriste kao bioindikatori [1]. Dagnje su sesilni morski organizmi koji, hraneći se, u idealnim uvjetima filtriraju i do 80 L morske vode dnevno te na taj način mogu apsorbirati i akumulirati tvari otopljene u morskoj vodi ili adsorbirane na krutim česticama (suspendiranoj tvari). Upravo zbog te mogućnosti akumulacije, dagnje predstavljaju dobar biološki indikator za praćenje zagađenja morskog okoliša radionuklidima.

Radioaktivnost priobalnih voda Jadrana sustavno se, u okviru MMW projekta, prati u Laboratoriju za radioekologiju već dugi niz godina. Određuju se prirodni gama-emiteri <sup>7</sup>Be, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra i <sup>238</sup>U, koji su prisutni u morskoj vodi ili u nju dopijevaju uslijed depozicije iz atmosfere, odnosno donosa slatke vode i materijala s kopna tokovima rijeka, podzemnim vodama ili eolskim putem. Također se određuje i prisutnost umjetnog radionuklida <sup>137</sup>Cs koji je u mora dospio kao posljedica globalnog *fallout*-a nakon atmosferskih testiranja nuklearnog oružja 50-tih i 60-tih godina 20. stoljeća te nakon nuklearnog akcidenta u Černobilu 1986. godine. Prije nekoliko godina praćenje je prošireno i na prirodne, vrlo radiotoksične nuklide, <sup>210</sup>Po i <sup>210</sup>Pb, prvenstveno zbog potrebe procjene doza koje stanovništvo primi konzumacijom dagnji [2].

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti navedenih radionuklida u tkivima dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) tijekom proljeća i jeseni 2010. i 2011. godine provedenih s ciljem praćenja prostornih i vremenskih varijacija.

## MATERIJALI I METODE

Uzorci dagnji prikupljeni su na 13 postaja (čiji su zemljopisni položaji prikazani u Tablici 1) duž jadranske obale dva puta godišnje (proljeće i jesen) tijekom 2010. i 2011. godine Odabrane lokacije nalaze se pretežno na područjima koja su pod pojačanim utjecajem dotoka slatke vode s kopna kao što su estuariji rijeka Raše (D2), Krke (D4), Žrnovnice (D9), Neretve (D10–12) i Omble (D13) odnosno na područjima potencijalno izraženog antropogenog utjecaja (Kaštelanski zaljev; D6 – D8).

*Tablica 1.* GPS pozicije lokacija na kojima su prikupljeni uzorci dagnji u proljeće i jesen 2010. i 2011. godine

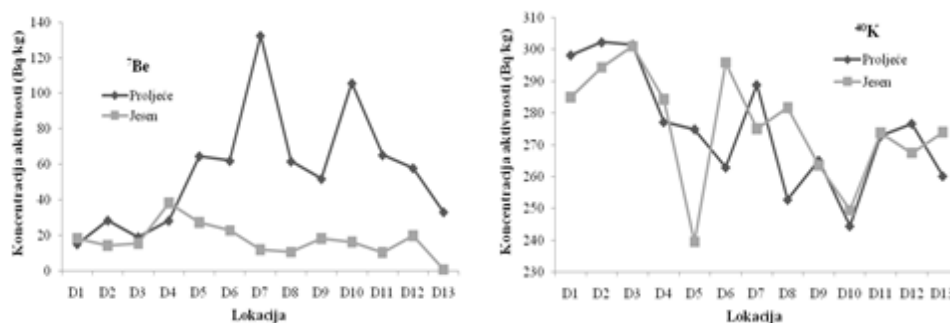
Lokacija	N	E	Stanište
D1 – Limski kanal	45° 08,223'	13° 43,280'	uzgajalište
D2 – Raški zaljev	45° 01,218'	14° 03,388'	uzgajalište
D3 – Bakarski zaljev	45° 18,410'	14° 32,323'	kamena riva
D4 – Šibenik	43° 46,056'	15° 50,722'	uzgajalište
D5 – Marina-Poljica	43° 30,900'	16° 09,419'	uzgajalište
D6 – Kaštel Gomilica	43° 32,682'	16° 24,130'	lukobran
D7 – Giričić	43° 32,755'	16° 24,311'	pontoni lučice
D8 – Vranjic	43° 31,894'	16° 27,652'	kamena riva
D9 – Stobreč	43° 30,006'	16° 31,519'	stupovi lučice
D10 – Bistrina	42° 52,373'	17° 42,080'	uzgajalište
D11 – Mali Ston	42° 50,650'	17° 42,616'	uzgajalište
D12 – Drače	42° 55,013'	17° 28,089'	uzgajalište
D13 – Dubrovnik	42° 40,244'	18° 07,565'	kamena riva

Nakon pripreme (odvajanja tkiva od ljušturi, sušenja do konstantne mase te homogeniziranja) uzorci su stavljeni u mjerne posude poznate geometrije te mjereni na HPGe detektoru (Canberra) povezanim s 8192 kanalnim analizatorom. Vrijeme brojanja uzoraka iznosilo je 80 000 s, a dobiveni spektri analizirani su softverom Genie 2000. Detektorski je sustav kalibriran odgovarajućim standardima, a preciznost i točnost su provjeravani mjerenjima standarda odnosno interkomparacijskim mjerenjima. <sup>210</sup>Po i <sup>210</sup>Pb određeni su metodom opisanom u literaturi [3].

## REZULTATI

Prosječne vrijednosti koncentracija aktivnosti prirodnog kozmogenog radionuklida <sup>7</sup>Be tijekom proljeća odnosno jeseni, prikazane na Slici 1, kreću se u veoma širokom rasponu (<0,8 – 132,5) Bq kg<sup>-1</sup> suhe mase pri

čemu su aktivnosti u uzorcima prikupljenim u proljeće na svim lokacijama redovito veće od aktivnosti mjerenih u uzorcima prikupljenim u jesen. Obzirom na biogeokemijsko ponašanje berilija (koji se ugrađuje u stanične membrane), ovakvi su rezultati i očekivani. Naime, tijekom proljeća je bioprodukcija planktonskih organizama (kojima se dagnje hrane filtrirajući morsku vodu) značajnija u odnosu na jesenski dio godine. Obzirom na vrijeme poluraspada  $^7\text{Be}$  (53,4 dana) i činjenicu da u morsku vodu dospijeva direktno oborinama i/ili dotokom slatke vode s kopna, sušni ljetni i ranojesenski period stoga rezultiraju njegovim niskim koncentracijama u tkivima dagnji tijekom rane jeseni.



Slika 1. Prosječne koncentracije aktivnosti  $^7\text{Be}$  i  $^{40}\text{K}$  (Bq kg<sup>-1</sup> suhe mase) u tkivima dagnji uzorkovanih tijekom proljeća i jeseni 2010. i 2011. godine

Za razliku od  $^7\text{Be}$ , prosječne koncentracije aktivnosti primordijalnog  $^{40}\text{K}$  u tkivima dagnji (Slika 1) bitno ne variraju obzirom na godišnje doba i kreću se u rasponu (240 – 302) Bq kg<sup>-1</sup> suhe mase s prosječnim vrijednostima (275 ± 18) Bq kg<sup>-1</sup> u proljeće odnosno (276 ± 18) Bq kg<sup>-1</sup> u jesen. Koncentracija primordijalnog  $^{40}\text{K}$  u oceanskoj vodi je visoka i ujednačena (~12 500 Bq m<sup>-3</sup>) te se stoga i u priobalnoj morskoj vodi ne mijenja bitno niti u slučaju izraženijih terigenih utjecaja. Stoga su koncentracije kalija kao biogenog elementa, a time i mjerene aktivnosti  $^{40}\text{K}$  u tkivima dagnji, prvenstveno odraz kondicijskog stanja tih organizama.

Rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida  $^{210}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Pb}$  prikazani su u literaturi [3]. Ponašanje ovih radionuklida gotovo je identično ponašanju  $^7\text{Be}$  stoga što, jednako kao i berilij, prvenstveno dospijevaju u priobalne vode depozicijom iz atmosfere te dotokom slatke vode s kopna. Izmjerene vrijednosti veće su u proljeće kojem prethodi kišno razdoblje u odnosu na sušni ljetni i ranojesenski

period koji prethodi jesenskom uzorkovanju. Pritom su nešto veće aktivnosti mjerene na lokacijama smještenim u dobro zatvorenom Neretvanskom kanalu u kojeg se Neretvom i podzemnim vodama dreniraju i znatne površine teritorija susjedne Bosne i Hercegovine.

Koncentracije aktivnosti umjetnog radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  u tkivu dagnji tijekom 2010. godine su redovito bile ispod granica detekcije ( $0,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) iako je ta godina u prosjeku bila kišovitija od pretežno sušne 2011. godine. Tijekom 2011. godine  $^{137}\text{Cs}$  je u travnju detektiran u tkivu dagnji na lokacijama D4, D9 i D12, a u listopadu na lokacijama D2, D4, D5 te D9 – D13 pri čemu su izmjerene aktivnosti bile u rasponu od  $0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  suhe mase tkiva. U svim slučajevima se radi o gotovo zatvorenim marinskim sredinama koje su pod izrazitim utjecajem dotoka slatkih voda. Prisustvo  $^{137}\text{Cs}$  u dagnjama moglo bi biti posljedica njegovog značajnijeg unosa slatkim vodama u morsku sredinu (obilnije oborine i značajniji dotoci u vremenskim razdobljima koja su prethodila uzorkovanju) i/ili izmjene jadranskih voda zbog dotoka iz Jonskog odnosno Egejskog mora. S druge pak strane treba istaknuti da su koncentracije  $^{137}\text{Cs}$  u morskoj vodi tijekom posljednjih desetak godina bile približno konstantne. Koncentracije  $^{137}\text{Cs}$  mjerene četiri puta godišnje na tri dubine na lokaciji približno 20 km ispred ušća rijeke Po kretale su se u rasponu od 1,5 do  $2,5 \text{ Bq m}^{-3}$  morske vode [interni podaci LRE].

Koncentracije aktivnosti prirodnih  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  u tkivima dagnji su bile izrazito niske i uglavnom su se kretale ispod granica detekcije. Značajne razlike u aktivnostima nisu uočene kako u odnosu na proljetni/jesenski period tako niti u odnosu na lokacije pojedinih područja uzorkovanja na jadranskoj obali.

Općenito su sve mjerene vrijednosti koncentracija aktivnosti promatranih radionuklida u skladu s rezultatima publiciranim u znanstvenoj literaturi [1,4].

## ZAKLJUČAK

Koncentracije aktivnosti  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Pb}$  redovito su više u proljetnom dijelu godine u odnosu na jesenski, pri čemu su vrijednosti najviše na lokacijama pod izrazitim utjecajem dotoka slatkih voda. Ponašanje ovih radionuklida je gotovo identično budući da prvenstveno dopijevaju u priobalne vode depozicijom iz atmosfere te dotokom slatke vode s kopna.

Koncentracije aktivnosti  $^{40}\text{K}$  bitno ne variraju kako s obzirom na godišnje doba tako ni s obzirom na lokacije, što je i očekivano obzirom na njegove prirodne koncentracije u morskoj vodi.

Koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  izrazito variraju. Tijekom 2010. godine na svim lokacijama bile su ispod granica detekcije, a tijekom 2011. godine  $^{137}\text{Cs}$  je detektiran čak 11 puta s maksimalnom vrijednošću od  $1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  suhe mase tkiva.

Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  u tkivima dagnji izrazito su niske i uglavnom ispod granica detekcije gamaspektrometrijskog određivanja.

## ZAHVALA

Rad je izrađen uz financijsku potporu Ugovora s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost («Sustavno ispitivanje radioaktivnosti u morskim indikatorskim organizmima»), Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske (bilateralni projekt «Radiokemijske metode za određivanje radionuklida u uzorcima vode») te Ministrstva za visoko školstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije (bilateralni projekt BI-HR/10-11-007).

## LITERATURA

- [1] Thebault H, Rodriguez y Baena A.M, Andral B, Barišić D, Albaladejo J.B, Bologna A.S, Boudjenoun R, Delfanti R, Egorov V.N, El Khoukhi T, Florou H, Kniewald G, Noureddine A, Patrascu V, Pham M.K, Scarpato A, Stokozov N.A, Topcuoglu S, Warnau M.  $^{137}\text{Cs}$  baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: A cross-basin survey of the CIESM Mediterranean Mussel Watch programme. *Mar Pollut Bull* 2008;57:801-806.
- [2] Rožmarić M, Rogić M, Benedik L, Štok M, Barišić D.  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  activity concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from Croatian Adriatic coast with the related dose assessment to the coastal population. *Chemosphere* 2012;87:1295-1300.
- [3] Rogić M, Rožmarić Mačefat M, Barišić D, Benedik Lj, Planinšek P. Koncentracije aktivnosti  $^{210}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Pb}$  u dagnjama (*Mytilus galloprovincialis*) te procjena ukupne godišnje efektivne doze za priobalno stanovništvo Republike Hrvatske. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 2013. (ovaj Zbornik)
- [4] Fisenne I.M, Perry P.M, Decker K.M, Keller H.W. The daily intake of  $^{234,235,238}\text{U}$ ,  $^{228,230,232}\text{Th}$  and  $^{226,228}\text{Ra}$  by New York City residents. *Health Phys* 1987;53(4):357-363.

## SYSTEMATIC RADIOACTIVITY MONITORING OF ADRIATIC COASTAL WATERS USING MUSSELS (*Mytilus galloprovincialis*) AS A BIOINDICATOR

Martina Rožmarić Mačefat<sup>1\*</sup>, Matea Rogić<sup>1</sup>, Delko Barišić<sup>1</sup>,  
Ljudmila Benedik<sup>2</sup> and Marko Štrok<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

<sup>\*</sup>Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency,  
MC 98000, Monaco

<sup>2</sup>Department for Environmental Sciences, Jozef Stefan Institute, Ljubljana,  
Slovenia

[rozmar@irb.hr](mailto:rozmar@irb.hr)

Mediterranean Mussel Watch (MMW) is a project for radioactivity monitoring of Mediterranean coastal waters using mussels (*Mytilus galloprovincialis*) as a bioindicator. Mussels are sessile marine organisms able to filter up to 80 L of sea water daily. Possibility of absorption and accumulation of dissolved/particulate matter from sea water makes them a good bioindicator for environmental pollution studies. Laboratory for Radioecology systematically monitors Adriatic coastal waters as a part of MMW project, which includes determination of <sup>7</sup>Be, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U and <sup>137</sup>Cs, as well as highly radiotoxic naturally occurring radionuclides <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb.

The mussels were collected in spring and autumn periods of 2010 and 2011 at 13 stations including areas under significant fresh water discharges (Raša, Žrnovnica, Neretva and Ombla Rivers) or areas under potential antropogenic influence (Kaštela Bay). After sample preparation <sup>7</sup>Be, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U and <sup>137</sup>Cs were determined gamma-spectrometrically, while <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb were separated on Sr resin. <sup>210</sup>Po was determined on an alpha spectrometer after self-deposition on Ag disc, while <sup>210</sup>Pb was determined via <sup>210</sup>Bi on a gas proportional counter after PbSO<sub>4</sub> precipitation.

<sup>7</sup>Be, <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb activity concentrations were higher in spring than in autumn periods for all locations, with the highest activities in the areas under heavy fresh water discharges. Activity concentrations of <sup>40</sup>K were practically the same at all locations with no seasonal changes, while <sup>137</sup>Cs activities varied significantly. Activities of <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U and <sup>226</sup>Ra were mostly below the detection limit of gamma-spectrometric measurements.