

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΡΑΔΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΙΑΜΑΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ: ΣΥΝΟΨΙΣ

Δρ ΕΛΕΝΗ ΦΛΩΡΟΥ
Δ/ΝΤΡΙΑ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ & ΡΑΔΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Πατριάρχου Γρηγορίου Ε' & Νεαπόλεως 27, Τ.Κ. 15341, Αγ. Παρασκευή, Αττική
eflorou@ipta.demokritos.gr

Η ραδιενέργεια, ως φαινόμενο προϋπήρξε της ζωής από τη γένεση του Πλανήτη, ενώ η ζωή αναπτύχθηκε να εξελίχθηκε σε συνθήκες χαμηλού επιπέδου ιοντίζουσας ακτινοβολίας, που είναι το αποτέλεσμα του φαινομένου της ραδιενέργειας. Με την πάροδο των γεωλογικών αιώνων, αρκετά από τα ραδιενεργά στοιχεία (τα λιγότερα μακρόβια) εξαντλήθηκαν και εξαφανίστηκαν από τον πλανήτη, ενώ τα μακροβιότερα αποτελούν το φυσικό υπόβαθρο της ραδιενέργειας της λιθόσφαιρας. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα της χρήσης της πυρηνικής επιστήμης για ειρηνικούς και στρατιωτικούς σκοπούς, επανεισήχθηκαν στο οικοσύστημα της Γης τα εξαφανισμένα ραδιονουκλίδια, χαρακτηριζόμενα πλέον ως τεχνητής προέλευσης ραδιονουκλίδια.

Η παρουσία των φυσικών ραδιονουκλιδίων στο περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση του πληθυσμού στην ιοντίζουσα ακτινοβολία, που μεταφράζεται σε δόση εξωτερικής έκθεσης άμεσα και εσωτερικής έκθεσης έμμεσα μέσω των οδών αναπνοής και πέψης. Η εκτίμηση της ραδιολογικής επιβάρυνσης του πληθυσμού, όπως προκύπτει από την έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία των ραδιονουκλιδίων φυσικής προέλευσης, είναι ιδιαίτερης σημασίας, δεδομένου ότι τα φυσικά ραδιονουκλίδια έχουν σημαντική συνεισφορά στην συνολική δόση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, που λαμβάνει ο πληθυσμός από διάφορες πηγές τεχνητής και φυσικής προέλευσης [1]. Η παραπάνω εκτίμηση των επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον, βασίζεται σε μεθόδους και τεχνικές, που εξασφαλίζουν την βέλτιστη απόδοση της τεχνολογικής έρευνας, που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του επιδιωκόμενου στόχου, με ταυτόχρονη επίτευξη οικονομίας σε χρόνο και κόστος στην εφαρμογή τους.

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται και χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στην Ελλάδα συνδυασμένη μεθοδολογία μέτρησης με γάμμα-φασματομετρία των ^{222}Rn (^{222}Rn), ^{226}Ra (^{226}Ra) και ^{238}U (^{238}U), στα ύδατα των θερμομεταλλικών πηγών, που χρησιμοποιούνται για λουτροθεραπεία, με έμφαση στο ^{222}Rn , που είναι και το ραδιολογικά σημαντικότερο σχετικά με την προστασία των επισκεπτών και κυρίως των εργαζομένων στις εγκαταστάσεις θερμαλισμού.

Το ^{222}Rn είναι ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο, που εκλύεται από βράχους και εδάφη ως θυγατρικό ραδιονουκλίδιο του πατρικού του ^{226}Ra . Άλλες πηγές έκλυσης ^{222}Rn είναι τα δομικά και οικοδομικά υλικά και σε ορισμένες περιστάσεις τα υπόγεια ύδατα των φυσικών πηγών και πηγαδιών [2]. Τα βιολογικά αποτελέσματα από την έκθεση στο ^{222}Rn εξαρτώνται από την άλφα ιοντίζουσα ακτινοβολία, που παράγεται στην διαδικασία της διάσπασης (θυγατρικά ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po). Ως εκ τούτου, ραδιολογικό αποτέλεσμα μπορεί να προκύψει και από πολύ χαμηλές δόσης άλφα ακτινοβολίας.

Τα ύδατα των φυσικών πηγών της Ελλάδος, που προέρχονται από υπόγειους υδροφορείς μπορεί να περιέχουν ραδόνιο, που είναι επιβλαβές λόγω της ιοντίζουσας ακτινοβολίας των βραχύβιων θυγατρικών του παραγώγων [3]. Οι μετρούμενες αυξημένες συγκεντρώσεις του ^{222}Rn στα ύδατα των θερμομεταλλικών πηγών, που χρησιμοποιούνται για λουτροθεραπεία στην Ελλάδα, έχουν ως συνέπεια την έκθεση σε ραδιολογικό κίνδυνο των επισκεπτών και κυρίως των εργαζομένων στις εγκαταστάσεις λουτροθεραπείας, μέσω της αναπνευστικής οδού· καθώς το ευγενές αέριο ^{222}Rn απελευθερώνεται στον αέρα με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις ενεργότητας του ραδιονουκλιδίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων να παρουσιάζονται αυξημένες [4]. Ως εκ τούτου, ο ραδιολογικός κίνδυνος από τα θυγατρικά ραδιονουκλίδια του ^{222}Rn θεωρείται σημαντικός σε σχέση με τους κανόνες και τα όρια για την έκθεση των κρίσιμων ομάδων (εργαζόμενοι, λουόμενοι,) αλλά και για τον πληθυσμό (σε περίπτωση).

Στην περίπτωση των θερμομεταλλικών πηγών, που μελετήθηκαν, οι αυξημένες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ραδονίου στο νερό (όπως στην περίπτωση της Ικαρίας) δεν υποστηρίζονται από τον πατρικό του πυρήνα του ^{226}Ra , αλλά το ραδόνιο απελευθερώνεται από το ^{226}Ra , που βρίσκεται στο λιθοσφαιρικό περιβάλλον (βράχοι και ορυκτά) των υπόγειων δεξαμενών [5, Παρούσα Μελέτη]. Στην Ελλάδα υπάρχουν διάφορες μεταλλικές πηγές, που θεωρούνται ήδη από την αρχαιότητα ιαματικές λόγω θεραπευτικών ιδιοτήτων, διαδραματίζοντας έτσι σημαντικό ρόλο στον ιαματικό τουρισμό. Συνεπώς, οι αυξημένες συγκεντρώσεις του Rn-222 σ'έναν αριθμό

αυτών, θέτει το ζήτημα της μελέτης του ραδιολογικού κινδύνου για τις ομάδες του πληθυσμού, που εκτίθενται στην ιοντίζουσα ακτινοβολία στις εγκαταστάσεις του θερμαλισμού.

Σε συμμόρφωση με την Απόφαση 17414/2009 του Υπουργείου Τουρισμού της Ελλάδος για την αναγνώριση των ιαματικών φυσικών πόρων [6], το Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος ανέλαβε την έρευνα της ραδιολογικής καταλληλότητας των (θερμο)μεταλλικών πηγών προκειμένου αυτές να αναγνωρισθούν ως ιαματικοί φυσικοί πόροι. Συνολικά έχουν εξετασθεί 85 δείγματα πηγών χ 3 διακριτές μετρήσεις ανά ημέρα, σε 68 πηγές, 3 δείγματα πηλού ενώ χρησιμοποιήθηκαν και 30 μετρήσεις από το αρχείο του ΕΡΠ (βλ. παρακάτω συνοπτική αναφορά μετρήσεων) σε 11 από τις 13 διοικητικές περιφέρειες της Ελλάδος. Σε εφαρμογή της Απόφασης του Υπουργείου, το πιστοποιητικό ραδιολογικής καταλληλότητας περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις ενεργότητας των ^{222}Rn , ^{226}Ra και ^{128}U για τον καθορισμό της ραδιολογικής ποιότητας των υδάτων, που προορίζονται για εξωτερική χρήση (λουτροθεραπεία). Επαναληπτικές μετρήσεις απαιτούνται στην περίπτωση συγκέντρωσης ενεργότητας του ^{222}Rn υψηλότερης των 100 Bq/L, προκειμένου να καλυφθούν η ψυχρή και θερμή περίοδος στο ίδιο υδρολογικό έτος [6].

Τα δείγματα ύδατος των θερμομεταλλικών πηγών συλλέγονται σε ειδικά δοχεία και σφραγίζονται (3 δείγματα την ημέρα για τον υπολογισμό της ημερήσιας διακύμανσης του ραδονίου) και μετρούνται σε σύστημα γάμμα-φασματοσκοπικής ανάλυσης για την εκτίμηση των επιπέδων του ^{222}Rn . Μετά από την πρώτη μέτρηση τα δοχεία ανοίγονται και αερίζονται για την απομάκρυνση του ^{222}Rn . Ακολούθως σφραγίζονται και παραμένουν για διάστημα 24 ημερών για την επίτευξη της ισορροπίας μεταξύ (secular equilibrium) μεταξύ των ^{226}Ra και ^{222}Rn και μετρούνται εκ νέου για τον προσδιορισμό του ^{226}Ra . Για τον προσδιορισμό του ^{238}U , ξεχωριστά δείγματα ύδατος υπόκεινται σε ήπια εξάτμιση και το στερεό υπόλειμμα (μεταφερόμενο σε καταλληλο δοχείο της γεωμετρίας μέτρησης) μετρείται σε σύστημα γάμμα-φασματοσκοπικής ανάλυσης. Οι χρησιμοποιούμενοι, για τις μετρήσεις, ανιχνευτές υπερκαθαρού γερμανίου (HpGe), έχουν βαθμονομηθεί με πρότυπες ραδιενεργές πηγές.

Στο διάστημα 2014 -2016 εξετάσθηκε το 40% των 150 πηγών, που δυνητικά εντάσσονται στην εμπορική δραστηριότητα για ανάπτυξη, στις 11 από τις 13 διοικητικές περιφέρειες της Ελλάδος. Από τα αποτελέσματα προέκυψαν υψηλές συγκεντρώσεις ενεργότητας ^{222}Rn κυρίως στην Ικαρία (Ανατολικό Αιγαίο), ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{226}Ra μετρήθηκαν στις πηγές της Αιδηψού (Βόρειο τμήμα της Ευβοίας), στα Καμένα Βούρλα και στην Ικαρία. Οι

συγκεντρώσεις ενεργότητας του ^{238}U στις φυσικές πηγές της Ελλάδος, δεν ξεπέρασαν τα 0.5 Bq/L με εξαίρεση μια πηγή στην Αττική με περίπου διπλάσια μετρούμενη τιμή [7, 8].

Στην Ικαρία συνοπτικά διενεργήθηκαν:

- 54 μετρήσεις σε δείγματα από 8 θερμο-μεταλλικές πηγές (**Απόλλωνας, Σπήλαιο, Ασκληπιός, Αγία Κυριακή, Θερμό Λευκάδας, Πηγή Κράτσα Θερμών, Αθάνατο Νερό, Γεώτρηση Βασίλαρου Αγ. Κήρυκος**), στη θερμή και ψυχρή περίοδο ως: 8 πηγές X 3 μετρήσεις σε αντίστοιχα δείγματα ανά ημέρα X 2 περιόδους και 6 δείγματα από τους λουτήρες του «Απόλλωνα» και τον ταμιευτήρα του «Σπηλαίου - 2014 – 2016)
- 30 μετρήσεις σε δείγματα από 10 θερμο-μεταλλικές πηγές, δείγματα γεωτρήσεων και δικτύου ύδρευσης στο διάστημα 1993-1996 [9]
- Πρόσθετες μετρήσεις σε δείγματα νερού των πηγών «Απόλλωνας» και «Σπήλαιο» από την πηγή και ακολούθως από τους λουτήρες την ίδια ημέρα (2014)
- Μετρήσεις ραδιενέργειας στον αέρα των εσωτερικών χώρων των υδροθεραπευτηρίων «Απόλλωνας» και «Σπήλαιο» σε διάφορες συνθήκες και έντασης ροής νερού στις καμπίνες (2014)
- Μετρήσεις in situ (επιτόπιες) ολικής γ-ακτινοβολίας σε δίκτυο στο Νησί και γ-φασματομετρίας στα 2 υδροθεραπευτήρια «Απόλλωνας» και «Σπήλαιο» (2014 και 2004)

Για την εκτίμηση του ρυθμού δόσης του ^{222}Ra έγιναν μετρήσεις στον αέρα των λουτροκαταστημάτων «Απόλλων» και «Σπήλαιο», όπου παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ^{222}Ra στο νερό των πηγών, καθώς και μετρήσεις στο νερό των πηγών και λουτήρων την ίδια ημέρα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του ^{222}Ra στους λουτήρες υπο-δεκαπλασιάζονται από την πηγή, ενώ οι υπολογισθέντες ρυθμοί δόσεων για το κοινό στον αέρα των εσωτερικών χώρων ευρίσκονται εντός των ορίων, που έχουν θεσπισθεί για το την έκθεση του κοινού και των εργαζομένων στους χώρους επίσκεψης και εργασίας με βάση τους Ελληνικούς κανονισμούς Ακτινοπροστασίας (ΦΕΚ 216B, 5/3/2001), που είναι πλήρως εναρμονισμένοι με την Οδηγία 96/29/EURATOM 31/5/1996 [10, 11]. Ωστόσο, με βάση τους παραπάνω κανονισμούς, για την περίπτωση αυξημένων συγκεντρώσεων ^{222}Ra (όπως κυρίως σε «Απόλλωνα» και «Σπήλαιο») συστήνεται να ληφθούν μέτρα για την περαιτέρω μείωση των συγκεντρώσεων του ραδιονουκλιδίου στον αέρα των εσωτερικών χώρων των λουτροκαταστημάτων.

Συνεπώς συστήνεται:

α) Μελέτη υποδομής εξαερισμού για την απομάκρυνση του Rn-222 από την πηγή σε υψηλότερα ποσοστά (δεν απαιτούνται ειδικές προδιαγραφές).

β) Πρόγραμμα Ραδιολογικής Παρακολούθησης των συγκεντρώσεων του ^{222}Rn αποτελεσματικό και στη βάση κόστους και χρόνου.

Σημειώσεις της συγγραφέως:

1. Στο εξωτερικό υπάρχουν πηγές με συγκεντρώσεις Rn-222 έως και 10 φορές υψηλότερες των αντίστοιχων Ικαρίας, που λειτουργούν και αποδίδουν εμπορικά, έχοντας εντάξει στο πρόγραμμά τους την ραδιολογική επισκόπηση του Rn-222[8, 9].

2. Η Ικαρία ανήκει στις 5 περιοχές του κόσμου, που χαρακτηρίζονται ως “Blue Zones”[12]. Ένα πρόγραμμα στοχευμένης έρευνας με βάση και άξονα τον θερμαλισμό βασισμένο σε πράσινες δράσεις σε διάφορους τομείς (π.χ. τουρισμό, βιοτεχνίες τροφίμων κ.α. αγαθών, φυσικά και παραδοσιακά πάρκα) θα μπορούσε να αποτελέσει τον μοχλό ολοκληρωμένης ανάπτυξης του Νησιού. Οι δράσεις αυτές θα πρέπει να είναι ήπιες και φιλικές προς το περιβάλλον για να μην αλλοιωθεί η μοναδική φυσιογνωμία του Νησιού, που έχει προσδώσει την αναγνωρισιμότητά του (Brand Name) [13, 14].

Αναφορές

[1] Florou H., Trabidou G., Nikolaou G., 2007. An assessment of the external radiological impact in areas of Greece with elevated natural radioactivity Journal of Environmental Radioactivity 93 (2007) pp: 74-83

[2] WHO handbook on indoor radon: a public health perspective / edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun, World Health Organization (2009), ISBN 978 92 4 154767 3

[3] P. Kritidis and P. Angelou, Concentrations of ^{222}Rn and its short-lived decay products at a number of Greek radon spas, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research **B17**, 537 (1986)

[4] Trabidou Georgia and Florou Heleny, 2010. Estimation of dose rates to humans exposed to elevated natural through different pathways in the island of Icaria, Greece. Radiation Protection Dosimetry (2010), pp: 1-7

- [5] H. Florou, K. Kehagia, A. Savidou, G. Trabidou, 2006. The radiological evaluation of uranium, radium and radon in metallic and thermos-metallic springs in Ikaria Island, the eastern Aegean Sea, Greece *Radioactivity in the Environment*, Vol. 8 (2206) pp: 235-242
- [6] Greek Official Gazette 2215/B/02-10-2009
- [7] Kuburas G., E. Tzempelikou, H. Florou, 2016. A survey on the radioactivity of mineral springs in Greece. Proc: HNPS2016 25nd Symposium of the Hellenic Nuclear Physics Society, 3-4 June 2016, NCSR“D”, Athens, Greece
- [8] H. Florou and P. Kritidis, 1992. Gamma radiation measurements and dose rates in the coastal areas of a volcanic island, Aegean sea, Greece. *Radiation Protection dosimetry* Vol. 45 No ¼ pp177-279
- [9] Γ. Τραμπίδου 2004. Ραδιολογική Έρευνα Περιοχών Ιαματικών Πηγών. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, σχολή Θετικών επιστημών, Φυσικό Τμ. 337 σελίδες.
- [10] Gini M., Tzempelikou E. & Eleftheriadis K., «In situ size distribution measurement of Radon decay products activity concentrations in "Apollon" thermal baths/SPA of Ikaria» HNPS2014, 23nd Symposium of the Hellenic Nuclear Physics Society, 20-21, June 2014, AUTH, Thessaloniki, Greece
- [11] Ε. Φλώρου, Γ. Κουμπούρας, Ε. Τζεμπελίκου, Σ. Αγγελίδης, 2014. Πρόγραμμα Ραδιολογικής επισκόπησης των ιαματικών πηγών της Ελλάδος. Διεθνές Συνέδριο: προοπτικές του Ιαματικού Τουρισμού – Θερμαλισμού ΑΙΔΗΨΟΣ 9-11 Οκτωβρίου 2014
- [12] Blue Zones, 2009. Longevity. Singularity Hub published by Singularity University, July 20, 2009
- [13] Dan Buettner, 2012. The Island where People Forget to Die. *The New York Times Magazine*, October 24, 2012.
- [14] H. Florou and Z. Aggelidis, 2014. The functions for the green development based on the hydrothermal ecosite of Ikaria thermos-mineral springs. Int. Congress: Perspectives of spa Tourism – Thermalism. EDIPSOS Greece, 10-12 October, 2014