ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Open Schools Journal for Open Science

Τόμ. 2, Αρ. 1 (2019)

Special Issue Articles from the 1st Greek Student Conference on Research and Science

Ραδιενέργεια σε μεγάλο αστικό κέντρο... μύθος ή πραγματικότητα;

Δήμητρα-Ελένη Παυλίδου, Χρήστος-Ευάγγελος Τσαπκίνης, Αναστάσιος Πάλλας

doi: 10.12681/osj.19370

Βιβλιογραφική αναφορά:

Παυλίδου Δ.-Ε., Τσαπκίνης Χ.-Ε., & Πάλλας Α. (2019). Ραδιενέργεια σε μεγάλο αστικό κέντρο... μύθος ή πραγματικότητα;. *Open Schools Journal for Open Science*, *2*(1), 199–208. https://doi.org/10.12681/osj.19370

Open Schools Journal for Open Science

Volume 1

Ραδιενέργεια σε μεγάλο αστικό κέντρο… μύθος ή πραγματικότητα;

Παυλίδου Δήμητρα-Ελένη[1], Τσαπκίνης Χρήστος-Ευάγγελος[1], Φαϊτατζής Πρόδρομος-Παναγιώτης[1], Πάλλας Αναστάσιος[1]

[1]Πειραματικό Σχολείο Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης – Γυμνάσιο, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

Περίληψη

Η ειδησεογραφία κάνει λόγο συχνά, αν και τις περισσότερες φορές υπονοεί, για διάφορες πηγές ραδιενέργειας που βρίσκονται στον αστικό ιστό των πόλεων και πιθανόν να δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα υπερβαίνοντας τα επιτρεπτά όρια. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των πιθανών πηγών ραδιενέργειας και πιο συγκεκριμένα η εύρεση απαντήσεων στα ερευνητικά ερωτήματα, πού, και πόση ραδιενέργεια υπάρχει σε μια μεγάλη αστική πόλη, όπως η Θεσσαλονίκη με σκοπό την ενημέρωση του κοινού και των δημόσιων υπηρεσιών για τη λήψη πιθανών μέτρων προστασίας. Για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων σχεδιάστηκε ένα ερευνητικό πλάνο, με βάση ένα οικονομικό, τεχνολογικά ανεπτυγμένο αλλά και αξιόπιστο εργαλείο συλλογής δεδομένων όπως είναι ο μικροελεγκτής Arduino, με τη βοήθεια του αισθητήρα Geiger. Για μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία των μετρήσεων ο παραπάνω αισθητήρας βαθμονομήθηκε με βάση τα επαγγελματικά όργανα που διαθέτει ιδιωτικό αντικαρκινικό κέντρο. Οι μετρήσεις ήταν συστηματικές και διήρκεσαν δεκαπέντε μέρες με τα αποτελέσματα να επιβεβαιώνουν εν μέρει τη σχετική ειδησεογραφία, αλλά και να αναδεικνύουν ταυτόχρονα τον αισθητήρα Geiger για Arduino ως ένα οικονομικά προσιτό και αξιόπιστο όργανο μέτρησης της ραδιενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: Ραδιενέργεια; Arduino; Geiger

Εισαγωγή

Ραδιενέργεια ονομάζεται η ιδιότητα της αυθόρμητης διάσπασης, δηλαδή της διάσπασης χωρίς εξωτερική διέγερση, των ραδιενεργών πυρήνων με ταυτόχρονη

εκπομπή ραδιενεργών ακτινοβολιών. Ο όρος *ραδιενέργεια* εισήχθη το 1898 από την Μαρία Κιουρί για να περιγράψει τη ραδιενεργό συμπεριφορά του ουρανίου και του

θορίου που η Κιουρί είχε παρατηρήσει. Εμπνεύστηκε το πρώτο συνθετικό της λέξης (radio-) από το λατινικό radium, που σημαίνει ακτίνα και το δεύτερο από το activité που στα γαλλικά σημαίνει δραστηριότητα και στα ελληνικά αποδόθηκε ως –ενέργεια.

Το φαινόμενο της ραδιενεργού διάσπασης χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα, όπως εξάλλου όλα τα ατομικά και πυρηνικά φαινόμενα. Ονομάζουμε ραδιοενεργότητα ή απλώς ενεργότητα μιας ποσότητας ύλης τον αριθμό ραδιενεργών διασπάσεων πυρήνων που συμβαίνουν σε αυτήν την ποσότητα ύλης ανά μονάδα χρόνου. Η σύγχρονη μονάδα μέτρησης της ενεργότητας είναι το μπεκερέλ (Bequerel), με σύμβολο Bq, και αυτό είναι η ενεργότητα που αντιστοιχεί σε μία διάσπαση ανά δευτερόλεπτο (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2004).

Επίσης, υπάρχει η μονάδα μέτρησης Sievert, με σύμβολο Sv, που είναι μονάδα μέτρησης απορρόφησης της ενέργειας που προέρχεται από ιονίζουσα ακτινοβολία από την ύλη. Στις μετρήσεις μας χρησιμοποιείται η υποδιαίρεση της μονάδας Sv, το μSv, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (h) (https://en.wikipedia.org/wiki/Sievert)

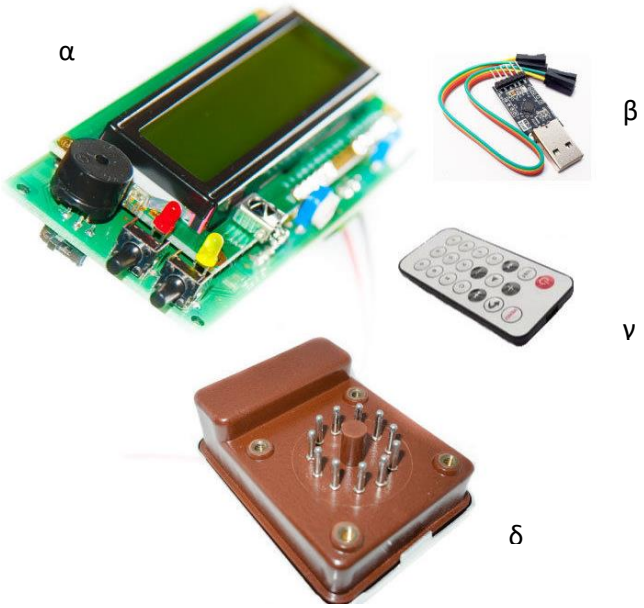
Συνήθως υψηλές τιμές ραδιενέργειας καταγράφονται :

- Σε δομικά υλικά με υψηλό ποσοστό ραδιενεργών υλικών (π.χ. διάφορα κεραμικά πλακάκια, πάγκοι γρανίτη, τούβλα, τσιμέντο, ελαφρόπετρα, πέτρες από ηφαιστειακή τέφρα, φωσφογύψος κ.α.)
- Σε φαγητό με ραδιενεργά κατάλοιπα (π.χ. λαχανικά, γάλα, κρέας και ψάρια που προέρχονται από τις πληγείσες από τη ραδιενέργεια περιοχές στην Ιαπωνία και τις γειτονικές περιοχές - οτιδήποτε έχει παραχθεί μετά τις 12 Μαρτίου 2011).
- Σε ρολόγια που φωσφορίζουν, κεραμικά σκεύη, πυρανιχνευτές ιονισμού κ.α.
- Στις κουζίνες που λειτουργούν με φυσικό αέριο
- Σε νερό από πηγάδια
- Σε απόβλητα βιομηχανιών, νοσοκομείων (εφαρμογές πυρηνικής ιατρικής) κ.α.
- Σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο
- Σε περιοχές με υψηλότερα ποσοστά ραδονίου, θορίου, ουρανίου κ.α. στο υπέδαφος
- Σε σπήλαια, ιαματικές πηγές και ορυχεία
- Σε ακτινοδιαγνωστικά εργαστήρια
- Σε εργοστάσια τσιμέντου, αλουμίνας και φωσφορικών λιπασμάτων, σε γεωτρήσεις πετρελαίου και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση λιγνίτη κ.α.
- Στα αεροπλάνα κατά τη διάρκεια των πτήσεων (http://www.home-biology.gr/ilektromagnitikes-aktinovolies/ionizouses-aktinovolies)

Για τις μετρήσεις ραδιενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως όργανα Geiger – Muller, τα οποία είτε βρίσκονται μόνο σε εγκεκριμένα εργαστήρια (πολύ εξελιγμένα όργανα – Εικόνα 2) είτε κυκλοφορούν στο εμπόριο, αλλά είναι πολύ ακριβά (http://www.home-biology.gr/metrisis-aktinovolias/metrites-aktinovolias/metrites-radienergeias-ionizousas-aktinovolias). Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα πρωτότυπο, σχετικά φτηνό, αλλά αξιόπιστο εργαλείο, όπως είναι ο αισθητήρας

Geiger SBT-10A για τον μικροελεγκτή Arduino (Εικόνα 1), ένας αισθητήρας που είναι ευαίσθητος σε ακτινοβολία β, αλλά κυρίως σε ακτινοβολία γ και είναι μεν διαθέσιμος στο διαδίκτυο αλλά παραμένουν ακόμη άγνωστες οι δυνατότητες χρήσης του. Ο

μικροελεγκτής Arduino είναι μια ευέλικτη πλατφόρμα hardware ανοιχτού κώδικα, που σημαίνει ότι ο κατασκευαστής έχει δώσει τη δυνατότητα οποιοσδήποτε χρήστης να έχει πρόσβαση στο σχέδιο του βασικού κυκλώματος, ώστε να μπορεί να κάνει βελτιώσεις και να τις γνωστοποιεί στους ενδιαφερόμενους. Το Arduino μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του κατάλληλου δωρεάν λογισμικού, το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί στους περισσότερους Η/Υ. Εκεί γράφεται ο κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Wiring (C++ με μικρές παραλλαγές), ο οποίος μεταφέρεται στο Arduino μέσω ενσύρματης ή ασύρματης σύνδεσης (Σεβδυνίδης 2015, Πάλλας & Ορφανάκης 2015,2016). Επίσης, το Arduino τα τελευταία χρόνια αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται αρκετά και στις φυσικές επιστήμες, μέσω των αισθητήρων του (Νούσης & Νούση 2013, Zieris, Gerstberger, Müller 2014).
Για τον λόγο αυτό επιλέχτηκε σαν θεματική ενότητα της εργασίας η διαθεματική προσέγγιση των ενοτήτων: Φυσικές Επιστήμες και Τεχνολογία – Ρομποτική. Η επιλογή της ενότητας «Φυσικές Επιστήμες», αφορά την έννοια της ραδιενέργειας που είναι φυσικό φαινόμενο. Η επιλογή της ενότητας «Τεχνολογία – Ρομποτική» οφείλεται κυρίως στη χρήση του μικροελεγκτή Arduino και του αισθητήρα Geiger, για τον οποίο δημιουργήθηκε ένα εργονομικό κουτί, ώστε να διευκολυνθεί η μεταφορά του σε διάφορα σημεία, ενώ τροποποιήθηκε ο αρχικός κώδικας με σκοπό την αύξηση του ελάχιστου αριθμού μετρήσεων ανά λεπτό, από 120 σε 600.



Εικόνα 1: Σετ αισθητήρα Geiger για Arduino (α. οθόνη ενδείξεων των μετρήσεων, β. καλώδια σύνδεσης και USB για τη σύνδεση του αισθητήρα με τον υπολογιστή, γ. τηλεχειριστήριο ελέγχου του Arduino, δ. Αισθητήρας Geiger)

Εικόνα 2: Επαγγελματικό όργανο μέτρησης ραδιενέργειας που υπάρχει σε αντικαρκινικό εργαστήριο

Ερευνητικό πρόβλημα

Αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς πολλές φορές συναντώνται δημοσιογραφικές αναφορές για ραδιενεργά υλικά που κυκλοφορούν ανάμεσά μας, και ιδίως σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως είναι η Θεσσαλονίκη.

Το ελληνικό κράτος και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν ορίσει ασφαλή όρια έκθεσης σε ραδιενέργεια στη νομοθεσία τους ως εξής (ΦΕΚ/β/216/6.3.2001):

- Ελληνικό και ευρωπαϊκό όριο επαγγελματικά εκτιθέμενων: 10 μSv/h
- Ελληνικό όριο επαγγελματικά εκτιθέμενων κατά τη διάρκεια εγκυμοσύνης: 0,70 μSv/h
- Ελληνικό όριο κοινού πληθυσμού: 0,11 μSv/h (1 mSv/έτος) [δεν περιλαμβάνονται δόσεις που οφείλονται σε ιατρικές εφαρμογές, σε ραδιονουκλίδια στο υπέδαφος, στο ανθρώπινο σώμα, στην κοσμική ακτινοβολία στο επίπεδο της θαλάσσης ή στο ραδόνιο].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία για διάφορες τιμές του ρυθμού απορρόφησης της ραδιενέργειας (Πίνακας 1, http://www.gavinshoebridge.com/news/basic-guide-to-radiation-levels-in-%C2%B5svh-and-msvh/).

Ρυθμός δόσης ραδιενέργειας	*Επιπτώσεις υγείας*
100 μSv/h	Αυξημένη πιθανότητα αρρώστιας
100.000 μSv/h	Ναυτία, εμετός
1.000.000 μSv/h	Αυξημένη πιθανότητα καρκίνου

10.000.000 μSv/h	Βλάβες σε όργανα του σώματος και θάνατος μέσα σε λίγες ώρες

Πίνακας 1: Πιθανές επιπτώσεις υγείας ανάλογα με τον ρυθμό δόσης ραδιενέργειας

Η βιβλιογραφική αναζήτηση ανέδειξε το κενό που υπάρχει σε τέτοιου είδους έρευνες και ειδικότερα για την πόλη της Θεσσαλονίκης. Γι' αυτό θεωρήσαμε ότι είναι αναγκαία μια τέτοια έρευνα, τα αποτελέσματα της οποίας θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για το κοινό και τους δημόσιους φορείς που ασχολούνται με θέματα υγείας και περιβάλλοντος.

Υποθέσαμε ότι στους δημόσιους χώρους όπως χώροι εστίασης (με καπνίζοντες κυρίως), λεωφορεία, αεροδρόμια, διαγνωστικά κέντρα κ.λπ., το επίπεδο της ιονίζουσας ακτινοβολίας, όπως είναι η ραδιενέργεια, θα είναι υψηλότερη από το επιτρεπτό.

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν ήταν κυρίως δύο.

α) Πόσο υψηλό είναι το επίπεδο της ραδιενέργειας σε διάφορα μέρη και υλικά ;

β) Μπορεί ο αισθητήρας Geiger του Arduino να θεωρηθεί ένα αξιόπιστο όργανο μέτρησης της ραδιενέργειας ;

Μεθοδολογία έρευνας

Για την μέτρηση της ραδιενέργειας χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Geiger για τον μικροελεκτή Arduino (Εικόνες 1,3).

Αρχικά, προγραμματίσαμε τον μικροελεγκτή Arduino κατάλληλα, ώστε να αυξήσουμε τον αριθμό μετρήσεων ανά λεπτό.

Στη συνέχεια, είχαμε ως στόχο να βαθμονομήσουμε τον αισθητήρα με βάση επαγγελματικά όργανα αντικαρκινικών κέντρων (Εικόνα 4), βαθμονομημένα από την ΕΕΑΕ (Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας) , αλλά απεδείχθη πως ο μετρητής μας είχε ακρίβεια και απόλυτη ταύτιση με τα συγκεκριμένα όργανα, ακόμα και όταν οι τιμές CPM (counts per minute) άγγιζαν τις 60.000 (Εικόνα 5). Να σημειωθεί πως το CPM με τη μονάδα μέτρησης μSv/h είναι διαφορετικά μεγέθη, με το πρώτο να αφορά μόνο τον αριθμό των μετρήσεων και όχι τιμές ενέργειας, όπως το μSv/h. Η διαδικασία μετατροπής (με τους αντίστοιχους συντελεστές κλπ.) δημιουργείται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα, κατά την βαθμονόμησή του. Δυστυχώς, ο κατασκευαστής του δικού μας αισθητήρα δεν μας έδωσε αρκετές πληροφορίες για την διαδικασία μετατροπής. Έπειτα, ξεκινήσαμε τις μετρήσεις σε διάφορα σημεία που θεωρούσαμε «ύποπτα».

Εικόνα 3: Το Arduino σε δράση μέσα στο κουτί που διαμορφώσαμε κατάλληλα

Εικόνα 4: Η ένδειξη του Arduino σε απόλυτη ταύτιση με την ένδειξη επαγγελματικού αισθητήρα

Εικόνα 5: Ένδειξη του αισθητήρα Geiger με το CPM να ξεπερνά τον αριθμό των 60000

Οι μετρήσεις διήρκεσαν δεκαπέντε ημέρες, από τα μέσα Ιανουαρίου μέχρι τις αρχές Φεβρουαρίου. Έγινε προσπάθεια να ληφθούν αρκετές μετρήσεις, μεταβάλλοντας τις ανεξάρτητες μεταβλητές της έρευνάς που ήταν:
Η απόσταση από την πιθανή πηγή ραδιενέργειας
Το είδος του υλικού
Οι συγκεκριμένες μεταβλητές επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή που είναι οι τιμές της ραδιενέργειας, που ποικίλουν ανάλογα με την απόσταση και το είδος του υλικού. Η έρευνα δεν επηρεάζεται από άλλους παράγοντες όπως π.χ. το υψόμετρο, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κ.α.
Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν σε πίνακες και στη συνέχεια σχεδιάστηκε το αντίστοιχο γράφημα με τη βοήθεια του λογισμικού Microsoft Excel (Πίνακας 2, Γράφημα 1).

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι :

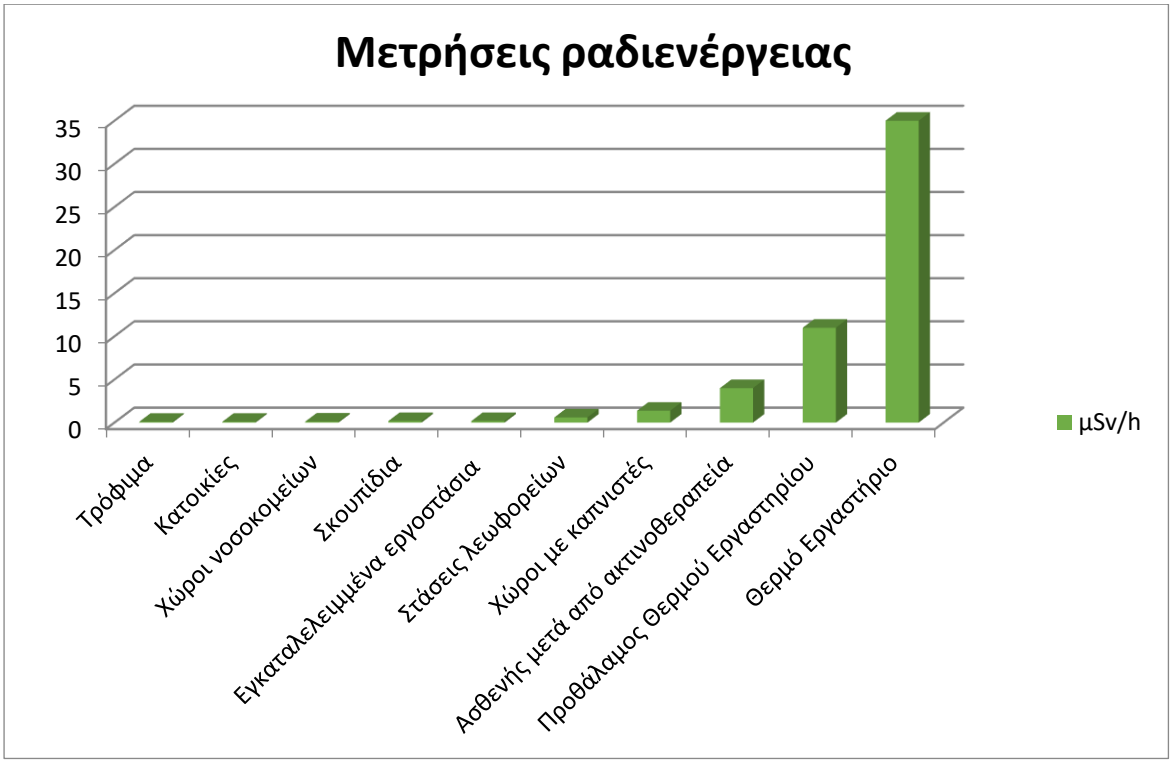
- Στα διάφορα τρόφιμα τα επίπεδα ραδιενέργειας είναι φυσιολογικά
- Σε χώρους με καπνιστές, τα επίπεδα ραδιενέργειας αυξάνονται σημαντικά.
- Σε χώρους συγκέντρωσης σκουπιδιών, τα επίπεδα ραδιενέργειας αυξάνονται ελάχιστα.
- Σε εργοστασιακές εγκαταστάσεις, τα επίπεδο της ραδιενέργειας ήταν φυσιολογικό.
- Οι ασθενείς μετά από ακτινοθεραπεία εξέπεμπαν αυξημένα ποσά ραδιενέργειας λόγω των ραδιενεργών ισότοπων που περιέχει η φαρμακευτική αγωγή τους. (Όταν μετά από μερικά 24ωρα τα φάρμακα αποβληθούν φυσικά από τον οργανισμό, τα ποσοστά ραδιενέργειας επανέρχονται σε φυσιολογικά επίπεδα).
- Στις στάσεις λεωφορείων τα επίπεδα ραδιενέργειας ήταν φυσιολογικά, με τις ενδείξεις να αυξάνονται όταν η στάση βρισκόταν έξω από ακτινοθεραπευτικό κέντρο και συνεπώς παρευρίσκονταν ασθενείς μετά από θεραπεία.
- Στους κεντρικούς χώρους και διαδρόμους, στις αίθουσες της εντατικής νοσηλείας, των χειρουργείων και ακτινοθεραπείας ενός ιδιωτικού ιατρικού κέντρου τα ποσοστά ραδιενέργειας ήταν σε φυσιολογικά επίπεδα (0,05μSv/h-0,15μSv/h).

α/α	Αντικείμενο – Τόπος	Επίπεδο Ραδιενέργειας	μSv/h
1	Τρόφιμα	Φυσιολογικό	0,05-0,15
2	Κατοικίες	Φυσιολογικό	0,05-0,15
3	Χώροι νοσοκομείων	Φυσιολογικό – Ελαφρώς αυξημένο	0,05-0,18
4	Σκουπίδια	Φυσιολογικό – Ελαφρώς αυξημένο	0,15-0,20
5	Εγκαταλελειμμένα εργοστάσια	Φυσιολογικό – Ελαφρώς αυξημένο	0,15-0,20
6	Στάσεις λεωφορείων	Ελαφρώς αυξημένο	0,20-1,00
7	Χώροι με καπνιστές	Αυξημένο	1,00-1,75
8	Ασθενής μετά από ακτινοθεραπεία	Αυξημένο	3,00-5,00

9	Προθάλαμος Θερμού Εργαστηρίου	Αυξημένο	1,00-20,00
10	Θερμό Εργαστήριο	Εξαιρετικά υψηλό	20,00-50,00

Πίνακας 2: Αποτελέσματα μετρήσεων

- Οι ενδείξεις που πάρθηκαν στο τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής ενός ιδιωτικού ιατρικού κέντρου ήταν φυσιολογικές στο χώρο αναμονής, ενώ στο Θερμό Εργαστήριο - μια ελεγχόμενη και μη προσβάσιμη στο κοινό περιοχή, όπου παρασκευάζονται φάρμακα με ραδιοϊσότοπα - ήταν ελαφρώς αυξημένη στο προθάλαμο (10-20μSv/h) (Εικόνα 6) και αυξανόταν σταδιακά όσο πλησιάζαμε τον χώρο παρασκευής και φύλαξης των ραδιοφαρμάκων αγγίζοντας μέχρι και τα 50μSv/h, όταν άνοιγαν οι θυρίδες προστασίας.



Γράφημα 1: Γραφική αναπαράσταση των μέσων όρων του εύρους τιμών κάθε μέτρησης

Εικόνα 6: Μέτρηση στον προθάλαμο του Θερμού Εργαστηρίου

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι φόβοι για υψηλά ποσά ραδιενέργειας στα διάφορα μέρη και σε τρόφιμα που καταναλώνουμε, αποδείχθηκαν αβάσιμοι. Το αποτέλεσμα των μετρήσεων σε χώρους με καπνίζοντες δείχνει ότι η πολιτεία ίσως θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη της και να φροντίσει για την εφαρμογή του νόμου

που δεν επιτρέπει το κάπνισμα σε δημόσιους χώρους, γιατί εκτός των άλλων επιβαρυντικών παραγόντων που προκαλεί το κάπνισμα υπάχει και ο κίνδυνος βλάβης την υγείας από αυξημένα ποσά ραδιενέργειας. Αποδείχθηκε επίσης ότι ο αισθητήρας Geiger του Arduino είναι ένα αξιόπιστο, χαμηλού κόστους όργανο μέτρησης της ραδιενέργειας και μπορεί να αξιοποιηθεί από την πολιτεία και τους διάφορους φορείς της για την εξαγωγή χρησίμων συμπερασμάτων. Τέλος, μέσω της εργασίας αυτής, ενημερωθήκαμε και κατανοήσαμε καλύτερα την έννοια της ραδιενέργειας και τους κινδύνους που εγκυμονεί η υπέρβαση των επιτρεπτών τιμών της, αλλά και ταυτόχρονα μάθαμε καλύτερα πως να χειριζόμαστε δεδομένα και να διεξάγουμε μια έρευνα.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Αναστάσιο Πάλλα για τη σημαντική βοήθεια που μας προσέφερε, διότι χωρίς την δική του συμβολή η ολοκλήρωση της έρευνας θα ήταν αδύνατη, καθώς και τους ακτινοφυσικούς κ. Θεόδωρο Καλαθά και κ. Απόστολο Μπαλλά για την προθυμία τους να εκτεθούν οι ίδιοι σε υψηλές τιμές ραδιενέργειας προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα της συσκευής μας, να μην εκτεθούμε εμείς σε ποσότητες ραδιενέργειας, πιθανώς επιβλαβείς για την υγεία μας και να ολοκληρωθεί η έρευνα με επιτυχία και πληρότητα.

Βιβλιογραφία

[1] Αντωνόπουλος-Ντόμης, Μ. (2004). *Ραδιενέργεια σε απλά ελληνικά,* Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ε.ΚΕ.Φ.Ε. «Δημόκριτος»

[2] Σεβδυνίδης, Μ. (2015). *Εισαγωγή στον κόσμο των μικροελεγκτών (Arduino)*, Θεσσαλονίκη: Γερμανική Σχολή Θεσσαλονίκης [Αποτελεί εγχειρίδιο που δόθηκε σε συμμετέχοντες σεμιναρίου]

[3] Νούσης, Β. & Νούση, Β. (2013). *Ο Arduino στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών*, Αθήνα: 5th Conference on Informatics in Education

[4] Πάλλας, Α. & Ορφανάκης, Σ. (2015). *Μέτρηση των «θερμοκηπικών» αερίων με τη βοήθεια του Arduino*. Λάρισα: Πρακτικά 1ου Πανελλήνιου Συνεδρίου για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας, Τόμος ΙΙΙ, σσ 8-24

[5] Πάλλας, Α. & Ορφανάκης, Σ. (2016). *Η αξιοποίηση των αισθητήρων του Arduino στις εργαστηριακές και ερευνητικές δραστηριότητες.* Θεσσαλονίκη: 4ο Πανελλήνιο Εκπαιδευτικό Συνέδριο Κεντρικής Μακεδονίας, *Αξιοποίηση των Τ.Π.Ε. στη Διδακτική Πράξη*, σσ 212-223

[6] Zieris, H., Gerstberger, H., Müller, W. (2014). *Using Arduino-Based Experiments to Integrate Computer Science Education and Natural Science*. Potsdam: Conference: KEYCIT 2014 – Key Competencies in Informatics and ICT, 2014, pp. 238-243

[7]http://www.home-biology.gr/ilektromagnitikes-aktinovolies/ionizouses-aktinovolies, Ημ/νία τελευταίας ενημέρωσης: άγνωστη, Ημ/νία τελευταίας επίσκεψης: 24/2/2017

[8]http://www.home-biology.gr/metrisis-aktinovolias/metrites-aktinovolias/metrites-radienergeias-ionizousas-aktinovolias Ημ/νία τελευταίας ενημέρωσης: άγνωστη, Ημ/νία τελευταίας επίσκεψης: 24/2/2017

[9]http://www.gavinshoebridge.com/news/basic-guide-to-radiation-levels-in-%C2%B5svh-and-msvh/, Ημ/νία τελευταίας ενημέρωσης: 6/1/2012, Ημ/νία τελευταίας επίσκεψης: 24/2/2017

[10]https://en.wikipedia.org/wiki/Sievert, Ημ/νία τελευταίας ενημέρωσης: άγνωστη, Ημ/νία τελευταίας επίσκεψης: 24/2/2017