

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΕ ΔΥΟ ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Γ. Τραβίδου*, Ε. Φλώρου*, Ι. Κατσικής**

*ΙΠΤΑ/ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", Αγία Παρασκευή 15310, Αθήνα

**Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Μεσογείων 70, Αθήνα

ABSTRACT

G. Trabidou, H. Florou, I. Katsikis: Comparative study on the radioactivity of spas in two littoral zones in Greece.

The major contribution to the various radiation exposures received by organisms comes from natural sources. In most places in the world the natural radioactivity varies within relatively narrow limits, but in certain localities there are wide deviations from normal levels. Elevated concentrations of natural radionuclides in the abiotic and biotic environmental materials, in some cases, are reflected in the elevated doses received by humans and other organisms. Among the major sources of high natural radioactivity are some mineral springs. In Greece there are several radioactive springs, such as those in Icaria and Loutraki. These springs are found in the littoral zone of the areas of interest, where as in the sub-littoral zone some springs bubble up from the bottom as well. The purpose of this study is to measure the activity concentrations of the ^{238}U - ^{226}Ra and ^{232}Th decay series, as well as ^{40}K , in sea water, sediment and coastal soil samples in the areas of the above mentioned spas. The results obtained are used for the evaluation of external dose rates received by marine biota.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οργανισμοί εκτίθενται σε ακτινοβολίες φυσικής και τεχνητής προέλευσης από τα αβιοτικά στοιχεία του περιβάλλοντος και από τις κοσμικές ακτινοβολίες, που αποτελούν ακτινοβολίες φυσικής προέλευσης. Μεταξύ των περιοχών που αναφέρονται συχνότερα στη βιβλιογραφία για τις υψηλές συγκεντρώσεις ραδιενέργειας που παρουσιάζουν είναι και οι ιαματικές πηγές. Στην Ελλάδα οι πηγές με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ραδιενέργειας είναι της Ικαρίας, Καμένων Βούρλων, Λουτρακίου και Αιδηψού (Kritidis, 1991 και G. Trabidou et al, 1996). Οι πηγές της Ικαρίας και Λουτρακίου αναβλύζουν στην παράκτια ζώνη και εκβάλλουν στη θάλασσα, ενώ επίσης υπάρχουν πηγές που αναβλύζουν στο βυθό της θάλασσας.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η διασπορά και κατανομή φυσικών ραδιονουκλιδίων σε θαλασινό νερό και ιζημάτα στις περιοχές των πηγών Ικαρίας και Λουτρακίου. Στη συνέχεια εξετάζονται οι επιπτώσεις στους οργανισμούς από τις ακτινοβολίες φυσικής προέλευσης, που προέρχονται από τις συγκεντρώσεις των ραδιονουκλιδίων γ-εκπομπής του θαλασσινού νερού και των ιζημάτων που εξετάστηκαν.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγματα θαλασσινού νερού και ιζημάτων συλλέγονται από περιοχές, όπου εκβάλλουν πηγές στην Ικαρία και στο Λουτράκι. Τα δείγματα επεξεργάζονται με φυσικές μεθόδους για τον προσδιορισμό των φυσικών ραδιονουκλιδίων. Η μέτρηση των δειγμάτων γίνεται σε σύστημα γ-φασματομετρίας με ανιχνευτή HpGe , σχετικής απόδοσης 20% ως προς ανιχνευτή $3 \times 3 \text{ } ^2\text{NaI}$.

Οι συγκεντρώσεις των ραδιονουκλιδίων στα δείγματα νερού και ιζημάτων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ρυθμού των δόσεων ακτινοβολιών, που δέχονται οι θαλάσσιοι οργανισμοί. Με βάση του τύπους διαβίωσης των οργανισμών, ο ρυθμός δόσης ακτινοβολίας

από τα φυσικά ραδιονουκλινία γ-εκπομπής στο θαλασινό νερό και τα ιζημάτα υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

α) θαλασινό νερό, ίζημα.

$D = 1.6 \cdot 10^{-16} A \sum_i E_{\gamma_i} I_{\gamma_i}$, όπου:

D : ο ρυθμός δόσης σε οποιοδήποτε σημείο του νερού ή ιζήματος σε $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$

A : συγκεντρώση ενεργότητας του νερού ή ιζήματος σε $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$

E_{γ_i} : ενέργειες γ-ακτινοβολιών σε keV

I_{γ_i} : μέσος αριθμός γ-κβάντων ενέργειας E_{γ_i} ανά διάσπαση.

β) διαχωριστική επιφάνεια θαλασσινού νερού-αέρα.

$D = 8 \cdot 10^{-17} A_s \sum_i E_{\gamma_i} I_i$, όπου:

D : ο ρυθμός δόσης στη διαχωριστική επιφάνεια νερού αέρα σε Gy. s⁻¹

A_s: συγκέντρωση ενεργότητας του νερού σε Bq. kg⁻¹

E_{γ_i}: ενέργειες γ-ακτινοβολιών σε keV

I_i : μέσος αριθμός γ-κβάντων ενέργειας E_{γ_i} ανά διάσπαση

γ) διαχωριστική επιφάνεια θαλασσινού νερού-ιζήματος

$D(A,B) = 8 \cdot 10^{-17} [A_s(A) \sum_i E_{\gamma_i}(A) I_i(A) + A_s(B) \sum_i E_{\gamma_i}(B) I_i(B)]$, όπου

D(A,B): ο ρυθμός δόσης στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-ιζήματος σε Gy.s⁻¹

A_s(A), A_s(B) : συγκέντρωση ενεργότητας του νερού και του ιζήματος αντίστοιχα σε Bq.kg⁻¹

E_{γ_i}(A), E_{γ_i}(B): ενέργειες γ-ακτινοβολιών σε keV

I_i(A), I_i(B) : μέσος αριθμός γ-κβάντων ενέργειας E_{γ_i} ανά διάσπαση

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε θαλασσινό νερό και ιζήματα από τις περιοχές μελέτης που προαναφέρθηκαν, μαζί με συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων από άλλες περιοχές του Ελλαδικού χώρου, συνοψίζονται στους Πίνακες 1 και 2, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι στο θαλασσινό νερό των περιοχών των ιαματικών πηγών Ικαρίας και Λουτρακίου ανιχνεύεται και ²²²Rn, ενώ οι συγκεντρώσεις των ²²⁶Ra και ²²⁸Ra είναι υψηλότερες από αυτές άλλων Ελληνικών περιοχών και περιοχών αναφερόμενων στη Διεθνή βιβλιογραφία (Dolvette and Bologna, 1986). Επίσης, οι συγκεντρώσεις των φυσικών ραδιονουκλιδίων σε νερό στην Ικαρία συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις περιοχών Λουτρακίου είναι υψηλότερες (Πίνακας 1).

Τα μετρούμενα ιζήματα περιοχών ιαματικών πηγών της Ικαρίας χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων ²²⁶Ra, ²³²Th, και ⁴⁰K σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα περιοχών υποβάθρου στην Ελλάδα, αναφερόμενα σε ευρύ δίκτυο δειγματοληψιών στον Ελλαδικό χώρο. Οι συγκεντρώσεις, όμως, των κύριων φυσικών γ-ραδιονουκλιδίων σε ιζήματα περιοχών του Λουτρακίου κυμαίνονται μέσα στο φάσμα των τιμών υποβάθρου (Πίνακας 2).

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε θαλασσινό νερό και ιζήματα υπολογίζονται οι ρυθμοί δόσεων ακτινοβολιών που δέχονται οι θαλάσσιοι οργανισμοί. Τα αποτελέσματα των ρυθμών δόσεων από το θαλασσινό νερό και το ιζήμα για τα διάφορα ραδιονουκλίδια φαίνονται στους Πίνακες 3,4.

Συγκρινοντας τους παρατηρούμενους ρυθμούς δόσεων ακτινοβολιών του θαλασσινού νερού των περιοχών μελέτης με άλλες περιοχές του Ελλαδικού χώρου (Φλώρου, 1992) παρατηρούμε ότι οι ρυθμοί δόσεων στις περιοχές Ικαρίας και Λουτρακίου παρουσιάζουν μέγιστα υψηλότερα. Αντίστοιχα οι ρυθμοί δόσεων ακτινοβολιών των ιζημάτων σε περιοχές της Ικαρίας είναι υψηλότεροι από τις τιμές υποβάθρου του Ελλαδικού χώρου, ενώ οι αντίστοιχοι ρυθμοί σε περιοχές του Λουτρακίου κυμαίνονται μέσα στο εύρος τιμών υποβάθρου.

Τα αποτελέσματα του ρυθμού δόσεων των ακτινοβολιών που δέχονται οι οργανισμοί εξαρτώνται από τη ραδιοενεργότητα του κάθε οργανισμού, που εκτίθεται στην ακτινοβολία. Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι χρόνια έκθεση σε δόση ακτινοβολίας 10mGy d⁻¹, έχει σαν αποτέλεσμα μεταβολικές ανωμαλίες στους οργανισμούς.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ιζήματα και θαλασσινό νερό από περιοχές των ιαματικών πηγών στην Ικαρία παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας σε σχέση με την περιοχή των ραδιενεργών ιαματικών πηγών Λουτρακίου, αλλά και σε σχέση με τις εν γένει τιμές υποβάθρου του Ελλαδικού χώρου. Αυτή η ραδιολογική κατάσταση του αβιοτικού περιβάλλοντος αντανακλάται στη ραδιολογική επιβάρυνση θαλασσίων οργανισμών.

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις ενεργότητας φυσικών ραδιονουκλιδίων στο θαλασινό νερό στην Ικαρία, Λουτράκι και άλλες περιοχές του Ελλαδικού χώρου ($Bq l^{-1}$).

	^{226}Ra	^{228}Ra	^{222}Rn	^{40}K
Ικαρία				
MV \pm SD	1.2 \pm 1.0	0.6 \pm 0.6	18 \pm 17	19 \pm 0.6
Min	<0.1	<0.1	1.3 \pm 2.9	19 \pm 7.4
Max	1.9 \pm 0.3	1.1 \pm 0.9	35 \pm 6.7	20 \pm 1.9
Λουτράκι				
MV \pm SD	0.3 \pm 0.18	0.15 \pm 0.23	66 \pm 26.2	8.87 \pm 3.2
Min	0.1 \pm 0.3	<0.1	41.7 \pm 1.8	5.5 \pm 2.2
Max	0.5 \pm 0.4	0.5 \pm 0.8	96.1 \pm 2.6	12.7 \pm 2.5
Άλλες περιοχές (Φλώρου, 1992)				
Min	0.00145 \pm 0.00025	0.00208 \pm 0.00030		9.8 \pm 1.18
Max	0.00167 \pm 0.00037	0.00432 \pm 0.00065		11.9 \pm 1.30

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις ενεργότητας φυσικών ραδιονουκλιδίων σε ιζήματα στην Ικαρία, Λουτράκι και άλλες περιοχές του Ελλαδικού χώρου ($Bq kg^{-1}$).

	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Ικαρία				
MV \pm SD	214 \pm 410	212 \pm 311	43 \pm 18	1130 \pm 823
Min	15 \pm 9	24 \pm 14	18 \pm 48	258 \pm 14
Max	1049 \pm 30	764 \pm 10	66 \pm 3	2464 \pm 70
Λουτράκι				
MV \pm SD	16.3	12.7 \pm 2.3	6.1 \pm 3.0	277 \pm 107
Min	8.9 \pm 8.5	10.8 \pm 2.5	2.8 \pm 4.1	159 \pm 14
Max	25.1 \pm 36.1	16.1 \pm 3.8	10.8 \pm 3.9	449 \pm 26
Άλλες περιοχές (E.R.L., 1989)				
MV \pm SD		15 \pm 14	13 \pm 13	173 \pm 187
Min		4	4	47
Max		50	47	627

Πίνακας 3. Ρυθμοί δόσεων φυσικών ακτινοβολιών γ -εκπομπής στο θαλασινό νερό και στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα σε $mGy d^{-1}$.

	Θαλασινό νερό		Διαχωριστική επιφάνεια	
	Min	Max	Min	Max
Ικαρία				
^{226}Ra	<2428 \cdot 10 $^{-6}$	46129 \cdot 10 $^{-6}$	<1214 \cdot 10 $^{-6}$	23065 \cdot 10 $^{-6}$
^{228}Ra	<1331 \cdot 10 $^{-6}$	14636 \cdot 10 $^{-6}$	<666 \cdot 10 $^{-6}$	7318 \cdot 10 $^{-6}$
^{40}K	41040 \cdot 10 $^{-6}$	43200 \cdot 10 $^{-6}$	20520 \cdot 10 $^{-6}$	21600 \cdot 10 $^{-6}$
Λουτράκι				
^{226}Ra	2428 \cdot 10 $^{-6}$	12139 \cdot 10 $^{-6}$	1214 \cdot 10 $^{-6}$	6070 \cdot 10 $^{-6}$
^{228}Ra	<1331 \cdot 10 $^{-6}$	6653 \cdot 10 $^{-6}$	<666 \cdot 10 $^{-6}$	3327 \cdot 10 $^{-6}$
^{40}K	11880 \cdot 10 $^{-6}$	27432 \cdot 10 $^{-6}$	5940 \cdot 10 $^{-6}$	13716 \cdot 10 $^{-6}$

Πίνακας 4. Ρυθμοί δόσεων φυσικών ακτινοβολιών γ-εκπομπής στο ίζημα και στη διαχωριστική επιφάνεια ιζηματο-
 νερού σε $mGy d^{-1}$.

	Ίζημα		Διαχωριστική επιφάνεια	
	Min	Max	Min	Max
Ικαρία				
^{238}U	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$21 \cdot 10^{-2}$		
^{226}Ra	$5.8 \cdot 10^{-1}$	18.5	$3 \cdot 10^{-1}$	9.6
^{232}Th	$6.1 \cdot 10^{-1}$	2.26	$3.1 \cdot 10^{-1}$	1.14
40K	$5.6 \cdot 10^{-1}$	5.3	$3 \cdot 10^{-1}$	2.8
Λουτράκι				
^{238}U	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-2}$		
^{226}Ra	$0.55 \cdot 10^{-1}$	0.34	$1.3 \cdot 10^{-1}$	0.2
^{232}Th	$0.9 \cdot 10^{-1}$	0.37	$0.5 \cdot 10^{-1}$	0.2
^{40}K	$3.4 \cdot 10^{-1}$	0.99	$1.8 \cdot 10^{-1}$	0.5

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Kritidis, P. Radiological study of the Greek Radon Spas. In: Proc. Int. Symp. on Radon and Radon Reduction Technology. Vol. 3, Session VI(8).
2. Trabidou G., Florou H., Angelopoulos A. and Sakelliou L. Environmental Study of the Radioactivity of the Spas in the island of Ikaria. Radiat. Prot. Dosim. **63**(1), 63-67 (1996).
3. Dolvete, C. and Bologna, S. A. Total Alpha and Beta Radioactivity and Gamma Spectrometrical Analyses in Black Sea Sediment, Water, Flora and Fauna between 1984-1985. Rapp. Comm. Int. Mer. Medit. **30**(2), 212 (1986).
4. Φλώρου Ε., Διασπορά και κατανομή μακροβίων ραδιονουκλιδίων στο θαλασσιο οικοσύστημα του Ελλαδικού χώρου. Διατριβή επί Διδακτορία. Ζωολογικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
5. Environmental Radioactivity Laboratory. Environmental Monitoring of the Country (Data available) (NCSR "Demokritos", Athens) (1989).