

Γάμμα Ακτινοβολία Περιβάλλοντος: Φασματοσκοπικές Τεχνικές, Τεχνικές Ανίχνευσης και χαρτογράφησης - Εκτίμηση Δόσης και Ραδιολογικής Επιβάρυνσης του Ανθρώπου.

1.Περίγραμμα

Ο άνθρωπος εκτίθεται σε ποικιλία φυσικών πηγών και τεχνητών πηγών γάμμα ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Η έκθεση αυτή μπορεί να είναι εξωτερική και εσωτερική. Η εξωτερική έκθεση οφείλεται στις φυσικές πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Οι φυσικές πηγές διακρίνονται σε αυτές: α) που προέρχονται από το κοσμικό διάστημα και β) που συναντώνται στο γήινο περιβάλλον του ανθρώπου. Οι φυσικές πηγές αποτελούν την κύρια πηγή έκθεσης του ανθρώπου στη γάμμα ακτινοβολία. Σημαντικές φυσικές πηγές είναι τα ισότοπα των ραδιενεργών σειρών που υπάρχουν στο γήινο φλοιό - και κατ' επέκταση τα οικοδομικά υλικά – το ^{40}K και τα αιωρούμενα ισότοπα του ραδονίου και των θυγατρικών του. Στο παρόν εδάφιο αναλύονται τα σχετικά δεδομένα και αποτελέσματα.

Μέχρι σήμερα (2017) Έχουν εφαρμοσθεί μέθοδοι Εφαρμοσμένης Φυσικής Ακτινοβολιών για τη φασματοσκοπική ανάλυση γ-ακτινοβολίας Περιβάλλοντος στη νήσο Λέσβο. Έχει προταθεί εισαχθεί ειδική μέθοδος Εφαρμοσμένης Φυσικής Ακτινοβολιών για τον υπολογισμό ρυθμών δόσης απορρόφησης και ενεργού των Ελλήνων από μετρήσεις ολικής γ-ακτινοβολίας περιβάλλοντος.

Έχει υπολογισθεί ο ολικός ρυθμός ενεργού δόσης από την περιβαλλοντική γ-ακτινοβολία στη νήσου Λέσβου από 355 μετρήσεις γ-φασματοσκοπίας με φορητό ανιχνευτή NaJ 3x3 σε επαφή με το έδαφος οδηγούμενες από Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Έχουν εισαχθεί νέες τεχνολογίες και ειδικές μέθοδοι Εφαρμοσμένης Φυσικής Ακτινοβολιών στο Περιβάλλον για την εκτίμηση των ενεργών δόσεων στον Άνθρωπο λόγω ^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K . Επίσης έχουν εφαρμοσθεί οι καινοτόμες μέθοδοι Kriging για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε χάρτες.

Επίσης έχουν εφαρμοσθεί γ-φασματοσκοπικές μέθοδοι για την ανάλυση και μέτρηση των φυσικών ραδιενεργών στοιχείων 93 δειγμάτων χώματος της νήσου Κρήτης.

Επιπρόσθετα, έχουν εισαχθεί κατάλληλες μέθοδοι Εφαρμοσμένης Φυσικής Ακτινοβολιών για την ανίχνευση και μέτρηση ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών περιβάλλοντος εγγύς πυλώνων διανομής τάσης. Ταυτόχρονα εφαρμόστηκαν μέθοδοι

ήδη περιγραφείσες στο 1 για μετρήσεις ραδονίου και βραχυβίων θυγατρικών παραγώγων Περιβάλλοντος. Στόχος των παραπάνω ήταν η εύρεση ή η απόρριψη βιβλιογραφικώς υποστηριζόμενων σεναρίων συνεπιδράσεων της κατανομής των θυγατρικών του ραδονίου με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθώς και των υποδεικνυόμενων σχετικών επιδράσεων των Ακτινοβολιών του Περιβάλλοντος στον Άνθρωπο.

2.Εισαγωγή

Στους εσωτερικούς χώρους, η γάμμα Ακτινοβολία Περιβάλλοντος (γΑΠ) προέρχεται από (α) το φλοιό της γης, (β) τα οικοδομικά υλικά και (γ) τα βραχύβια παράγωγα του ραδονίου. Η γΑΠ από τα (α) και (β) οφείλεται σε ισότοπα που παράγονται από τις διασπάσεις των φυσικών ραδιενεργών σειρών (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th) και από το ^{40}K .

Στην ύπαιθρο, η παγκόσμια μέση τιμή του ρυθμού απορροφούμενης δόσης λόγω έκθεσης στη γΑΠ είναι $57 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ ενώ το εύρος $10\text{-}200 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ θεωρείται φυσιολογικό. Εμφανίζονται όμως και περιοχές με ιδιαίτερα υψηλά ποσά ρυθμού δόσης, λόγω της ύπαρξης πετρωμάτων πλούσιων σε ουράνιο ή ράδιο. Στους ΕΧ, η αντίστοιχη μέση τιμή είναι $84 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ και το αντίστοιχο εύρος επίσης ίσο με $10\text{-}200 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. Εξειδικευμένες μελέτες με τεχνικές προσομοίωσης Μόντε-Κάρλο έχουν επίσης αναφερθεί. Οι σημειούμενες διαφορές οφείλονται κύρια στη συνεισφορά των οικοδομικών υλικών. Αναφέρεται ενδεικτικά, ότι στη Σουηδία η χρήση συγκεκριμένης ποιότητας σκυροδέματος πλούσιου σε ^{226}Ra (Alum shale) οδήγησε στο παρελθόν σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις Ρ και ΒΠ καθώς και γΑΠ εσωτερικών χώρων.

Λόγω της καρκινογόνου επίδρασης της γΑΠ και σε συνδυασμό με τους διαφορετικούς τύπους εδαφών έδρασης των οικοδομών, τις διαφορετικές τεχνικές οικοδόμησης και τη χρήση ποικιλίας τύπων οικοδομικών υλικών, είναι απαραίτητη η μελέτη των μεταβολών συγκεντρώσεων γΑΠ, τόσο μέσω μετρήσεων, όσο και μέσω προσομοιώσεων. Η μέτρηση των συγκεντρώσεων γΑΠ πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση φορητών ανιχνευτών. Προαπαιτείται κατάλληλη βαθμονόμηση, η οποία πραγματοποιείται είτε μετρητικά, είτε με τεχνικές Μόντε-Κάρλο. Οι ίδιες διατάξεις χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση της γΑΠ από τα οικοδομικά υλικά.

2.Οργανολογία

Οι εξωτερικές μετρήσεις ρυθμού δόσης γΑΠ διεξήχθησαν με τη χρήση δύο φορητών μετρητών: (i) ενός βαθμολογημένου ανιχνευτή Geiger-Müller, (ii) ενός φορητού ανιχνευτή σπινθηρισμού NaI 76,2 mm x 76,2 mm με ενεργοποιητή Θαλλίου (Μοντέλο 802, Canberra Industries) εξοπλισμένου με ένα πολυκαναλικό αναλυτή, φασματόμετρο (NaI Inspector, Canberra Industries) και κατάλληλο λογισμικό (Genie PC, Canberra Industries)

Ο ανιχνευτής Geiger-Müller έχει βαθμονομηθεί κατά την αγορά, για τη μέτρηση του ρυθμού δόσης γΑΠ. Ο ανιχνευτής σπινθηρισμού NaI είναι ερμητικά κλεισμένος σε μία ενιαία μονάδα με έναν φωτοπολλαπλασιαστή, ένα τροφοδοτικό υψηλής τάσης και προενισχυτή σήματος. Το περίβλημα του ανιχνευτή είναι θερμομονωμένο και στεγάζεται σε ένα κύλινδρο από αλουμίνιο με κατάλληλους απορροφητές βήτα για την πλήρη απορρόφηση όλων των σωματιδίων βήτα που μπορεί να εισέλθουν δια μέσω του περιβλήματος του ανιχνευτή. Για τον αυτόματο έλεγχο από το κέρδος μεταθέσεως που προκαλείται από τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και της γήρανσης του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε μία ισοτοπική πηγή αναφοράς ^{137}Cs με μία αρχική δραστηριότητα ίση με 37 kBq . Μετά την έκθεση, το φάσμα των ακτίνων γάμμα υποβλήθηκε σε επεξεργασία με το λογισμικό Genie PC2000. Το κέρδος του συστήματος μετέπειτα ρυθμίστηκε αναλόγως. Η βαθμονόμηση της ενέργειας έγινε σε εξειδικευμένο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας τυπικές πηγές ^{22}Na , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{109}Cd , και ^{137}Cs .

3.Υλικά και μέθοδος

3.1.Οργανολογία και μεθοδολογία μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη Λέσβο και στη Ζάκυνθο. Επισημαίνεται ότι σήμερα (2017) πραγματοποιούνται διάσπαρτες μετρήσεις που ξεκίνησαν ήδη από την ημέρα προμήθειας του μετρητή Geiger-Müller. Οι εν λόγω μετρήσεις τελούν υπό εξέλιξη και δεν περιλαμβάνονται στο παρόν εδάφιο.

Στη Λέσβο οι μετρήσεις γΑΠ πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό πεδίο. Για το σκοπό αυτό, το νησί χωρίστηκε σε κάναβο $4 \text{ km}^2 \times 4 \text{ km}^2$ με χρήση του κατάλληλου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και το λογισμικό χαρτογράφησης

ArcView. Μέσα σε κάθε κάναβο επιλέχθηκαν αυθαίρετα τρεις θέσεις μέτρησης. Κάθε μία από αυτές τις θέσεις θεωρήθηκε ότι είναι το κέντρο ενός τριγώνου 10 m. Σε καθεμία από τις τρεις κορυφές αυτού του τριγώνου, διεξήχθη μία μέτρηση της συνολικής γΑΠ με τον ανιχνευτή Geiger-Müller τοποθετημένο σε ύψος 70 cm και με το παράθυρο προς το έδαφος. Η μέτρηση αυτή θεωρήθηκε ότι είναι η μέση τιμή που έχει καταγραφεί από τον ανιχνευτή μέσα σε 5 λεπτά. Αυτός ο τρόπος επιλέχθηκε αντισταθμίζοντας την ευκολία στη μέτρηση και την ακρίβεια. Θεωρείται ότι παρέχονται έτσι τιμές ρυθμού δόσης εντός $\pm 15\%$. Οι κορυφές τριγώνου ευρισκόταν επί τόπου μέσω πλοήγησης GIS (GPS MAGELLAN 320tm). Ο μέσος όρος των μετρήσεων που διεξάγονται σε κάθε τρίγωνο θεωρήθηκε ότι αντιστοιχεί στο ρυθμό δόσης γΑΠ σε κάθε θέση μέτρησης. Τα δεδομένα του συνόλου των θέσεων μέτρησης υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με άλλο λογισμικό GIS (ArcMap, MAGELLAN) και το πρόγραμμα χαρτογράφησης OziExplorer (MAGELLAN), έτσι ώστε να παραχθεί χάρτης γΑΠ στη Λέσβο.

Οι μετρήσεις στη Ζάκυνθο πραγματοποιήθηκαν σε εσωτερικούς χώρους με φορητό ανιχνευτή Geiger-Mueller (GM) και ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο που φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν έξι μετρήσεις σε διάφορες θέσεις εντός του επιλεγμένου εσωτερικού χώρου και δύο μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο σύμφωνα με την ακόλουθη ορολογία:

Θέση 1: 1m από το έδαφος με τον ανιχνευτή να ακουμπά τον τοίχο

Θέση 2: 1m από το έδαφος και 1m από τον τοίχο με τον ανιχνευτή προς τον
τοίχο

Θέση 3: 1m από το έδαφος και 1m από τον τοίχο με τον ανιχνευτή προς το
ταβάνι

Θέση 4: 1m από το έδαφος και 1m από τον τοίχο με τον ανιχνευτή προς το
δάπεδο

Θέση 5: 2m από το έδαφος και 1m από τον τοίχο με τον ανιχνευτή προς το
ταβάνι

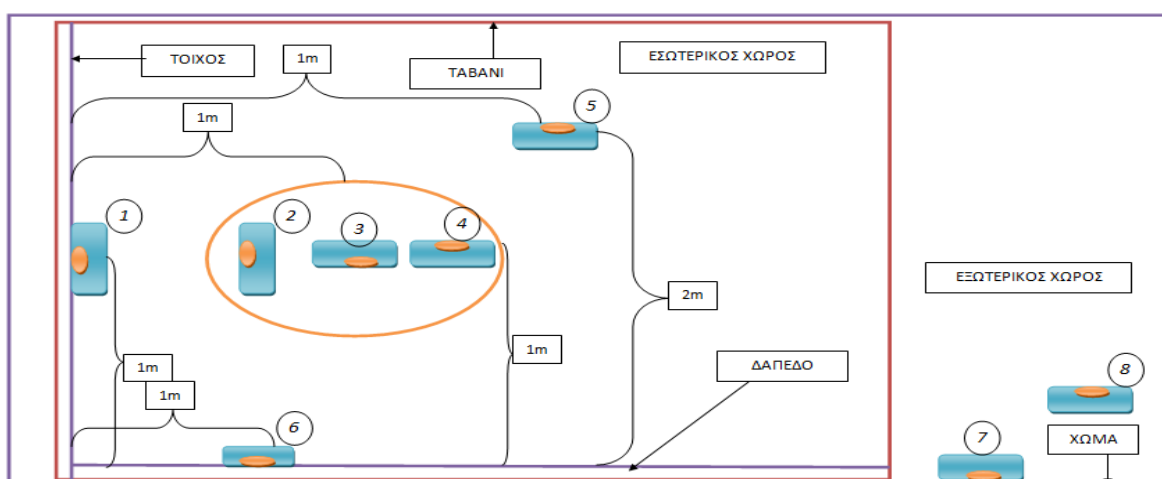
Θέση 6: 1m από τον τοίχο με τον ανιχνευτή να ακουμπά το δάπεδο

Θέση 7: Χώμα εξωτερικού χώρου

Θέση 8: Εξωτερικός αέρας.

Η διάρκεια μίας μέτρησης ήταν 10 min . Σε κάθε θέση, η μέτρηση επαναλήφθηκε εις τριπλούν και η τελική καταγραφείσα μέτρηση για τη συγκεκριμένη θέση ήταν ο μέσος όρος αυτών των τριών τιμών.

Στην Αττική και τη Λέσβο πραγματοποιήθηκαν επίσης μετρήσεις γΑΠ χωμάτων με την τεχνική της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσεως με μετρητή NaI. Ο μετρητής NaI που χρησιμοποιήθηκε έφερε κυλινδρικό δοχείο με θωράκιση μολύβδου μερικών εκατοστών πάχους. Η θωράκιση χρησίμευσε για τη μείωση της συνεισφοράς ακτίνων γάμμα από τις κοσμικές ακτίνες και τον περιβάλλοντα χώρο. Λειτουργήσε επίσης, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η απόδοση ανίχνευσης κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Με βάση τις ιδιότητες της γάμμα εξασθένησης του μολύβδου, η θωράκιση εξαλείφει περίπου 70% της συνολικής περιβαλλοντικής συνεισφοράς. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν τα επιλεγόμενα Marinelli Beakers (MB) διαστάσεων επιφανείας 20 cm x20 cm. Γενικά τα MB χρησιμοποιούνται για τον αεροστεγή εγκλεισμό χώματος προς μέτρηση. Τα δοχεία MB ετίθεντο σε άμεση επαφή με την κεφαλή του ανιχνευτή NaI. Πριν, χώμα ληφθέν από διάφορες τοποθεσίες, λειοτριβήθηκε, ομογενοποιήθηκε και τοποθετήθηκε μέσα σε κάθε MB.



Σχήμα 1: Σημεία μέτρησης γΑΠ σε εσωτερικούς χώρους της Ζακύνθου.

3.2. Μεθοδολογία υπολογισμών

Οι μετρήσεις γΑΠ με τον ανιχνευτή Geiger-Müller χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες. Ειδικά

για τη νήσο Ζάκυνθο και προκειμένου για την εκτίμηση της συνεισφοράς των οικοδομικών υλικών, οι μετρήσεις του **Σχήματος 1** επαναοργανώθηκαν ως διαφορικές τιμές συγκριτικά με τη μέση τιμή του κέντρου του δωματίου (μ.ο μετρήσεων 3,4 και 5). Οι ευρεθείσες διαφορές οφείλονται στα οικοδομικά υλικά του τοίχου ή του δαπέδου. Για την εύρεση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των διαφόρων θέσεων του μετρητή GM καθώς και για τη μελέτη της εξάρτησης της γΑΠ από το υλικό (δαπέδου ή τοίχου) και τον όροφο του εσωτερικού χώρου πραγματοποιήθηκαν paired ή independent t-tests αλλά και τα αντίστοιχα μη παραμετρικά Wilcoxon και Mann-Whitney tests όπου ήταν αναγκαίο. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας τέθηκε ίσο με 95%.

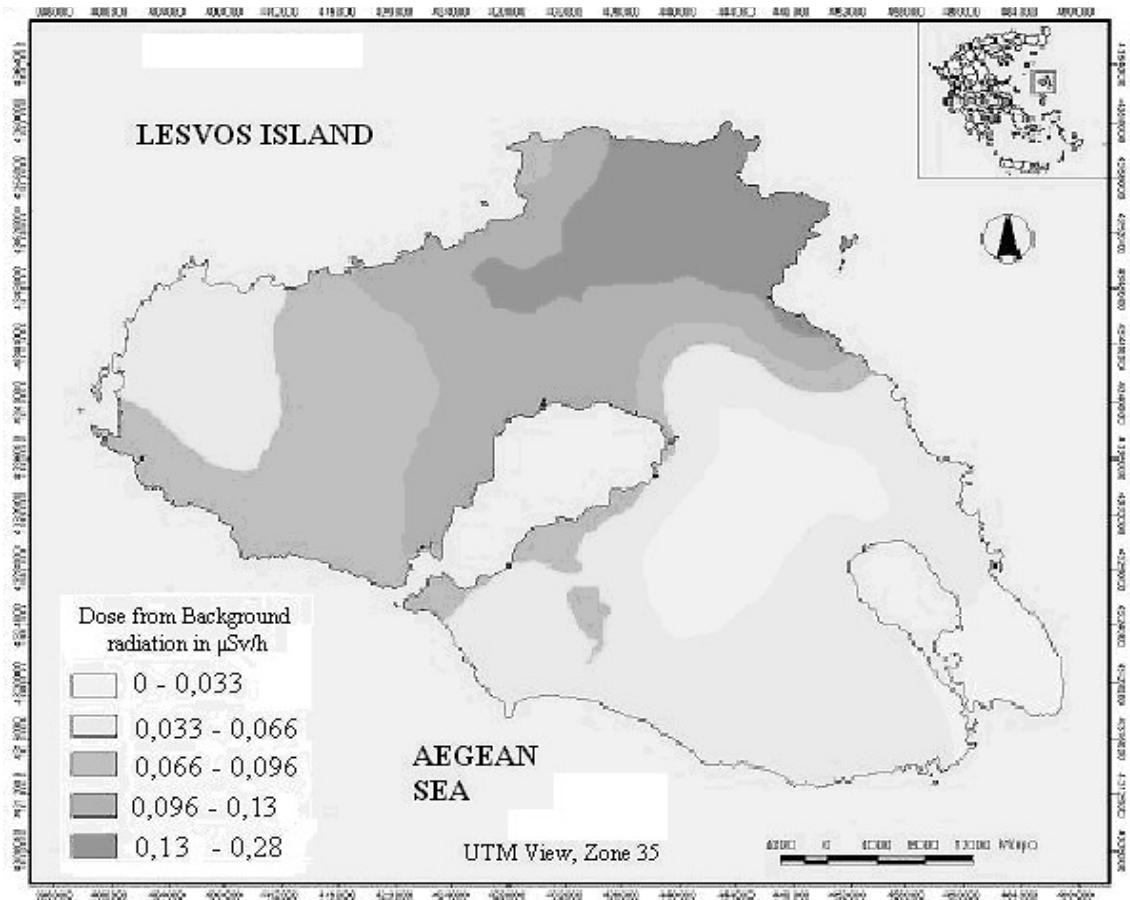
Οι μετρήσεις γΑΠ από τη χρήση του ανιχνευτή NaI χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εξωτερικής δόσης γΑΠ που οφείλεται στα φυσικά ραδιονουκλίδια ^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K . Για το σκοπό αυτό, ελήφθησαν τα φάσματα γάμμα που προήλθαν από τον ανιχνευτή NaI όταν κάθε δείγμα ήταν τοποθετημένο ακριβώς πάνω στην κορυφή της επιφάνειας αυτής. Για την αφαίρεση του υποστρώματος, ελήφθησαν μετρήσεις υποστρώματος. Οι μετρήσεις διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό Genie PC2000. Ένας χρόνος συλλογής των 15 λεπτών επιλέχθηκε για τις μετρήσεις σε αντιστάθμιση για την ακρίβεια και την ταχύτητα.

Οι εξωτερικοί ρυθμοί δόσης γάμμα από κάθε ραδιονουκλίδιο (^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K) προσδιορίστηκαν από τα φάσματα των ακτίνων γάμμα που συλλέχθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν τρία παράθυρα ενέργειας (photopeaks). Το ^{238}U προσδιορίστηκε από την φωτοκορυφή του ^{214}Bi (0,609 keV) και το ^{232}Th από την φωτοκορυφή του ^{208}Tl (583 keV). Η βασική φωτοκορυφή του ^{40}K (1.46 MeV) μετρήθηκε άμεσα. Το παράθυρο του φάσματος ακτίνων γάμμα ορίστηκε μεταξύ 0,12 και 3,00 MeV.

5.Αποτελέσματα

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα γΑΠ για τη Ζάκυνθο όπου χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο των μετρήσεων του **Σχήματος 1**. Το **Σχήμα 2** παρουσιάζει τις μετρήσεις γΑΠ με τον ανιχνευτή Geiger- Müller στη Λέσβο.

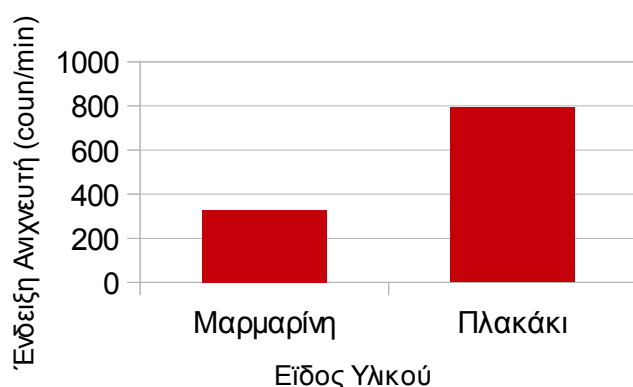
Σχήμα 2: Μετρήσεις γΑΠ στη Λέσβο με τον ανιχνευτή Geiger- Müller.



Πίνακας 1. Μετρήσεις γΑΠ στη Ζάκυνθο με βάση τα πρωτόκολλα του σχήματος 1.

Α/Α	Αριθμός Πρωτοκόλλου	Αριθμός Σ.Α.Κ.	1	2	3	4	5	6	7	8	Υλικό Οροφής	Υλικό Δαπέδου	Υλικό Ταχοποιίας	Οροφος
1	Z4KEF	4	342	376	425	386	394	767	517	356	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
2	Z5PET	5	1065	334	372	348	350	322	408	391	ΜΠΕΤΟΝ	ΜΑΡΜΑΡΙΝΗ	ΤΟΥΒΛΟ(ΕΞ.ΠΛΑΚΑΚΙ)	ΠΡΩΤΟΣ
3	Z6DAN	6	275	311	348	342	403	321	362	320	ΞΥΛΟ	ΞΥΛΟ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
4	Z7MPO	7	359	386	462	376	426	635	517	356	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
5	Z8MPO	8	356	401	452	365	433	658	517	356	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
6	Z9MIK	9	283	320	421	371	350	964	394	337	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
7	Z11ATH	11	282	277	295	311	313	287	351	351	ΜΠΕΤΟΝ	ΜΑΡΜΑΡΙΝΗ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
8	Z12TZO	12	368	355	488	383	443	1029	340	352	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΤΡΙΤΟΣ
9	Z13PAN	13	367	351	411	389	352	780	377	377	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΕΥΤΕΡΟΣ
10	Z14TZA	14	378	357	487	397	379	941	515	349	ΞΥΛΟ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΕΥΤΕΡΟΣ
11	Z15TSA	15	328	344	520	401	360	848	416	379	ΞΥΛΟ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΕΥΤΕΡΟΣ
12	Z16HAR	16	381	340	419	380	371	931	454	314	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
13	Z17STR	17	312	297	309	352	442	347	391	367	ΞΥΛΙΝΟ ΠΑΝΕΛ	ΜΩΣΑΪΚΟ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
14	Z18STR	18	353	291	347	368	425	365	546	317	ΜΠΕΤΟΝ	ΜΑΡΜΑΡΟ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
15	Z19KOY	19	363	359	451	415	450	705	490	349	ΨΕΥΔΟΡΟΦΗ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
16	Z21PROK	21	248	266	304	343	308	344	529	282	ΜΕΤΑΛΛΟ	ΠΛΑΣΤΙΚΟ	ΜΕΤΑΛΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
17	ZXΣ16	ΧΣ	298	291	323	384	364	327	412	365	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
18	ZXΣΦΥΛ	ΧΣ	371	348	343	338	338	718	490	349	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
19	ZXΣΒΑΙ	ΧΣ	293	312	344	353	356	324	331	331	ΜΠΕΤΟΝ	ΜΑΡΜΑΡΙΝΗ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
20	HXΣΑΔΑ	ΧΣ	322	300	314	374	357	337	343	356	ΜΠΕΤΟΝ	ΜΑΡΜΑΡΙΝΗ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
21	HXΣΤΖΟ	ΧΣ	354	333	395	405	395	448	361	342	ΜΠΕΤΟΝ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟΛΙΘΟΣ	ΙΣΟΓΕΙΟ
22	HXΣΚΤΕΛ	ΧΣ	294	287	424	309	306	706	345	298	ΓΥΦΟΣΑΝΙΔΑ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΣΟΓΕΙΟ
23	ZXΣΚΟΑ1	ΧΣ	305	284	410	316	808	492	300	300	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΠΡΩΤΟΣ
24	ZXΣΚΟΑ2	ΧΣ	304	322	433	403	896	492	300	300	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΙΕΥΤΕΡΟΣ
25	ZXΣΚΟΑ3	ΧΣ	201	222	351	290	874	492	300	300	ΜΠΕΤΟΝ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΤΟΥΒΛΟ	ΥΠΟΓΕΙΟ

Τόσο από τον **Πίνακα 1** όσο και από το **Σχήμα 2** παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις τιμών. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι στην περίπτωση της Λέσβου και ειδικότερα στο κεντρικό τμήμα της νήσου παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές του ρυθμού έκθεσης στην γΑΠ. Αυτό έχει πολύ ιδιαίτερη επίδραση και στους εσωτερικούς χώρους των περιοχών αυτών, διότι (α) οι υψηλοί ρυθμοί έκθεσης συνεπάγονται και υψηλούς ρυθμούς έκθεσης στη γΑΠ εσωτερικών χώρων και διότι (β) τα τοπικά οικοδομικά προέρχονται από έδαφος αυξημένων επιπέδων φυσικής ραδιενέργειας. Στην περίπτωση των μετρήσεων γΑΠ στη Ζάκυνθο παρατηρήθηκε συστηματικότητα στις καταγραφές σε επαφή με το δάπεδο του εσωτερικού χώρου και σε επαφή με το χώμα του εγγύς εξωτερικού χώρου. Η θέση της μέτρησης γΑΠ εντός του εσωτερικού χώρου, δεν είχε επίδραση αφού οι σχετικές μετρήσεις δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Η διαφορά των καταγραφών ανάμεσα στη θέση 6 και τις λοιπές δίνει μια εκτίμηση της αθροιστικής συνεισφοράς του οικοδομικού υλικού του δαπέδου και του υποκείμενου εδάφους. Η διαφορά των ενδείξεων μεταξύ των θέσεων 6 και 7 παρέχει μία εκτίμηση της αποκλειστικής συνεισφοράς του οικοδομικού υλικού του δαπέδου. Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική υψηλότερη εκπομπή γΑΠ από το υλικό του δαπέδου σε σχέση με το χώμα ανεξάρτητα από τον όροφο του εσωτερικού χώρου. Η εξέταση των παρατηρούμενων μέσων τιμών των εκπομπών γΑΠ από δάπεδα διαφορετικών υλικών, έδειξε ότι το υλικό που κυρίως συντείνει σε αυτό το αποτέλεσμα είναι το πλακάκι. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω **Σχήμα 3** παρατηρήθηκε μια αρκετά μεγάλη στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις μέσες εκπομπές γΑΠ για δάπεδα στρωμένα με μαρμαρίνο υλικό ή με πλακάκι.



Σχήμα 3: Εξάρτηση εκπομπής γΑΠ από το υλικό του δαπέδου (Μέσες τιμές ανιχνευτή GM σε μετρήσεις στη θέση 6 του Σχήματος 1)

Ο χάρτης του **Σχήματος 2** παρήχθη από ένα σύνολο 355 σημείων δεδομένων. Όπως μπορεί να φανεί από αυτό το σχήμα, οι μετρούμενοι ρυθμοί δόσης γΑΠ κυμαίνονταν μεταξύ $0,0023 \mu Sv h^{-1}$ και $0.28 \mu Sv h^{-1}$. Αυτές οι μετρηθείσες τιμές βρίσκονται επίσης εντός της διεθνούς βιβλιογραφίας. Ωστόσο, ένας περιορισμένος αριθμός μετρήσεων βρίσκονται στην ακραία περιοχή αυτής διεθνώς αποδεκτής περιοχής τιμών. Όπως αναφέρθηκε, τα υψηλότερα ποσοστά δόσης ($0.013 \mu Sv h^{-1}$ - $0.28 \mu Sv h^{-1}$) ανιχνεύθηκαν στο τμήμα βορειοανατολικά του νησιού, ενώ τα ενδιάμεσα ($0.066 \mu Sv h^{-1}$ - $0,13 \mu Sv h^{-1}$), στην κεντρική περιοχή βόρεια και βορειοδυτικά του κόλπου της Καλλονής. Σε αυτές τις περιοχές οι κύριοι τύποι των πετρωμάτων είναι ηφαιστειακής προέλευσης, π.χ. Σχηματισμοί τύπου Συκαμινέας και Σκουτάρου και ιδιαίτερα τα πυροκλαστικά υλικά του Πολυχνίτου, οι ριόλιθοι της Κάπης και οι πυροκλαστικοί σχηματισμοί του Σκουτάρου. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι ο ανιχνευτής Geiger-Müller δεν μπορούσε να διακρίνει τις ακτίνες γάμμα σε σχέση με την ενέργειά τους. Κατά συνέπεια, τα αναφερόμενα δεδομένα που συλλέγονται με τον ανιχνευτή Geiger-Müller αντιστοιχούν στους ρυθμούς δόσης λόγω της συνολικής γΑΠ και όχι μόνο αυτής επίγειας προέλευσης. Ωστόσο, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός του Geiger-Müller προς το έδαφος ενισχύει την ανίχνευση γΑΠ τέτοιας προέλευσης και για αυτό τα στοιχεία αυτά ερμηνεύθηκαν ως κάποια ένδειξη για τη γεωλογία του υποκείμενου έδαφους.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων γΑΠ λόγω των φυσικών ραδιονουκλιδίων ^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Οι θέσεις διεσπάρθηκαν κυρίως στο βορειοανατολικό και το κεντρικό τμήμα του νησιού, όπου εντοπίστηκαν οι υψηλότεροι ρυθμοί δόσης. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον **Πίνακα 2**, τα ποσοστά εξωτερικής δόσης γΑΠ οφείλονται σε όλα τα φυσικά ραδιονουκλίδια δηλαδή ^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K και ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων τοποθεσιών. Οι μετρούμενες τιμές που οφείλεται σε όλα τα ραδιονουκλίδια (^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K) κυμάνθηκαν μεταξύ $(1,7 \pm 0,8) nGy h^{-1}$ και $(154 \pm 7) nGy h^{-1}$ με μέσο όρο $(86 \pm 6) nGy h^{-1}$.

Οι εξωτερικοί ρυθμοί δόσης γΑΠ λόγω ^{238}U κυμάνθηκαν από $(0,30 \pm 0,25) nGy h^{-1}$ έως $(26 \pm 3) nGy h^{-1}$ με μέσο όρο $(10 \pm 2) nGy h^{-1}$. Τα αντίστοιχα ποσοστά, λόγω του ^{232}Th ήταν μεταξύ $(1,1 \pm 0,7) nGy h^{-1}$ και $(91 \pm 3) nGy h^{-1}$ με μέσο όρο $(50 \pm 5) nGy h^{-1}$, ενώ οι ρυθμοί δόσης που οφείλονται στο ^{40}K κυμάνθηκαν από $(0,30 \pm 0,16)$

$nGy h^{-1}$ έως $(42 \pm 2) nGy h^{-1}$ με μέσο όρο $(25 \pm 8 nGy h^{-1})$. Όλες οι παραπάνω τιμές είναι εντός της διεθνούς βιβλιογραφίας. Η μέση συνεισφορά καθενός από τα εξετασθέντα ραδιονουκλίδια (^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K) στο συνολικό ρυθμό δόσης γΑΠ βρέθηκε ίση με $(12 \pm 4)\%$, για το ^{238}U , $(58 \pm 6) \%$ για το ^{232}Th και $(29 \pm 7) \%$ για το ^{40}K αντίστοιχα. Η συμβολή του ^{40}K είναι συγκρίσιμη με το μέσο όρο της αντίστοιχης συνεισφοράς για την Ελλάδα. Ωστόσο, η συμβολή του ^{232}Th είναι περίπου 4 έως 5 φορές υψηλότερη. Αυτό αποδίδεται στα πυριγενή πετρώματα.

Οι αναφερόμενες εκτιμήσεις ρυθμού δόσης υποβάλλονται σε διακυμάνσεις που σχετίζονται με τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται. Από τη μία πλευρά, οι μετρήσεις γάμμα φασματομετρίας σε επαφή με το έδαφος περιορίζονται σε ένα μικρό όγκο του εδάφους ή βράχου, και, ως εκ τούτου, οι αναφερόμενες τιμές ρυθμού δόσης μπορεί να έχουν υπερ- ή υποεκτιμηθεί. Από την άλλη πλευρά, οι εξωτερικοί ρυθμοί δόσης γΑΠ εξαρτώνται από την υγρασία του εδάφους και, κατά συνέπεια, από το κλίμα. Ωστόσο, το κλίμα στη Λέσβο κατά τη διάρκεια των αναφερόμενων χρονικών διαστημάτων μέτρησης δεν παρουσίασε έντονες διακυμάνσεις. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε πιθανή επιρροή ήταν, περισσότερο ή λιγότερο, παρόμοια.

Πίνακας 2.Μετρήσεις γΑΠ στη Λέσβο με βάση το μετρητή NaI.

a/a	Θέση	Ρυθμός έκθεσης γαΥ (μGy h ⁻¹)				Τύπος πετρώματος	Δόση λόγω της έκθεσης στη γ-αΥ (μGy h ⁻¹)
		Σύνολο (x 10 ³)	²³⁸ U (x 10 ⁻³)	²³² Th (x 10 ⁻³)	⁴⁰ K (x 10 ⁻³)		
1	Κακοπετριά	1.7±0.8	0.30±0.25	1.1±0.7	0.30±0.16	Post Miocene sediments	0 - 33
2	Κυδωνίες	99±6	11±2	57±5	32±2	Polychnitos & Skopelos Ignimbrites	66 - 96
3	Πεδή	124±6	13±3	74±6	37±2	Polychnitos & Skopelos Ignimbrites	130 - 280
4	Συκαμινέα	96±6	8±2	62±5	27±2	Sykaminea formation	130 - 280
5	Κάπη	70±5	10±2	41±4	19±1	Sykaminea formation	96 - 130
6	Πελόπη-Α	75±5	3±1	42±4	30±2	Sykaminea formation	130 - 280
7	Πελόπη-Β	114±6	14±2	65±5	34±2	Sykaminea formation	130 - 280
8	Στύψη-Α	33±3	4±1	20±3	9.0±0.9	Sykaminea formation	130 - 280
9	Στύψη-Β	154±7	26±3	91±6	37±2	Sykaminea formation	130 - 280
10	Υψηλομέτωπο	90±6	10±2	56±5	24±2	Sykaminea formation	130 - 280
11	Πετσοφάς-Α	58±4	9±2	32±4	17±1	Post Miocene sediments	96 - 130
12	Πετσοφάς-Β	113±6	19±3	64±5	30±2	Kapi rhyolite formation	130 - 280
13	Πέτρα	48±4	8±2	21±3	19±1	Skoutaros formation	96 - 130
14	Άναζος	50±4	9±2	26±3	15±1	Skoutaros formation	96 - 130
15	Σκουτάρος	106±6	19±3	63±5	24±1	Skalohorion formation	130 - 280
16	Δάφια-Φίλια	77±5	11±2	45±4	22±1	Skalohorion formation	96 - 130
17	Σκαλοχώρι	93±6	12±2	59±5	23±1	Skalohorion formation	96 - 130
18	Φίλια	65±5	7±2	39±4	20±1	Skalohorion formation	66 - 96
19	Κλειώ	100±6	10±2	64±5	26±2	Sykaminea formation	130 - 280
20	Λεπέτυμνος	138±7	14±2	82±6	42±2	Sykaminea formation	130 - 280
21	Μόλυβος	58±5	9±2	41±4	7.9±0.8	Skoutaros formation	66 - 96
22	Βαφειός	55±4	8±2	30±4	18±1	Undivided lower lavas	66 - 96
23	Εφταλού	75±4	8±2	34±4	35±2	Undivided lower lavas	66 - 96
24	Ορατό ρήγμα	105±5	13±2	52±5	40±2	Undivided lower lavas	130 - 280
25	Σκάλα Συκαμιάς-Α	111±6	8±2	70±6	33±2	Undivided lower lavas	130 - 280
26	Σκάλα Συκαμιάς-Β	126±6	10±2	82±6	34±2	Sykaminea formation	130 - 280
ΜΟ:		86±6	10±2	50±5	25±8		