

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	6
1.1 Ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες	6
1.2 Περιγραφή φαινομένου Ιοντισμού	7
1.3 Ραδιοϊσότοπα και ραδιενέργεια	8
1.4 Είδη ιονιζουσών ακτινοβολιών	9
1.5 Ιονισμός και βιολογική βλάβη	13
1.6 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ακτινοβολιών	14
1.7 Εξασθένιση – απορρόφηση ακτινοβολίας γ από την ύλη	15
1.8 Μεγέθη και μονάδες δοσιμετρίας των ακτινοβολιών	16
1.9 Εξωτερικές και Εσωτερικές πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου	18
1.10 Φυσικές πηγές εξωτερικής ακτινοβολήσης	20
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	23
2.1 Γενική περιγραφή	23
2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	27
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	33
3.1 Τοποθεσίες Μέτρησης	33
3.2 Συνθήκες εκτέλεσης μετρήσεων	35
3.3 Περιγραφή εκτέλεσης των μετρήσεων	36
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	39
4.1 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	40

4.1.1 Μέσοι κεντρικής τάσης	41
4.1.2 Παράμετροι κεντρικής θέσης	43
4.1.3 Διασπορά	44
4.2 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων	47
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
5.1 Σύγκριση περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων με άλλες περιοχές της Ελλάδας	60
5.2 Αναγωγή ισοδύναμης δόσης στο έτος	62
5.3 Σύγκριση μέσης ετήσιας δόσης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων με παγκόσμια στατιστικά μεγέθη	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως είναι γνωστό στον φλοιό αλλά και στο εσωτερικό της Γης, από την στιγμή της δημιουργίας της, περιέχονται φυσικά ραδιενεργά στοιχεία όπως το ράδιο, το ουράνιο, το θόριο κ.α. Απαντώνται παντού, στο έδαφος, στο νερό, στους ζώντες οργανισμούς, στις τροφές και στα οικοδομικά υλικά, με αποτέλεσμα την έκθεση του ανθρώπου σε ιονίζουσα ακτινοβολία, η οποία προέρχεται από την ακτινοβόληση των παραπάνω στοιχείων.

Στις ιονίζουσες ακτινοβολίες κατατάσσονται οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες όπως η γ και η X και οι σωματιδιακές όπως οι α και η β .

Η έκθεση του ανθρώπου σε περιβάλλον ιονίζουσας ακτινοβολίας, έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή μέρους του βιολογικού του υλικού (π.χ. του κυτταροπλάσματος ή του πυρήνα ενός κυττάρου), με ιδιαίτερης σημασίας τις βλάβες που προκαλούνται στο γενετικό υλικό των κυττάρων, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης

Λόγο της σπουδαιότητας των ιονίζουσων ακτινοβολιών στην δημόσια υγεία, μελετήθηκε το επίπεδο φυσικής ραδιενέργειας από γάμμα (γ) ακτινοβολία στην περιοχή Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων. Συνολικά πάρθηκαν 207 μετρήσεις, σε 23 τοποθεσίες της υπό μελέτη περιοχής

Επίσης πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, καθώς και σύγκρισή τους με αντίστοιχες μετρήσεις που εκτελούνται από ειδικούς σταθμούς σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, με σκοπό την διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τα επίπεδα γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων.

Επιπρόσθετα, έγινε υπολογισμός της ετήσιας δόσης γ ακτινοβολίας, την οποία λαμβάνει ένας κάτοικος της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, ο οποίος εργάζεται και κατοικεί στην εν λόγω περιοχή, και σύγκριση αυτής με τον αντίστοιχο παγκόσμιο μέσο όρο ετήσιας δόσης, καθώς με τα όρια, πέραν των οποίων λαμβάνονται έκτακτα μέτρα προστασίας του πληθυσμού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το επίπεδο φυσικής ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία, στην περιοχή Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων. Η ραδιενέργεια αυτή, προέρχεται από την φυσική ακτινοβολήση των πετρωμάτων του εδάφους και του υπεδάφους, λόγω της ύπαρξης φυσικών ραδιενεργών στοιχείων. Παρόμοιες μελέτες διεξάγονται και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας, μέσω του τηλεμετρικού δικτύου της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), η οποία αποτελεί την αρμόδια αρχή προστασίας του πολίτη από την ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία στην Ελλάδα.

Η ανάγκη για τον καθορισμό του επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας μίας περιοχής, έγκειται στην σπουδαιότητα της έκθεσης των ανθρώπων σε φυσική ραδιενέργεια, καθώς η έκθεση σε υψηλό επίπεδο ραδιενέργειας έχει συνδεθεί με καρκινογένεσεις και επομένως σε αυτήν την περίπτωση τίθεται σε κίνδυνο η δημόσια υγεία.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις γ ακτινοβολίας προερχόμενης από την φυσική ακτινοβολήση του εδάφους, με σκοπό τον καθορισμό του επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας από ακτινοβολία γ στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων. Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο Dose Rate Measuring Unit FH 40 G, με το οποίο υπολογίζεται ο ρυθμός ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, δηλαδή η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας, η οποία λαμβάνεται στην μονάδα του χρόνου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες τοποθεσίες της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων. Η επιλογή των επιμέρους τοποθεσιών εκτέλεσης των μετρήσεων, έγινε με γνώμονα την κάλυψη της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, την ύπαρξη στρατιωτικών εγκαταστάσεων και την ύπαρξη κατοικημένων περιοχών. Συνολικά πάρθηκαν μετρήσεις από 23 τοποθεσίες.

Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, τα αποτελέσματα των μετρήσεων επεξεργάστηκαν στατιστικά με το πρόγραμμα Microsoft Excel και υπολογίστηκαν οι βασικές στατιστικές παράμετροι της κατανομής των μετρούμενων τιμών, καθώς και η δόση γ ακτινοβολίας την οποία λαμβάνει ένας κάτοικος της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων κατά την διάρκεια ενός έτους.

Επιπρόσθετα, έγινε σύγκριση της ετήσιας δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, με τις αντίστοιχες ετήσιες δόσεις που λαμβάνουν οι

κάτοικοι άλλων περιοχών της Ελλάδας, αλλά και με τον παγκόσμιο μέσο όρο ετήσιας δόσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά στα φυσικά χαρακτηριστικά της ιονίζουσων ακτινοβολιών. Αναφέρονται οι κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζεται, οι φυσικές ιδιότητες της κάθε κατηγορίας, καθώς και οι επιπτώσεις έκθεσης βιολογικού υλικού σε ιονίζουσα ακτινοβολία. Επίσης, δίδονται τα μεγέθη και οι μονάδες δοσιμετρίας των ακτινοβολιών, καθώς και οι ορισμοί της Ισοδύναμης, Ενεργούς και Απορροφούμενης δόσης. Τέλος, περιγράφονται οι εξωτερικές και οι εσωτερικές πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των μετρήσεων γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων. Συγκεκριμένα, περιγράφονται τα επιμέρους εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της πειραματικής μεθοδολογίας. Συνολικά λήφθηκαν 207 μετρήσεις, από 23 τοποθεσίες της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε 3 κύκλους και η συνολική τους διάρκεια ήταν 2 μήνες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Γίνεται στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς και παρουσιάζονται διαγράμματα των τιμών μέτρησης, τόσο ανά τοποθεσία μέτρησης, όσο και συνολικά για την περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο συγκρίνονται οι τιμές μέτρησης γ ακτινοβολίας με τις αντίστοιχες τιμές μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε άλλες περιοχές της Ελλάδας και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τα επίπεδα γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων. Επίσης υπολογίζεται η μέση δόση η οποία λαμβάνεται από έναν κάτοικο της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων κατά την διάρκεια ενός έτους. Η μέση ετήσια δόση της περιοχής του Ακρωτηρίου συγκρίνεται με τον αντίστοιχο παγκόσμιο μέσο όρο, καθώς και με τα όρια τα οποία έχουν θεσπιστεί από την UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), πέραν των οποίων λαμβάνονται έκτακτα μέτρα προστασίας του γενικού πληθυσμού.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Όλα τα είδη των ακτινοβολιών που υπάρχουν, διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες, τις ιονίζουσες και τις μη ιονίζουσες. Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες και τα είδη των ιονίζουσων ακτινοβολιών, στις οποίες ανήκει η ακτινοβολία γ, το επίπεδο της οποίας μετρήθηκε στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

1.1. Ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες

Ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια της ζωής του δέχεται συνεχώς ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας, τόσο από το φυσικό του περιβάλλον όσο και από τεχνητές πηγές. Οι ακτινοβολίες μπορούν σε πρώτη προσέγγιση να διακριθούν με βάση την ενέργειά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ιονίζουσες και τις μη ιονίζουσες. Ειδικότερα :

Ιονίζουσα, είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει μεγάλη ενέργεια, ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς. Ιονίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες Χ και γ και ιονίζουσες σωματιδιακές ακτινοβολίες είναι η α και β. Η διαφορά μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής και σωματιδιακής ακτινοβολίας έγκειται στο ότι η πρώτη μεταφέρεται υπό μορφή κύματος, ενώ η δεύτερη αποτελείται από σωματίδια, η ακτινοβολία α από πυρήνες ηλίου (He) και η ακτινοβολία β από ηλεκτρόνια (e^-).

Μη ιονίζουσα, είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, ανίκανη κατά την αλληλεπίδραση της με την ύλη να προκαλέσει άμεσα ιονισμό, αλλά ικανή να προκαλέσει ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα. Γνωστότερες μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι η ορατή ακτινοβολία, η υπέρυθρη, η υπεριώδης, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν οι ηλεκτρικές συσκευές, η ακτινοβολία laser και άλλες.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια μεγαλύτερη από 10 eV. Ως 1 eV ορίζεται η ενέργεια εκείνη, η οποία προσδίδεται σε ένα σωματίδιο φορτίου e, όταν αυτό κινηθεί μέσα σε διαφορά δυναμικού ενός βόλτ (Volt).

Οι δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες ακτινοβολιών εμφανίζουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους και κατ'επέκταση έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες προκαλούν κυρίως θέρμανση του βιολογικού υλικού και δεν δρουν αθροιστικά, δηλαδή δεν

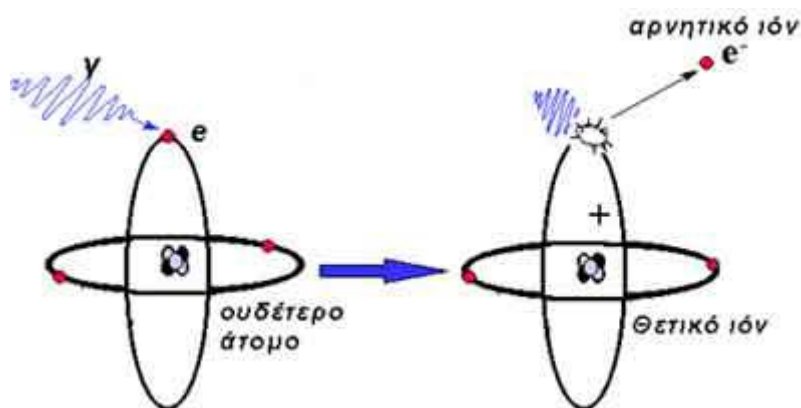
αποθηκεύονται μέσα στον ζώντα οργανισμό, σε αντίθεση με τις ιονίζουσες ακτινοβολίες, οι οποίες δρουν αθροιστικά και έχουν συνδεθεί με καρκινογενέσεις, δηλαδή μετάλλαξη του γενετικού υλικού των κυττάρων. Επιπρόσθετα, οι ιονίζουσες ακτινοβολίες, σε αντίθεση με τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, προκαλούν ιονισμό της ύλης με την οποία αλληλεπιδρούν.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την κατηγορία των ιονίζουσων ακτινοβολιών.

1.2. Περιγραφή του φαινομένου του Ιονισμού

Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο του ιονισμού αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των ιονίζουσων ακτινοβολιών και οφείλεται στην μεγάλη ενέργεια την οποία μεταφέρουν.

Ο ιονισμός του ατόμου, είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές ατομικές στοιβάδες του ατόμου, λόγω της δράσης κάποιου εξωτερικού αιτίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά αφορούν αφενός στα ηλεκτρόνια που απομακρύνθηκαν από το άτομο και αφετέρου στα ελλειμματικά σε ηλεκτρόνια θετικά φορτισμένα άτομα, που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση. Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζεται η βίαιη εκδίωξη του ηλεκτρονίου από το άτομο και παραγωγή ζεύγους αντίθετα φορτισμένων ιόντων..



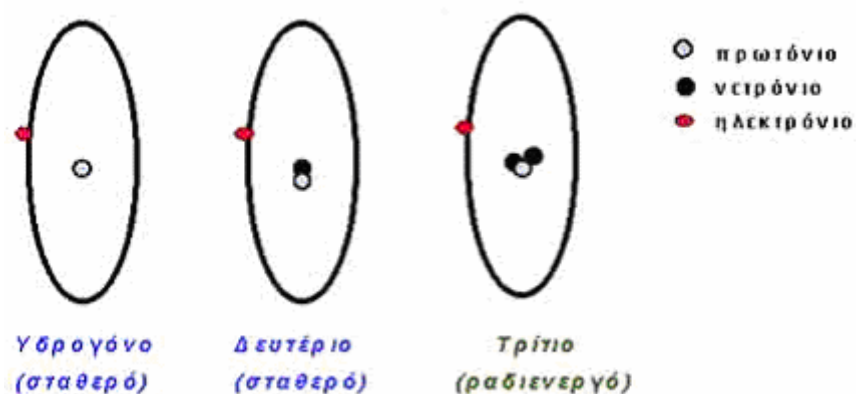
Σχήμα 1.1: Ιονισμός του ουδέτερου ατόμου λόγω πρόσπτωσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Για να εκδιωχθεί ένα ηλεκτρόνιο από τις στοιβάδες του, απαιτείται ενέργεια η οποία προσδίδεται στο άτομο από κάποιο εξωτερικό αίτιο (π.χ. πρόσπτωση ακτινοβολίας). Η ενέργεια αυτή πρέπει προφανώς να καλύπτει την ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η τιμή της εξαρτάται από την ταυτότητα

του ατόμου και τη θέση της ηλεκτρονικής στοιβάδας στην οποία είναι συνδεδεμένο το ηλεκτρόνιο και δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 10 eV.

1.3 Ραδιοϊσότοπα και ραδιενέργεια

Είναι γνωστό ότι ο πυρήνας ενός ατόμου της ύλης αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα καθορίζει το είδος του ατόμου ενώ το άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων το βάρος του ατόμου. Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων είναι ομοειδή, ανήκουν δηλαδή στο ίδιο στοιχείο. Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και διαφορετικό αριθμό νετρονίων είναι προφανώς και αυτά ομοειδή και καλούνται ισότοπα του ίδιου στοιχείου. Στο Σχήμα 1.2 φαίνονται τα τρία φυσικά ισότοπα του στοιχείου υδρογόνου από τα οποία το Τρίτιο έχει ασταθή ραδιενεργό πυρήνα.



Σχήμα 1.2: Τα τρία φυσικά ισότοπα του στοιχείου υδρογόνου.

Ο πυρήνας ενός ατόμου είναι σταθερός αν ο συνδυασμός του αριθμού πρωτονίων και νετρονίων είναι αποδεκτός από τη φύση ενώ αντίθετα είναι ασταθής αν ο συνδυασμός αυτός είναι απαγορευμένος. Στη φύση υπάρχουν ασταθείς πυρήνες ατόμων ενώ ορισμένοι από αυτούς παράγονται τεχνητά.

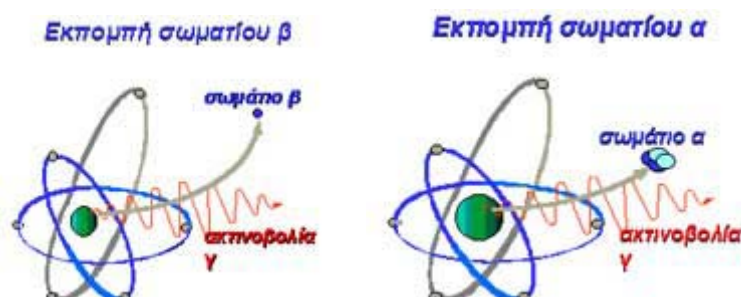
Οι ασταθείς πυρήνες διασπώνται με χαρακτηριστικούς μηχανισμούς που στοχεύουν στη μετάπτωση σε μία σταθερότερη φυσική κατάσταση. Για το σκοπό αυτό αποβάλλουν μάζα και ενέργεια με τη μορφή σωματιδιακής και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντίστοιχα. Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασταθών πυρήνων να αποβάλλουν μάζα και ενέργεια καλείται ραδιενέργεια. Επομένως, ραδιενέργεια ενός υλικού είναι το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το ρυθμό διάσπασης των ασταθών πυρήνων του.

Μονάδα ραδιενέργειας είναι το Bequerel (Bq), που αντιστοιχεί σε μία διάσπαση ασταθούς πυρήνα ανά δευτερόλεπτο.

Ραδιενεργά ισότοπα ή ραδιοϊσότοπα καλούνται ισότοπα των γνωστών σταθερών χημικών στοιχείων που χαρακτηρίζονται από ασταθείς πυρήνες. Κάθε ραδιοϊσότοπο ενός στοιχείου χαρακτηρίζεται μονοσήμαντα από το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας την οποία εκπέμπει καθώς και από το χρόνο υποδιπλασιασμού του.

Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιοϊσοτόπου, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει η τιμή της ραδιενέργειάς του στο μισό της αρχικής της τιμής. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού είναι σταθερός και χαρακτηριστικός για κάθε είδος ραδιοϊσοτόπου.

Τα ραδιοϊσότοπα των σταθερών στοιχείων απαντώνται στη φύση ως φυσικά συστατικά του εδάφους, του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα, ή παράγονται τεχνητά σε εγκαταστάσεις υψηλής τεχνολογίας (π.χ. πυρηνικούς αντιδραστήρες και επιταχυντές σωματίων). Στο σχήμα 1.3 φαίνονται οι συνήθεις τρόποι ραδιενεργών μετατροπών των ατόμων. Από το πρώτο άτομο (αριστερά στο σχήμα 1.3) εκπέμπεται ένα σωματίδιο β, ενώ στο δεύτερο άτομο εκπέμπεται ένα σωματίδιο α. Και στις δύο περιπτώσεις την εκπομπή σωματιδίου συνοδεύει εκπομπή ακτινοβολίας γ.



Σχήμα 1.3: Μετάπτωση ασταθών ατόμων σε σταθερότερη φυσική κατάσταση.

1.4 Είδη ιονίζουσών ακτινοβολιών

Κοινό χαρακτηριστικό των ιονίζουσων ακτινοβολιών είναι η μεγάλη ενέργεια που μεταφέρουν και δύνανται να προέρχονται είτε από φυσικές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών (φυσικά ραδιοϊσότοπα, κοσμική ακτινοβολία κ.λ.π.), ή από τεχνητές πηγές όπως ακτινολογικές λυχνίες και τεχνητά ραδιοϊσότοπα. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες ανάλογα με την φύση τους διακρίνονται σε ηλεκτρομαγνητικές και σωματιδιακές.

Οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες μεταφέρονται υπό μορφή κύματος, ενέργεια δηλαδή υπό μορφή κύματος, ενώ οι σωματιδιακές αποτελούνται από σωματίδια, το είδος των οποίων καθορίζει και το είδος της σωματιδιακής ακτινοβολίας.

Στις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες κατατάσσονται ακτινοβολίες όπως η γ και η X και στις σωματιδιακές ακτινοβολίες όπως οι α και β .

Από τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες η πιο γνωστή είναι η ακτινοβολία X που παράγεται στις ακτινολογικές λυχνίες και χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική και από τις σωματιδιακές ακτινοβολίες, οι α και β που εκπέμπονται από τους φυσικούς ή τεχνητούς ασταθείς πυρήνες των ατόμων στοιχείων που αποκαλούνται ραδιοϊσότοπα.

Η ακτινοβολία α είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες. Το σωματίδιο α είναι σχετικά βαρύ σωματίδιο διότι αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, (είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου), και μεταφέρει σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο (+2). Όταν τα σωματίδια α , προσβάλλουν την ύλη, λόγω των προαναφερθέντων φυσικών ιδιοτήτων τους, επιβραδύνονται έντονα διότι αλληλεπιδρούν με τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά πεδία που περιβάλλουν τα άτομα, με αποτέλεσμα την άμεση απορρόφησή τους σε ελάχιστο βάθος του υλικού που συναντούν.

Η επιβράδυνση αυτή οφείλεται πρώτιστα στην αλληλεπίδραση των σωματιδίων α με τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην ύλη. Τα περισσότερα από τα άλφα σωματίδια που εκπέμπονται από το ίδιο στοιχείο εκτινάσσονται με σχεδόν την ίδια ταχύτητα. Κατά συνέπεια σχεδόν όλα τα άλφα σωματίδια από το πολώνιο- 210 ταξιδεύουν 3,8 cm μέσω του αέρα πριν να σταματήσουν εντελώς, και εκείνα από το πολώνιο- 212 ταξιδεύουν 8,5 cm. Η μέτρηση της απόστασης που διανύουν τα άλφα σωματίδια χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα ισότοπα από τα οποία προέρχονται.

Η ακτινοβολία α χαρακτηρίζεται από υψηλό συντελεστή γραμμικής μεταφοράς της ενέργειας LET (Linear Energy Transfer), όπου ως LET ορίζεται το φυσικό εκείνο μέγεθος που χαρακτηρίζει τον τρόπο εναπόθεσης της ενέργειας στην ύλη και αποτελεί μέτρο της βλαπτικότητας μιας ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία α είναι δυνατόν να αποκοπεί πλήρως από ένα και μόνο λεπτό φύλλο χαρτιού.

Η ακτινοβολία β είναι σωματιδιακή ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες. Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια, με μικρή μάζα (7000 φορές περίπου ελαφρότερη από αυτήν των σωματίων α), και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο (+1 ή -1, τα θετικά ηλεκτρόνια καλούνται ποζιτρόνια). Οι φυσικές αυτές ιδιότητες επιτρέπουν στην ακτινοβολία β να διεισδύει στην ύλη με μεγαλύτερη ευκολία και να διανύει σημαντικά μεγαλύτερη διαδρομή από ότι η ακτινοβολία α και συνεπώς χαρακτηρίζεται

από σχετικά χαμηλότερο LET. Μερικά χιλιοστά πλαστικού (Plexiglas) είναι ικανά να αποκόψουν την ακτινοβολία β.

Τα σωματίδια βήτα εκτινάσσονται με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τα άλφα σωματίδια, και έτσι θα διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση μέχρι να αποκοπούν. Ο μηχανισμός με τον οποίο σωματίδια βήτα σταματούν είναι ουσιαστικά παρόμοιος με αυτόν της ακτινοβολίας α. Σε αντίθεση με τα άλφα σωματίδια, τα βήτα σωματίδια εκπέμπονται με πολλές διαφορετικές ταχύτητες, και οι εκπομπές ακτινοβολίας βήτα πρέπει να διακριθούν μεταξύ τους από τις χαρακτηριστικές μέγιστες και μέσες ταχύτητες των βήτα σωματιδίων. Η κατανομή της ενέργειας βήτα-σωματιδίων (κατανομή ταχυτήτων) απαίτησε την υπόθεση της ύπαρξης, ενός σωματιδίου χωρίς μάζα αποκαλούμενο νεutrίνο. Η εκπομπή νεutrίνο συνοδεύει όλες τις διασπάσεις βήτα.

Η ακτινοβολία γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των πυρήνων. Εάν ο αριθμός των νουκλεονίων, δηλαδή των πρωτονίων και νετρονίων, βρίσκεται σε τέτοια αναλογία που εφιστούν το άτομο σταθερό, αλλά η ενέργεια του πυρήνα είναι πολύ μεγάλη, τότε η πλεονάζουσα ενέργεια αποβάλλεται με την μετάβαση ισομερούς (isomeric transition).

Η μετάβαση ισομερούς είναι μία διαδικασία ραδιενεργούς μεταστοιχείωσης (radioactive decay process) που προκύπτει σε ένα άτομο όταν έχει προηγηθεί μία δραστηριότητα πχ εκπομπή α ή β σωματιδίων και η περίσσια ενέργειας των νουκλεονίων αποβάλλεται υπό μορφή ακτινοβολίας.

Η ενέργεια η οποία ακτινοβολείται ονομάζεται ακτινοβολία γάμμα και είναι ουσιαστικά φωτόνιο το οποίο εκπέμπεται από τον πυρήνα που βρίσκεται σε διέγερση.

Το φωτόνιο δεν έχει μάζα και δεν μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της ακτινοβολίας γ μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης, δεν εμποδίζεται, ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι διεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού LET και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές, χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα, το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία γ έχει ακτίνα δράσης αρκετές φορές μεγαλύτερη από αυτήν των βήτα σωματιδίων και μπορεί να διαπεράσει αρκετά εκατοστά μόλυβδου. Η

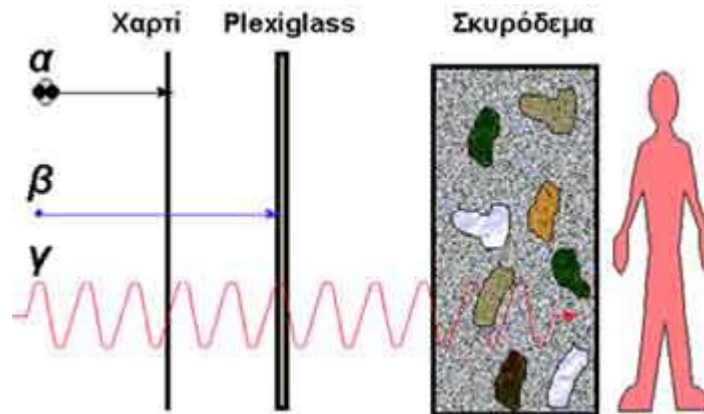
ακτινοβολία γ δεν έχει φορτίο, και ως εκ τούτου δεν μπορεί να προκαλέσει εύκολα ιονισμό της ύλης. Αντίθετα, τα σωματίδια άλφα και βήτα, κατά τη διέλευσή τους μέσα από την ύλη, προκαλούν τον σχηματισμό πολλών ιόντων. Αυτός ο ιονισμός είναι ιδιαίτερα εύκολο να παρατηρηθεί όταν η ύλη είναι σε αέρια μορφή. Η ακτινοβολία β παράγει το 1/100 έως το 1/200 του ιονισμού που παράγεται από την ακτινοβολία α ανά εκατοστόμετρο της διαδρομής της στον αέρα. Η ακτινοβολία γ παράγει περίπου το 1/100 του ιονισμού της ακτινοβολίας β .

Η ακτινοβολία γ εμφανίζεται συνήθως σε συνδυασμό με τις ακτινοβολίες α και β . Επειδή η ακτινοβολία γ δεν φέρει κανένα φορτίο ή μάζα, η εκπομπή της από έναν πυρήνα δεν οδηγεί σε καμιά αλλαγή στις χημικές του ιδιότητες, αλλά μόνο στην απώλεια ενός ορισμένου ποσού ενέργειας που ακτινοβολείται. Η εκπομπή της ακτινοβολίας γ οφείλεται σε μια αποδιέγερση του πυρήνα που βρισκόταν σε μια ασταθή κατάσταση.

Ωστόσο, είναι δυνατή η εκπομπή αποκλειστικά γάμμα ακτινοβολίας από ορισμένα ισότοπα. Αυτής της μορφής η εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα εμφανίζεται όταν υπάρχει ένα ισότοπο με δύο διαφορετικές μορφές, οι οποίες αποκαλούνται πυρηνικά ισομερή και έχουν τους ίδιους ατομικούς και μαζικούς αριθμούς, αλλά διαφέρουν στην ενέργεια. Η εκπομπή της ακτινοβολίας γ συνοδεύει τη μετάβαση του υψηλού-ενεργειακού ισομερούς στην χαμηλή-ενεργειακή μορφή. Ένα παράδειγμα του ισομερισμού είναι το ισότοπο πρωτακτίνιο-234, που υπάρχει σε δύο ευδιάκριτες ενεργειακές καταστάσεις, με την εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα που επισημαίνει τη μετάβαση από την μια στην άλλη κατάσταση.

Η ακτινοβολία X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, της ίδιας φύσης με την ακτινοβολία γ , αλλά διαφορετικής προέλευσης. Παράγεται στις ηλεκτρονικές στιβάδες των ατόμων (χαρακτηριστική ατομική ακτινοβολία), σε αντίθεση με την ακτινοβολία γ η οποία παράγεται στους πυρήνες των ατόμων, ή σε στόχους επιβράδυνσης ταχέως κινουμένων φορτισμένων σωματιδίων (ακτινοβολία πέδης) σε ειδικές για το σκοπό αυτό διατάξεις (λυχνίες ακτινών- X , επιταχυντές σωματίων). Η ακτινοβολία X παρουσιάζει τις ίδιες βασικές φυσικές ιδιότητες με την ακτινοβολία γ σε ότι αφορά τη διεισδυτικότητά της.

Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζεται η διεισδυτική ικανότητα των ακτινοβολιών α , β και γ , καθώς και τα υλικά από τα οποία αποκόπτονται. Τα σωματίδια α αποκόπτονται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωματίδια β από μερικά χιλιοστά πλαστικού, ενώ η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γ απαιτεί σχετικά μεγάλα πάχη επιλεγμένων υλικών για να αποκοπεί.



Σχήμα 1.4: Διείδυση της ακτινοβολίας στην ύλη.

1.5 Ιονισμός και βιολογική βλάβη

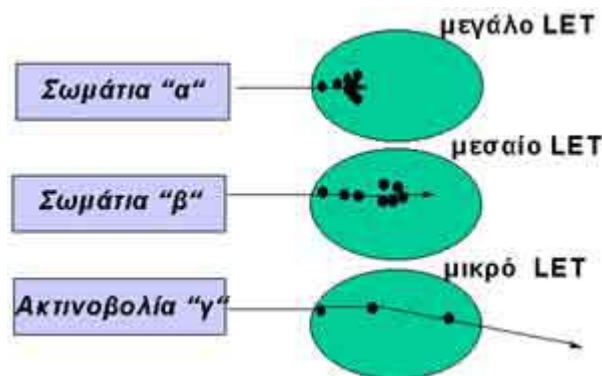
Όταν η ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό σε ένα βιολογικό υλικό, (π.χ. στο κυτταρόπλασμα ή στον πυρήνα ενός κυττάρου), έχει σαν αποτέλεσμα τη ρήξη ενός χημικού δεσμού, δηλαδή την καταστροφή ενός μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δύο δραστικών χημικών ριζών. Η ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί άμεση βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει ένα ωφέλιμο για τη ζωή ή τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόριο. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται, με τη σειρά τους από τη διάσπαση του μορίου, θα προκαλέσουν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι θα επιτεθούν σε ωφέλιμα μόρια, θα τα καταστρέψουν και θα δημιουργήσουν άχρηστες ή βλαβερές για το κύτταρο χημικές ενώσεις. Ιδιαίτερης σημασίας για τη ζωή και την αναπαραγωγή του κυττάρου έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης .

Η διεισδυτικότητα ενός είδους ακτινοβολίας μέσα σε δεδομένο υλικό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η μάζα και το φορτίο της ακτινοβολίας. Ειδικότερα και όσον αφορά τη βλαπτικότητα μιας ακτινοβολίας όταν αυτή προσβάλλει ανά ζωντανό κύτταρο, αυτή εξαρτάται τόσο από το ποσό της εναποτιθέμενης στο προσβαλλόμενο κύτταρο ενέργεια όσον και από τον τρόπο εναπόθεσής της σε αυτόν.

Έτσι, ακτινοβολίες με μικρή εμβέλεια (διεισδυτικότητα) στους ιστούς, εναποθέτουν όλη την ενέργειά τους στο μικρό μήκος διαδρομής τους και δημιουργούν μεγάλη βλάβη στα προσβαλλόμενα κύτταρα λόγω της μεγάλης χωρικής πυκνότητας των αλληλεπιδράσεων

Αντίθετα, διεισδυτικές ακτινοβολίες με μεγάλη εμβέλεια στους ιστούς, κατανέμουν την ενέργειά τους σε μεγαλύτερο μήκος διαδρομής, κατά την οποία η τοπική πυκνότητα των αλληλεπιδράσεων είναι μικρή και έτσι η βλάβη των προσβαλλόμενων κυττάρων είναι σχετικά μικρότερη.

Στο σχήμα 1.5 φαίνεται ο ιονισμός που προκαλείται στην ύλη ανάλογα με το είδος της ιονίζουσας ακτινοβολίας που προσπίπτει. Οι ακτινοβολίες που χαρακτηρίζονται από υψηλό LET, όταν αυτές προσπίπτουν σε βιολογικό υλικό, προκαλούν σημαντικότερη βλάβη στο προσβαλλόμενο βιολογικό υλικό από τις αντίστοιχες με μικρό LET, διότι εναποθέτουν μεγάλα ποσά ενέργειας στο μικρό μήκος της διαδρομής τους (ιδιαίτερα προς το τέλος της) και αυξάνουν τοπικά την πυκνότητα των ιοντισμών.



Σχήμα 1.5: Διείσδυση ακτινοβολιών μέσα στην ύλη για διαφορετικές τιμές LET.

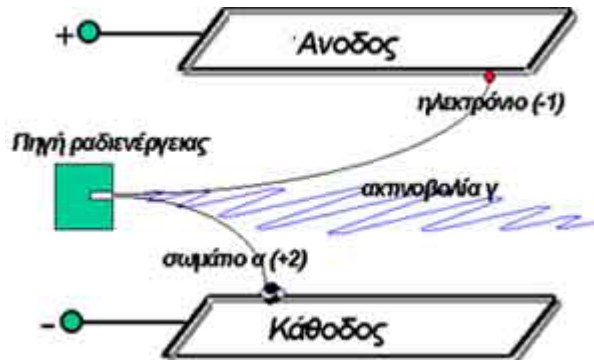
Ωστόσο, η έκθεση ενός ανθρώπου σε ακτινοβολία α , β ή γ , δεν σημαίνει αυτόματα θάνατο ή καρκίνο. Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει μηχανισμούς επιδιόρθωσης της ζημιάς, η οποία προκαλείται από την έκθεση, αρκεί να υπάρχει ο κατάλληλος χρόνος.

Οι επιπτώσεις της έκθεσης του ανθρώπου σε ακτινοβολία α , β ή γ , εξαρτώνται τόσο από το επίπεδο της ακτινοβολίας όσο και από τη χρονική διάρκεια της έκθεσης. Επιπλέον, οι επιπτώσεις αυτές εξαρτώνται και από τον οργανισμό ο οποίος εκτίθεται. Δηλαδή, η έκθεση για ένα μικρό χρονικό διάστημα σε ένα ορισμένο ποσό ιονίζουσας ακτινοβολίας θα προκαλέσει βλάβες σε κάποιους ανθρώπους, ώστε να αρρωστήσουν σοβαρά, ενώ άλλοι που έχουν εκτεθεί στην ίδια δόση μπορεί να μην έχουν σοβαρά αποτελέσματα στη υγεία τους.

1.6 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ακτινοβολιών

Τα τρία βασικά είδη των ιονίζουσων ακτινοβολιών που προαναφέρθηκαν χαρακτηρίζονται από διαφορετικές μεταξύ τους φυσικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες

αυτές καθορίζουν και τη συμπεριφορά τους κατά την αλληλεπίδρασή τους με την ύλη και κατ'επέκταση τη σχετική βλαπτικότητα τους όταν αυτές προσβάλλουν τους ανθρώπινους ιστούς. Οι διαφορές αυτές όσον αφορά στο φορτίο και στη μάζα των ακτινοβολιών αυτών δίνονται στο σχήμα 1.6.



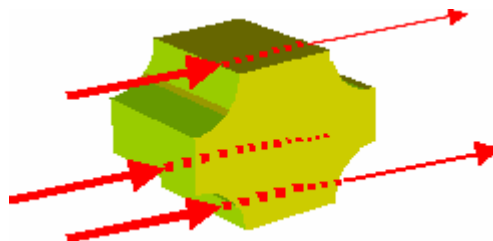
Σχήμα 1.6: Διέλευση ακτινοβολίας α, β και γ από ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Τα ευκίνητα ταχέα ηλεκτρόνια β οδεύουν προς την άνοδο, τα βαριά σωματίδια α προς την κάθοδο, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γ περνάει ανεπηρέαστη.

1.7 Εξασθένηση – Απορρόφηση ακτινοβολίας γ από την ύλη.

Η εξασθένηση (attenuation) της ακτινοβολίας γ, οφείλεται στην απώλεια φωτονίων που δεν είναι σε θέση να διαπεράσουν την ύλη. Η ιδιότητα αυτή της ύλης, να απορροφά δηλαδή μέρος των φωτονίων της δέσμης της ακτινοβολίας που δέχεται, ονομάζεται απορρόφηση (absorption).

Ο βαθμός εξασθένησης της ακτινοβολίας γ, εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στον ύλη, καθώς επίσης και από το πάχος και το ατομικό βάρος των ατόμων που αποτελούν την ύλη πάνω στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία. Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται η εξασθένηση της ακτινοβολίας γ για διαφορετικό πάχος ύλης. Η δέσμη που προσπίπτει στο κέντρο, αποκόπτεται λόγω του μεγαλύτερου πάχους της ύλης.



Σχήμα 1.7: Εξασθένηση ακτινοβολίας γ για διαφορετικό πάχος ύλης

Ως ημίσειο στρώμα (Half-Value Layer (HVL)), ορίζεται το πάχος του υλικού, το οποίο κατά την πρόσπτωση ακτινοβολίας σε αυτό, απορροφούνται τα μισά από τα φωτόνια που προσπίπτουν. Είναι φανερό πως όσο αυξάνει η ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν, τόσο αυξάνει και το HVL, ενώ όσο αυξάνει ο ατομικός αριθμός (πυκνότητα) του υλικού, τόσο μειώνεται.

1.8 Μεγέθη και μονάδες δοσιμετρίας των ακτινοβολιών

Όπως προαναφέρθηκε, όταν η ιονίζουσα ακτινοβολία προσπίπτει σε ανθρώπινους ιστούς αλληλεπιδρά με τα μόρια των κυττάρων, εναποθέτει ενέργεια σε αυτά, διασπά χημικούς δεσμούς και προκαλεί βίαιες χημικές αντιδράσεις και βιολογικές μεταβολές. Τα δυσμενή αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας στους ιστούς έχουν άμεση σχέση με το ποσό και τη χωρική κατανομή της ενέργειας που εναποτίθεται σε αυτούς. Τα φυσικά δοσιμετρικά μεγέθη (απορροφούμενη, ισοδύναμη και ενεργός δόση) των οποίων οι ορισμοί ακολουθούν, αποσκοπούν στο να συνδέσουν το είδος και την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με την πιθανότητα δημιουργίας βλάβης στον προσβαλλόμενο ιστό και γενικότερα την πιθανότητα βλάβης της υγείας του προσβαλλόμενου ατόμου.

Απορροφούμενη Δόση

Αν υποθέσουμε ότι το ίδιο ποσό ακτινοβολίας απορροφάται από δύο οργανισμούς διαφορετικής μάζας, τότε μεγαλύτερη βλάβη θα προκληθεί στον οργανισμό με την μικρότερη μάζα, καθώς αυτός απορροφά αναλογικά μεγαλύτερο ποσό ενέργειας.

Έτσι προκύπτει η ανάγκη ορισμού ενός δοσιμετρικού μεγέθους, του οποίου η τιμή να εκφράζει την απορροφούμενη ενέργεια στην μονάδα της μάζας.

Ως απορροφούμενη δόση ορίζεται το δοσιμετρικό μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που εναποτίθεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανά μονάδα μάζας της προσβαλλόμενης ύλης.

Μονάδα απορροφούμενης δόσεως στο διεθνές σύστημα SI είναι το Gray(Gy) και ονομάστηκε έτσι από τον Άγγλο φυσικό Louis Harold Gray, και αντιστοιχεί σε απορροφούμενη ενέργεια 1 Joule/ Kg προσβαλλόμενης ύλης.

Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβολήση του ανθρώπου από φυσικές και τις συνήθεις τεχνητές πηγές (διαγνωστικές εφαρμογές, καταναλωτικά αγαθά κ.λ.π.), χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Gy όπως το milligray (mGy - χιλιοστό του Gy) και το microgray (μGy-εκατομμυριοστό του Gy).

Ισοδύναμη δόση

Ας υποθέσουμε ότι διαθέτουμε τα τέσσερα διαφορετικά είδη των ακτινοβολιών που προαναφέραμε (α , β , γ , και X) και ότι καθένα από αυτά μεταφέρει το ίδιο ποσό ενέργειας και ακόμη ότι προσβάλλουν καθένα ξεχωριστά τον ίδιο ανθρώπινο ιστό. Η ακτινοβολία α με μεγάλο LET θα προκαλέσει τοπικά μεγάλη βλάβη. Η ακτινοβολία β θα εναποθέσει το ίδιο ποσό ενέργειας, σε πολύ μεγαλύτερο όμως μήκος διαδρομής μέσα στον ιστό (μικρότερο LET) προκαλώντας τοπικά σημαντικά μικρότερη βλάβη από ότι η ακτινοβολία α . Τέλος οι ακτινοβολίες γ και X , λόγω της μεγάλης διεισδυτικότητας τους (χαμηλό LET), θα εναποθέσουν μέρος της ενέργειάς τους στο μεγάλο μήκος διαδρομής τους μέσα στον ιστό προκαλώντας σε αυτόν τοπικά πολύ μικρότερη βλάβη από ότι η ακτινοβολία β .

Συμπερασματικά η βλάβη που θα προκληθεί σε έναν ιστό από δεδομένο ποσό απορροφούμενης δόσης, εξαρτάται άμεσα από το είδος της ακτινοβολίας που τον προσβάλλει. Συνεπώς για να αποτιμηθεί η βιολογική βλάβη σε έναν ιστό δεν αρκεί να προσδιοριστεί μόνον το ποσό της απορροφούμενης δόσης, αλλά και το είδος αυτής.

Ως ισοδύναμη δόση ορίζεται το δοσιμετρικό μέγεθος που σχετίζεται με τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει σε έναν ιστό η απορροφούμενη δόση ενός συγκεκριμένου είδους ακτινοβολίας.

Μονάδα ισοδύναμης δόσης είναι το Sievert (Sv). Το 1 Sv ισούται με 1 Joule/Kgr και εκφράζει την ενέργεια που εναποτίθεται ανά μονάδα μάζας της ύλης πάνω στην οποία προσπίπτει η ionίζουσα ακτινοβολία. Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τις συνήθεις τεχνητές πηγές που μας περιβάλλουν, χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Sv, όπως το millisievert (mSV - χιλιοστό του Sv) και το microsievert (μ Sv- εκατομμυριοστό του Sv). Το Sv είναι σχετικά μεγάλη μονάδα δόσεως και χρησιμοποιείται στην αποτίμηση των δόσεων της ακτινοθεραπείας και σε σοβαρά ακτινικά ατυχήματα.

Ενεργός δόση

Οι διάφοροι ανθρώπινοι ιστοί παρουσιάζουν διαφορετική σχετική ευαισθησία στην ακτινοβολία, υπό την έννοια ότι και για δεδομένη ισοδύναμη δόση, κάθε ανθρώπινος ιστός συμβάλλει με διαφορετική βαρύτητα στον συνολικό κίνδυνο που διατρέχει από την ακτινοβόλησή του η υγεία του ανθρώπου.

Για παράδειγμα η ακτινοβολήση του αιμοποιητικού ιστού βάζει σε μεγαλύτερο κίνδυνο την υγεία από ότι η ακτινοβολήση με ίση ισοδύναμη δόση του θυρεοειδούς και αυτή με τη σειρά της σε μεγαλύτερο κίνδυνο από ότι η ακτινοβολήση του δέρματος αντίστοιχα.

Αν λοιπόν στην ισοδύναμη δόση σε ένα όργανο ληφθεί υπόψη και η ευαισθησία του οργάνου, προκύπτει ένα νέο μέγεθος που συμβάλλει στην αποτίμηση του συνολικού κινδύνου που διατρέχει η υγεία από την ακτινοβολήση του συγκεκριμένου οργάνου. Το μέγεθος αυτό καλείται ενεργός δόση και αντιστοιχεί αριθμητικά στην ολοσωματική ισοδύναμη δόση που έπρεπε να δεχθεί το προσβληθέν άτομο ώστε να διατρέξει τον ίδιο κίνδυνο βλάβης της υγείας του με αυτόν που διατρέχει από την τοπική ακτινοβολήση του οργάνου.

Η αναφορά στην ενεργό δόση μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε και να αποτιμούμε κατά ενιαίο τρόπο το συνολικό κίνδυνο που διατρέχει η υγεία του ανθρώπου από δεδομένη ακτινοβολήση ενός οργάνου.

Η ενεργός δόση είναι το δοσιμετρικό μέγεθος που σχετίζεται με τον ενεχόμενο συνολικό κίνδυνο για την υγεία, ανεξάρτητα από το είδος της προσβάλλουσας ακτινοβολίας, τις συνθήκες ακτινοβολήσης και την ακτινοβολούμενη περιοχή του ανθρωπίνου σώματος.

Μονάδα ενεργού δόσεως είναι το Sievert (Sv).

1.9 Εξωτερικές και Εσωτερικές πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου

Η ακτινοβολήση του ανθρώπου οφείλεται στις διάφορες πηγές που μας περιβάλλουν. Οι πηγές αυτές διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με βάση την προέλευσή τους.

Στις φυσικές πηγές που συνυπάρχουν με τον άνθρωπο στο φυσικό περιβάλλον από την στιγμή της δημιουργίας της Γης και στις τεχνητές ή τις λεγόμενες ανθρωπογενείς πηγές, που είναι προϊόν της σύγχρονης τεχνολογίας.

Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται τα πετρώματα του εδάφους, το ραδόνιο και η κοσμική ακτινοβολία. Στις τεχνητές πηγές περιλαμβάνονται οι ιατρικές εφαρμογές, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες καθώς και μέρος των οπλικών συστημάτων.

Οι πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου, σε σχέση με τη θέση τους ως προς τον άνθρωπο, μπορούν ακόμη να διακριθούν σε άλλες δύο κατηγορίες τις εξωτερικές και τις εσωτερικές.

Οι εξωτερικές πηγές ακτινοβολήσης είναι οι πηγές που εκπέμπουν ακτινοβολία από το εξωτερικό περιβάλλον προς τον άνθρωπο (έδαφος, νερό, ατμοσφαιρικός αέρας, διάστημα, οικοδομικά υλικά, μηχανήματα παραγωγής ακτινοβολιών, τεχνητά ραδιοϊσότοπα από διάφορες χρήσεις).

Οι εσωτερικές πηγές ακτινοβολήσης είναι τα ραδιενεργά στοιχεία, φυσικά ή τεχνητά, που πέρασαν από το περιβάλλον στο ανθρώπινο σώμα μέσω των οδών της τροφικής αλυσίδας, του δέρματος ή της αναπνοής και κατηλώθηκαν ή κυκλοφορούν στους ιστούς μας και από την εκάστοτε θέση τους μας ακτινοβολούν.

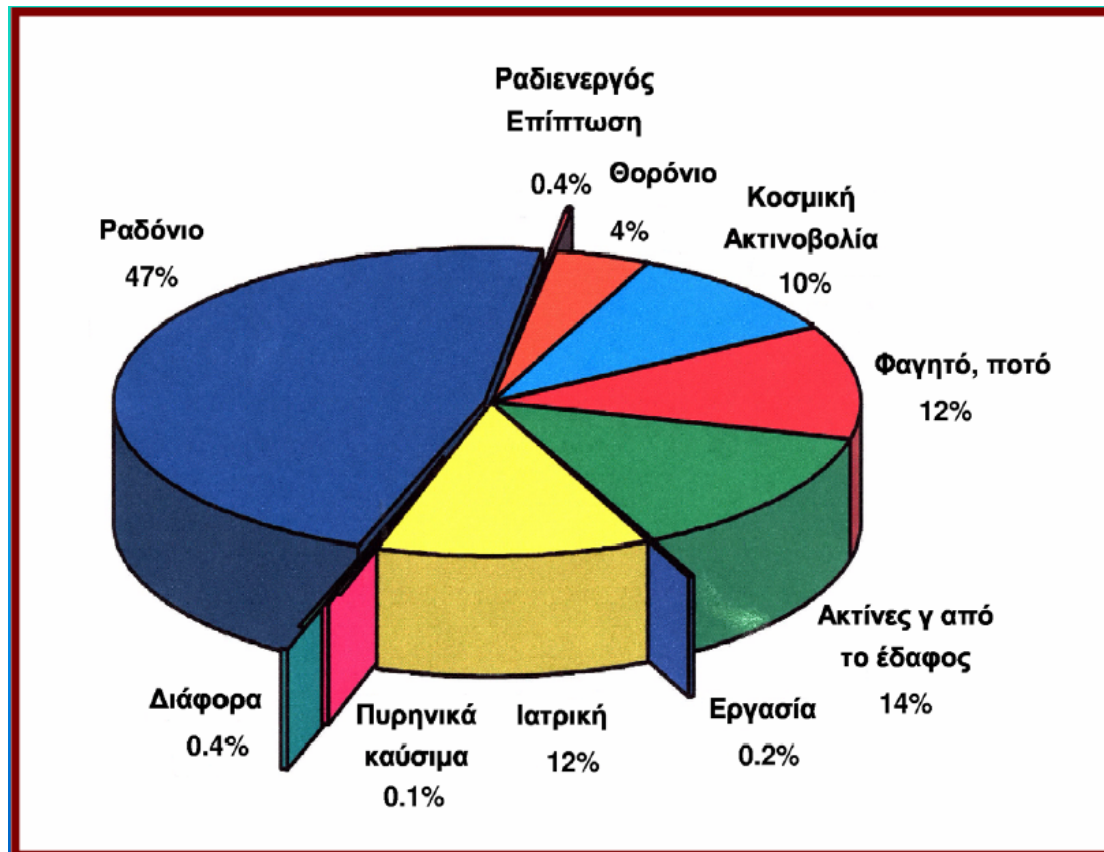
Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται η κατανομή των πηγών ακτινοβολήσης του ανθρώπου ανάλογα με την προέλευσή τους και την θέση τους ως προς τον άνθρωπο. Παρατηρούμε ότι οι φυσικές και οι τεχνητές πηγές ακτινοβολίας περιλαμβάνουν εσωτερικές αλλά και εξωτερικές πηγές ακτινοβολίας.



Σχήμα 1.8: Κατηγορίες των πηγών ακτινοβολήσης του ανθρώπου.

Η σχετική συνεισφορά των πηγών αυτών στη μέση ετήσια δόση του πληθυσμού ενός τόπου, εξαρτάται από γεωγραφικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Γεωγραφικούς παράγοντες όσον αφορά πχ την σύσταση των πετρωμάτων, οικονομικούς όσον αφορά την ύπαρξη πυρηνικών αντιδραστήρων και το είδος απασχόλησης των κατοίκων μιας περιοχής (ορυχεία, ιατρικές εφαρμογές) και κοινωνικούς παράγοντες όσον αφορά τα μέτρα προστασίας του γενικού πληθυσμού που έχει θεσπίσει η εκάστοτε κοινωνία.

Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζονται οι διάφορες πηγές ακτινοβολίας, εκφρασμένες σε εκατοστιαίο ποσοστό επί της συνολικής ακτινοβολήσης του ανθρώπου.



Σχήμα 1.9: Κυριότερες πηγές ακτινοβολήσης του ανθρώπου.

1.10 Φυσικές πηγές εξωτερικής ακτινοβολήσης

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το επίπεδο ραδιενέργειας προερχόμενης από ακτινοβολία γ από φυσικές πηγές ακτινοβολίας. Στις φυσικές πηγές ακτινοβολίας του ανθρώπου περιλαμβάνονται η κοσμική ακτινοβολία και η ακτινοβολία από τα πετρώματα του εδάφους.

Κοσμική ακτινοβολία

Κοσμική ακτινοβολία ονομάζεται η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία που προέρχεται από το διάστημα. Προέλευση της κοσμικής ακτινοβολίας είναι ο ήλιος καθώς και άλλες αστρικές πηγές. Αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας έχουμε κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας.

Η κοσμική ακτινοβολία συνίσταται από υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα, αλληλεπιδρά με πυρήνες ατόμων συστατικών του αέρα και από τις αλληλεπιδράσεις αυτές προκύπτουν δευτερογενώς ταχέως κινούμενα υποατομικά σωματίδια (ηλεκτρόνια πρωτόνια, νετρόνια, μεσόνια, μίονια κ.λ.π.), τα οποία μαζί με την υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, προσβάλλουν την επιφάνεια της

γης. Επιπλέον από τις αλληλεπιδράσεις αυτές προκαλούνται στην ατμόσφαιρα και πυρηνικές αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή ελαφρών ραδιενεργών πυρήνων. όπως ηλίου-3, βηρυλλίου-7, άνθρακα-14 και νατρίου-22 κ.λ.π.

Η κοσμική ακτινοβολία κατά τη διέλευσή της μέσα από τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας απορροφάται μερικώς και η έντασή της μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα να φτάνει στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας σχετικά εξασθενημένη. Ο μέσος ρυθμός δόσης από την κοσμική ακτινοβολία στο επίπεδο επιφάνειας της θάλασσας είναι 0,03 $\mu\text{Sv/h}$ και αυξάνει με το υψόμετρο διπλασιαζόμενος περίπου κάθε 1500 μέτρα στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Οι κάτοικοι των πόλεων που είναι κτισμένες σε μεγάλο υψόμετρο όπως το Ντένβερ στο Κολοράντο (1,6 χλμ), το Μεξικό (2,25 χλμ) και η Λάσα στο Θιβέτ (3,7 χλμ) δέχονται πολλαπλάσια κοσμική ακτινοβολία από αυτήν που δέχονται οι κάτοικοι περιοχών του επιπέδου της θάλασσας.

Στο υψόμετρο των 10 χιλιομέτρων, όπου πραγματοποιούνται οι συνήθεις ταξιδιωτικές πτήσεις ο ρυθμός δόσης ανεβαίνει στα 5 $\mu\text{Sv/ώρα}$, ενώ στα 15χλμ όπου πετούν τα υπερμεγέθη Jets τύπου Jumbo και Concord ο ρυθμός δόσης φτάνει τα 15 $\mu\text{Sv/ώρα}$. Κατά τη διάρκεια ενός αεροπορικού ταξιδιού μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής ο ταξιδιώτης δέχεται δόση ίση με 30 μSv περίπου.

Ακτινοβολία του εδάφους

Από τις κύριες φυσικές πηγές εξωτερικής ακτινοβολήσης του ανθρώπου, είναι τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία του ραδίου, του ουρανίου του θορίου και του καλίου, που είναι συστατικά του φλοιού της γης από την στιγμή της δημιουργίας της. Απαντώνται παντού, στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα, στους ζώντες οργανισμούς, στις τροφές και στα οικοδομικά υλικά. Υπολογίζεται ότι εάν αναλυθεί στρώμα εδάφους πάχους 30 εκατοστών που περιλαμβάνεται σε ένα γήπεδο διαστάσεων ενός τετραγωνικού μιλίου, θα προκύψουν περίπου 3 τόνοι ουρανίου, 6 τόνοι θορίου και 1 γραμμάριο ραδίου.

Η ακτινοβολία του εδάφους σε δεδομένη θέση εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογική σύστασή των πετρωμάτων της περιοχής. Από τα πλέον ραδιενεργά πετρώματα είναι τα γρανιτικά λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ουράνιο και ράδιο. Έτσι, λόγω της ιδιαίτερης γεωλογικής σύστασης, η μέση ετήσια δόση που δέχεται από τη γήινη ακτινοβολία ο πληθυσμός στις σκανδιναβικές χώρες είναι υπερδιπλάσια αυτής στην Μεγάλη Βρετανία και στην Ολλανδία.

Επίσης μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την ακτινοβολία του εδάφους μπορεί να εντοπιστούν και μεταξύ μικρών γειτονικών περιοχών ενός κράτους. Για παράδειγμα στη Μεγάλη Βρετανία οι κάτοικοι των περιοχών της Κορνουάλης, του Ντερμπυσαίρ, του Ντέβον και του Αμπερντίν δέχονται σημαντικά μεγαλύτερη ετήσια δόση από την αντίστοιχη μέση δόση που δέχεται ο Βρετανικός πληθυσμός.

Είναι προφανές ότι σε υπόγειους χώρους όπως είναι τα σπήλαια, οι στοές των ορυχείων και τα υπόγεια των κτηρίων, η συνιστώσα της εξωτερικής ακτινοβολίας του ανθρώπου από τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα του υπεδάφους είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με τους αντίστοιχους υπέργειους χώρους.

Η ενέργεια η οποία προέρχεται από την διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων ουρανίου, θορίου και ραδίου στον πυρήνα της γης, συμβάλλει στην διαμόρφωση του σχήματος του γήινου φλοιού αλλά και στην διατήρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού του πλανήτη.

Το ουράνιο απαντάται στα πετρώματα σε μικρές συγκεντρώσεις της τάξεως των μερικών σωματιδίων ανά εκατομμύριο (ppm). Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα κάποιων πετρωμάτων σε ουράνιο είναι μεγαλύτερη των 1000 ppm, τότε θεωρείται προσοδοφόρα η εξόρυξή του και η χρήση του σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Στην κορυφή της αλυσίδας διάσπασης του ουρανίου βρίσκεται το U-238 το οποίο διασπάται και καταλήγει στο Pb-206, το οποίο είναι σταθερό. Ένα από τα παράγωγα της διάσπασης είναι το αέριο ραδόνιο, Radon-222, το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα όπου και συνεχίζει να διασπάται.

Το θόριο απαντάται στα πετρώματα σε παρόμοιες συγκεντρώσεις με αυτές του ουρανίου. Το Th-235 βρίσκεται στην κορυφή της αλυσίδας διάσπασης, της οποίας παράγωγο αποτελεί το Radon -220, ισότοπο του Radon-222.

Τα ραδιονουκλίδια του εδάφους παράγουν γάμμα ακτινοβολία στην οποία οι άνθρωποι εκτίθενται. Λόγο του ότι τα κτίρια κατασκευάζονται από υλικά τα οποία έχουν εξορυχθεί από την γη, αυτή η ακτινοβολία λαμβάνει χώρα τόσο στο περιβάλλον όσο και στο εσωτερικό των κτιρίων. Η δόση εξαρτάται τόσο από την σύσταση των πετρωμάτων μίας περιοχής όσο και από την σύσταση των δομικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των κτιρίων.

Ο μέσος όρος της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ η οποία προέρχεται από φυσική ακτινοβολία σε παγκόσμιο επίπεδο, ισούται με 0,5 mSv ανά έτος.

Ωστόσο, οι πραγματικές δόσεις ποικίλουν. Κάποιοι άνθρωποι εκτίθενται σε ακτινοβολία γάμμα ισοδύναμης δόσης κοντά στο μέσο όρο, ενώ σε κάποιες περιοχές του πλανήτη όπως η Kerala της Ινδίας, κάποιες περιοχές της Γαλλίας και της Βραζιλίας, στις οποίες η συγκέντρωση των πετρωμάτων σε ραδιονουκλίδια είναι πολύ μεγάλη, η ισοδύναμη δόση είναι μέχρι και 20 φορές μεγαλύτερη του παγκόσμιου μέσου όρου.

Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζεται η παγκόσμια μέση ετήσια δόση ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας προερχόμενης από φυσικές πηγές ακτινοβολίας.

Based on Table 1 of UNSCEAR 2000 Report to UN General Assembly

ΠΗΓΗ	ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΔΟΣΗΣ (mSv)	ΕΥΡΟΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΔΟΣΕΩΝ (mSv)
Κοσμική Ακτινοβολία	0.4	0.3–1.0
Ακτινοβολία γ	0.5	0.3–0.6
Εισπνοή ραδονίου	1.2	0.2–10
Εσωτερική Ακτινοβολία	0.3	0.2–0.8
ΣΥΝΟΛΟ	2.4	1.0–10

Σχήμα 1.10: Παγκόσμια μέση ετήσια ισοδύναμη δόση φυσικών πηγών ακτινοβολίας.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το επίπεδο ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων. Για την μελέτη του επιπέδου αυτού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του οργάνου μέτρησης το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των μετρήσεων.

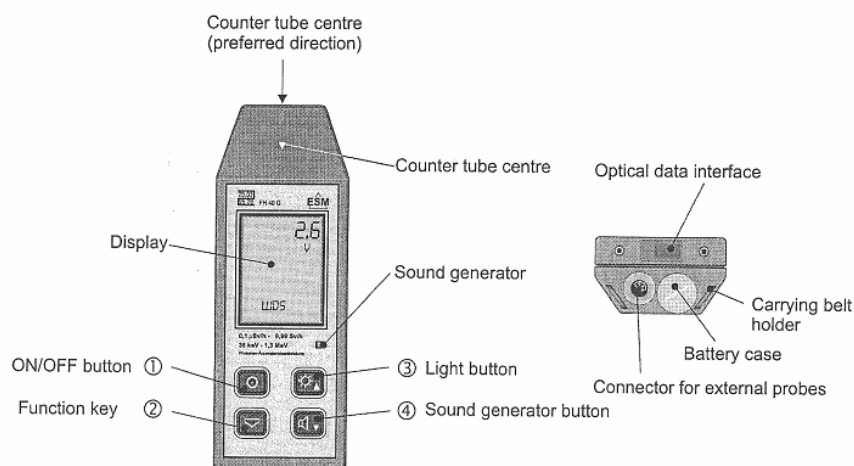
Το FH 40 G της εταιρίας THERMO ELECTRON CORPORATION είναι το όργανο το οποίο χρησιμοποιήθηκε και οι μετρήσεις πάρθηκαν σε μονάδες nSv/h.

2.1 Γενική Περιγραφή

Στην ενότητα αυτή γίνεται περιγραφή των βασικών εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται το όργανο μέτρησης. Τα εξαρτήματα αυτά είναι η αναλογική

λυχνία μέτρησης την οθόνη, τα κουμπιά ελέγχου λειτουργιών. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικού αισθητήρα.

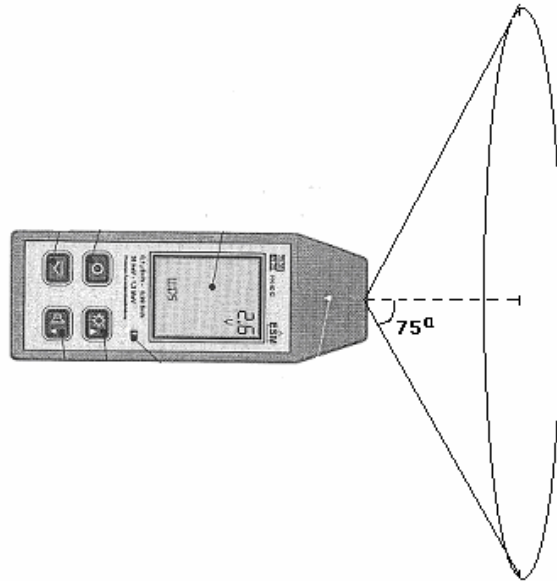
Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται τα βασικά εξαρτήματα του οργάνου, εξαιρουμένου του εξωτερικού αισθητήρα. Διακρίνεται η αναλογική λυχνία μέτρησης, τα 4 κουμπιά ελέγχου, η οθόνη και το σημείο σύνδεσης του εξωτερικού αισθητήρα.



Σχήμα 2.1: Βασικά εξαρτήματα του οργάνου μέτρησης.

Η αναλογική λυχνία μέτρησης χρησιμοποιείται για ανίχνευση ακτινοβολίας γ και για μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας. Η λυχνία βρίσκεται στο κέντρο και επάνω μέρος του οργάνου, μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολία η οποία βρίσκεται εντός κώνου 75° από το κέντρο της λυχνίας. Οι διαστάσεις της λυχνίας είναι 25mm μήκος και 25.8 mm διάμετρος.

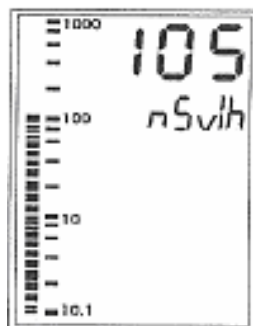
Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται ο κώνος 75° , μέσα στον οποίο η αναλογική λυχνία μέτρησης του οργάνου μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολία γ .



Σχήμα 2.2: Δυνατότητα ανίχνευσης ακτινοβολίας γ εντός κώνου 75° από το κέντρο της λυχνίας

Στην οθόνη του οργάνου απεικονίζονται οι μετρήσεις ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας σε μορφή αριθμού και σε μορφή μπάρας. Η μπάρα είναι σε λογαριθμική κλίμακα και ο συνδυασμός αυτών των δύο μορφών απεικόνισης επιτρέπει στον χρήστη να κάνει μία άμεση εκτίμηση των μετρήσεων. Στην οθόνη υπάρχουν επιπλέον ενδείξεις σχετικές με την κατάσταση του οργάνου, όπως τις μονάδες μέτρησης, το φορτίο των μπαταριών και διάφορα μηνύματα σφάλματος.

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται ο τρόπος απεικόνισης των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας του οργάνου. Στα αριστερά βρίσκεται η μπάρα σε λογαριθμική κλίμακα, στο επάνω μέρος της οθόνης η μέτρηση υπό μορφή αριθμού και κάτω από αυτό οι μονάδες μέτρησης.



Σχήμα 2.3: Η οθόνη του οργάνου μέτρησης.

Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε επιπλέον εξωτερικός αισθητήρας, ο FHZ 512, ο οποίος δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης πηγών γάμμα ακτινοβολίας σε μη προσβάσιμες περιοχές, καθώς μεταβάλλει την κλίμακα μέτρησης του οργάνου, επιτρέποντας την ακριβέστερη μέτρηση ασθενέστερων πηγών.

Στο σχήμα 2.4 δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν στην κλίμακα μέτρησης, στην ευαισθησία και στις διαστάσεις του εξωτερικού αισθητήρα.

Overview of the detector probes			
Name	Unit	FHZ 672E	FHZ 512
Order no.		42540/61	42540/32
Display range	cps μSv/h	0.01 - 100	0.01 - 100,000
Background	cps	≈ 80	≈ 20
Energy range	keV	> approximately 60	> approximately 30
Sensitivity for ¹³⁷ Cs	Cps/μSv/h	2,800	300
Probe type		plastic scintillation probe 750 cm ³	1" × 1" NaI scintillation probe
Photon radiation Overload		up to 100-fold	up to 10-fold
Dimensions	mm	Ø 110	Ø 48
Length	mm	410	332
Weight	kg	4.15	0.5
Operating time on FH 40 G with LR6 1.5V AA battery set	h	30	80
Supported from software version		2.2	1.18
Recommended software version from		2.42	2.31

Σχήμα 2.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512.

Το όργανο διαθέτει 21 επιμέρους λειτουργίες. Οι λειτουργίες αυτές επιλέγονται μέσω των τεσσάρων κουμπιών ελέγχου, με διάφορους συνδυασμούς ενεργοποίησης αυτών και αφορούν στον καθορισμό του ορίου της δόσης για το οποίο θα ηχήσει ηχητική σήμανση, στην αποθήκευση και ανακάλεση δεδομένων, στον υπολογισμό μέσων τιμών, στην επαναφορά στις εργοστασιακές ρυθμίσεις και στον υπολογισμό συνολικών τιμών ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ.

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται οι δυνατές λειτουργίες του οργάνου. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της λειτουργίας και στην δεύτερη μία σύντομη περιγραφή αυτής.

Overview of the available functions	
Function	Description
ALARM	Displaying the alarm threshold for the dose rate alarm
ALDOS	Displaying the alarm threshold for the dose alarm
DOSE	Displaying the dose since the last reset
MAX	Displaying the maximum dose rate value since power-up / reset
MEAN	Displaying the dose rate mean value since power-up / reset
MEM	Displaying the stored measured values; scrolling with the arrow keys
TIME	Displaying the time-of-day or the time elapsed since power-up
DATE	Displaying the set date or time
DOSCLR	Resetting the dose value
MAXCLR	Resetting the maximum value
MEANCLR	Resetting the mean value
MEMCLR	Resetting the measured data memory
SETAL	Setting the dose rate limit for the audible alarm
SETDO	Setting the dose limit for the audible alarm
TIMSET	Setting the measuring time for counter measurement
PRCNT	Setting number of impulses for counter measurement (min. 400 pulses)
START	Starting counter measurement; start/stop measurement via arrow keys
STORE	Storing measured values in the internal data memory
CAL672	Starting separating probe calibration (only avail. with separating probe)
SET AB	Setting α and β threshold (only available with separating probe)
SEND	In conjunction with optional radio data transfer

Σχήμα 2.5: Λειτουργίες του οργάνου μέτρησης.

2.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν στην κλίμακα μέτρησης, στις περιβαντολλογικές συνθήκες λειτουργίας του οργάνου, στις καταστάσεις λειτουργίας, στον χρόνο απόκρισης και στην στατιστική διακύμανση των μετρούμενων τιμών που δίνει ο κατασκευαστής του οργάνου.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι μονάδες μέτρησης της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας του οργάνου είναι nSv/h. Η κλίμακα του οργάνου, χωρίς την χρήση του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512, είναι από 100nSv/h μέχρι 1 Sv/h. Ωστόσο, το όργανο μπορεί να δεχθεί ακτινοβολία μέχρι και 100 Sv/h, χωρίς να υποστεί ζημιά, αρκεί η χρονική διάρκεια της έκθεσής του να είναι μικρή.

Η σύνδεση του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512, έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της κλίμακας του οργάνου. Έτσι σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ο εξωτερικός αισθητήρας FHZ 512, η κλίμακα του οργάνου είναι από 10nSv/h μέχρι 1 Sv/h, επιτρέποντας έτσι την μέτρηση ασθενέστερων από 100 nSv/h πηγών γάμμα ακτινοβολίας, όπου 100 nSv/h είναι το κατώτερο όριο της κλίμακας μέτρησης της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου.

ΠΕΡΙΒΑΝΤΟΛΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για την έκδοση ασφαλών αποτελεσμάτων μέτρησης ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας θα πρέπει το όργανο μέτρησης FH 40 G να λειτουργεί κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Το όργανο μέτρησης έχει σχεδιαστεί για χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Διαθέτει αδιάβροχο κάλυμμα και τα επίπεδα σχετικής υγρασίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι από 10% έως 90%. Το αντίστοιχο εύρος θερμοκρασιών περιβάλλοντος είναι από -30 ° C έως +55 ° C και η ατμοσφαιρική πίεση από 300 hPa έως 1300 hPa.

Η χρήση του οργάνου σε αρνητικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος αν και δεν επηρεάζεται η αναλογική λυχνία μέτρησης του οργάνου, έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό ποσότητας αέρα στο εσωτερικό του και την δυσλειτουργία των κουμπιών ελέγχου λειτουργιών.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (OPERATING MODES)

Το όργανο FH 40 G λειτουργεί ως εξής. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης μίας μέτρησης, πυροδοτούνται παλμοί από την αναλογική λυχνία μέτρησης με έναν συγκεκριμένο ρυθμό. Ο ρυθμός πυροδότησης των παλμών εξαρτάται από τον ρυθμό μεταβολής της μετρούμενης ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ.

Το όργανο διαθέτει δύο καταστάσεις λειτουργίας όσον αφορά στον τρόπο μέτρησης της γάμμα ακτινοβολίας, την κατάσταση ρυθμού μέτρου (Rate Meter Mode) και την κατάσταση υπολογισμού μέτρησης (Counter Measurement Mode).

Η διαφοροποίησή των δύο ανωτέρω καταστάσεων λειτουργίας έγκειται στον αριθμό των παλμών οι οποίοι πυροδοτούνται για την εκτέλεση της μέτρησης.

Αν χρησιμοποιηθεί η κατάσταση υπολογισμού μέτρησης, τότε υπολογίζεται από το όργανο είτε ο αριθμός των παλμών οι οποίοι πυροδοτήθηκαν μέσα σε ένα προκαθορισμένο από τον χρήστη χρονικό διάστημα, είτε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πυροδοτήθηκε ένας προκαθορισμένος από τον χρήστη αριθμός παλμών. Η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας υπολογίζεται από τις τιμές των ανώτερων παραμέτρων.

Ωστόσο, κατά την διακρίβωση του οργάνου εισάγονται προκαθορισμένοι αριθμοί παλμών και χρονικά διαστήματα, δηλαδή προκαθορισμένα δεδομένα τρόπου εκτέλεσης των μετρήσεων, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στον χρήστη την εκτέλεση μετρήσεων χρησιμοποιώντας αυτά τα προκαθορισμένα δεδομένα και απαλλάσσοντας τον από την ανάγκη ρύθμισης αυτών των δεδομένων. Ο αριθμός των παλμών, αλλά και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτοί πυροδοτούνται, ρυθμίζονται αυτόματα από το όργανο, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε επέμβαση από το χρήστη. Αυτή η κατάσταση λειτουργίας είναι η κατάσταση μέτρου ρυθμού και αποτελεί την προκαθορισμένη κατάσταση λειτουργίας του οργάνου από τον κατασκευαστή.

Ο αριθμός των παλμών που πρέπει να πυροδοτηθούν σχετίζεται με τον ρυθμό μεταβολής της έντασης της ακτινοβολίας την οποία δέχεται το όργανο, δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μεταβολής τόσο περισσότεροι παλμοί απαιτούνται για τον προσδιορισμό της τιμής της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ. Οι παλμοί αυτοί εμφανίζονται στην οθόνη του οργάνου υπό μορφή βέλους, η διεύθυνση του οποίου προσδιορίζει την διεύθυνση από την οποία το όργανο δέχεται ακτινοβολία.

Η κατάσταση υπολογισμού μέτρησης πλεονεκτεί έναντι της κατάστασης ρυθμού μέτρου, διότι με τον κατάλληλο καθορισμό είτε αριθμού παλμών, είτε χρονικού διαστήματος, παρέχονται ακριβέστερες μετρήσεις. Ωστόσο, οποιαδήποτε λάθος στον καθορισμό των ανωτέρω τιμών έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή σφάλματος κατά τις μετρήσεις. Για αυτό τον λόγο κατά την εκτέλεση των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, χρησιμοποιήθηκε η κατάσταση ρυθμού μέτρου.

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (RESPONSE TIME)

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ισοδύναμη δόση γάμμα ακτινοβολίας υπολογίζεται βάση των παλμών οι οποίοι πυροδοτούνται από την αναλογική λυχνία μέτρησης. Ο αριθμός των παλμών διά το χρόνο (ο ρυθμός πυροδότησης των παλμών) υπόκεινται σε στατιστικές διακυμάνσεις, οι οποίες αυξάνονται καθώς ο ρυθμός πυροδότησης μειώνεται.

Για τον καθορισμό της τελικής μετρούμενης τιμής, ο ρυθμός πυροδότησης εξομαλύνεται μέσω ενός ψηφιακού φίλτρου, το οποίο χαρακτηρίζεται από μία σταθερά χρόνου (time constant).

Η σταθερά αυτή εξαρτάται από τον ρυθμό πυροδότησης των παλμών καθώς το ψηφιακό φίλτρο ρυθμίζει την σταθερά χρόνου αυτόματα, ανάλογα με τον ρυθμό πυροδότησης των παλμών. Η ρύθμιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την

ύπαρξη χρόνου απόκρισης του οργάνου (Response Time), την ύπαρξη δηλαδή ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος μεταξύ της έναρξης λειτουργίας του οργάνου και την λήψη των πρώτων μετρήσεων.

Οι τιμές του χρόνου απόκρισης ανάλογα με την ισοδύναμη δόση παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6. Στην πρώτη στήλη φαίνεται η ισοδύναμη δόση σε $\mu\text{Sv/h}$ που αντιστοιχεί στην αναλογική λυχνία μέτρησης που βρίσκεται στο όργανο μέτρησης. Στην δεύτερη στήλη φαίνεται η δόση αυτή σε cps που αντιστοιχεί στον εξωτερικό αισθητήρα και στην τρίτη στήλη παρουσιάζεται ο απαιτούμενος χρόνος απόκρισης.

Response time as a function of the dose rate		
Change of dose rate		Response time
Internal detector [$\mu\text{Sv/h}$]	External probe [cps]	[s]
0 – 1	0 - 2	60
0 – 3	0 - 6	30
0 – 10	0 – 20	3
0 – 30	0 – 60	3
0 – 100	0 – 200	3
0 – 300	0 – 600	3
0 – 1000	0 – 2,000	3
0 – 3000	0 – 6,000	3
0 – 10000	0 – 20,000	2
0 – 30000	0 – 60,000	2
0 – 100000	0 – 100,000	2
0 – 300000		2
0 – 1000000		2

Σχήμα 2.6: Ο χρόνος απόκρισης συναρτήσει της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας.

Για την εκτέλεση των μετρήσεων της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο μέγιστος χρόνος απόκρισης, δηλαδή 60 δευτερόλεπτα.

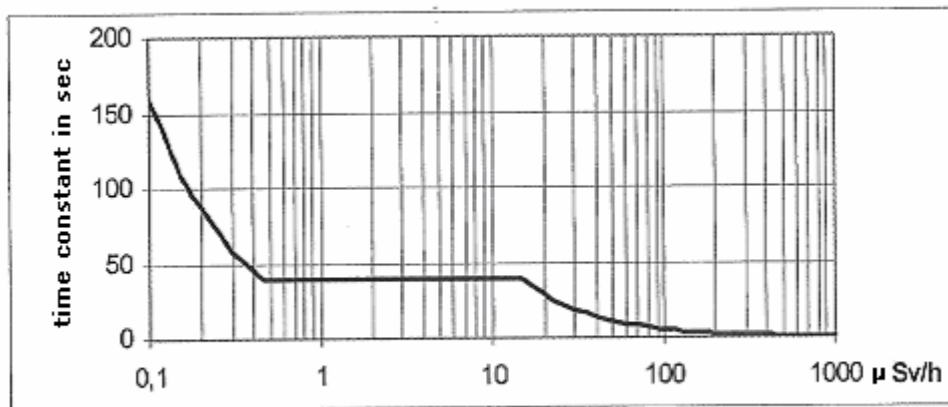
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΤΙΜΩΝ

Οι μετρούμενες τιμές παρουσιάζουν διακύμανση. Η διακύμανση αυτή, είναι αντιστρόφως ανάλογη της μετρούμενης δόσης, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η μετρούμενη ισοδύναμη δόση γάμμα ακτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση των μετρούμενων τιμών.

Για τον περιορισμό της διακύμανσης αυτής και την εκτέλεση ακριβέστερων μετρήσεων, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των μέσων τιμών των επιμέρους μετρήσεων που εκτελέστηκαν. Η χρονική διάρκεια κάθε μέτρησης εξαρτάται από την σταθερά χρόνου απόσβεσης (damping time constant) του οργάνου, η τιμή της οποίας εξαρτάται από την τιμή της ισοδύναμης δόσης.

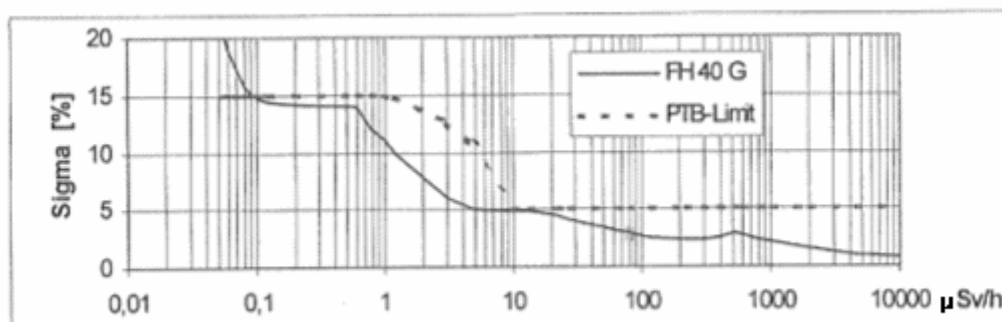
Συγκεκριμένα, η χρονική διάρκεια κάθε μέτρησης πρέπει να είναι διπλάσια της σταθεράς χρόνου απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη μετρούμενη ισοδύναμη δόση.

Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η σταθερά χρόνου απόσβεσης συναρτήσει της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ . Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η σταθερά χρόνου απόσβεσης, ενώ στον οριζόντιο άξονα η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας σε λογαριθμική κλίμακα. Η μέγιστη τιμή της σταθεράς χρόνου απόσβεσης προκύπτει για την μικρότερη τιμή ισοδύναμης δόσης και ισούται με 160 δευτερόλεπτα, επομένως η αντίστοιχη απαιτούμενη χρονική διάρκεια της μέτρησης ισούται με 320 δευτερόλεπτα. Η χρονική διάρκεια κάθε μέτρησης της παρούσας εργασίας ισούταν με 360 δευτερόλεπτα, δηλαδή 6 λεπτά.



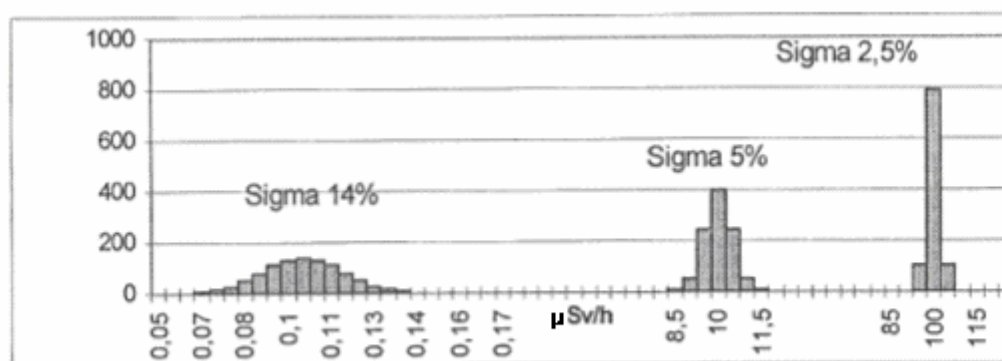
Σχήμα 2.7: Η σταθερά απόσβεσης συναρτήσει της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας.

Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται η σχετική τυπική απόκλιση (relative standard deviation) του οργάνου συναρτήσει της τιμής της μετρούμενης ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας. Παρατηρούμε ότι για το κατώτερο όριο της κλίμακας μέτρησης του οργάνου προκύπτει σχετική τυπική απόκλιση ίση με 15%.



Σχήμα 2.8: Σχετική τυπική απόκλιση των μετρούμενων τιμών συναρτήσει της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας.

Στο σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η σχετική τυπική απόκλιση λόγω διασποράς των τιμών μέτρησης, όπως προκύπτει από την εκτέλεση 1000 μετρήσεων, για τιμές ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, 10 $\mu\text{Sv/h}$ και 100 $\mu\text{Sv/h}$, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.9: Η σχετική τυπική απόκλιση 1000 τιμών μέτρησης, για τιμές ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, 10 $\mu\text{Sv/h}$ 5% και 100 $\mu\text{Sv/h}$, αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι για τιμή ισοδύναμης δόσης ίσης με 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, η σχετική τυπική απόκλιση η οποία προκύπτει ισούται με 14%, για 10 $\mu\text{Sv/h}$ 5% και για 100 $\mu\text{Sv/h}$ 2,5%. Η εν λόγω σχετική τυπική απόκλιση οφείλεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου οργάνου και η ύπαρξή της έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή σφάλματος κατά την μέτρηση, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από την τιμή της μετρούμενης ισοδύναμης δόσης. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ισοδύναμης δόσης, τόσο πιο μικρή είναι η διακριτική ικανότητα του οργάνου και συγκεκριμένα της αναλογικής λυχνίας μέτρησης, με αποτέλεσμα τόσο πιο μεγάλο να είναι το σφάλμα κατά την μέτρηση.

Η χρήση του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διακριτικής ικανότητας του οργάνου, επιτρέποντας την εκτέλεση μετρήσεων σε επίπεδα γάμμα ακτινοβολίας μέχρι και 0,01 $\mu\text{Sv/h}$, δηλαδή 10 φορές μικρότερη τιμή ισοδύναμης δόσης. Η μείωση του κατώτερου ορίου της κλίμακας μέτρησης του οργάνου έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή μικρότερου σφάλματος κατά τις μετρήσεις, διότι ενώ το κατώτερο όριο της κλίμακας των μετρήσεων μεταβάλλεται από 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ σε 0,01 $\mu\text{Sv/h}$, οι μετρήσεις που εκτελέστηκαν είναι της τάξης των 0,1 $\mu\text{Sv/h}$.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η πειραματική μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή Ακρωτηρίου Χανίων. Αναφέρονται οι επιμέρους τοποθεσίες της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων στις οποίες εκτελέστηκαν μετρήσεις, τα κριτήρια επιλογής αυτών καθώς και οι συνθήκες εκτέλεσης των μετρήσεων.

3.1 Τοποθεσίες Μέτρησης

Οι μετρήσεις ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας, προερχόμενης από την φυσική ακτινοβολία του υπεδάφους, που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, εκτελέστηκαν συνολικά σε 23 τοποθεσίες της υπό μελέτης περιοχής.

Η επιλογή των τοποθεσιών μέτρησης έγινε με γνώμονα τα παρακάτω κριτήρια:

1. Επαρκής κάλυψη περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.
2. Ύπαρξη ελληνικών και ξένων στρατιωτικών εγκαταστάσεων.
3. Ύπαρξη χωματερής.
4. Ύπαρξη λατομείου.
5. Οικιστική ανάπτυξη.
6. Δυνατότητα πρόσβασης.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια οι τοποθεσίες οι οποίες επιλέχθηκαν είναι οι εξής:

1. Στέρνες
2. Μαράθι
3. Λουτράκι
4. Βάνες επί του επαρχιακού δρόμου που συνδέει τις Στέρνες με τον Μουζουρά
5. Διασταύρωση επαρχιακών δρόμων Κουρουπιτού και Περιβολίτσας
6. Κουρουπιτός
7. Μουζουράς
8. Ριζόσκλοκο
9. Χωρδάκι
10. Λατομείο
11. Παζινός

12. Καθιανά
13. Ι.Μ.Αγίου Γουβερνέτου
14. Διασταύρωση για Άγιο Αντώνιο πλησίον Κουμαρές
15. Καλόρρουμα
16. Χωραφάκια
17. Σταυρός
18. Ρέμα Καλαθά
19. Καμπάνι
20. Άγιος Ονούφριος
21. Κουνουπιδιανά
22. Τάφοι Βενιζέλων
23. Πιθάρι

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι ανωτέρω περιοχές και η διάταξή τους πάνω στο χάρτη του Ακρωτηρίου Χανίων.



Σχήμα 3.1: Χάρτης Ακρωτηρίου Χανίων με τις θέσεις μετρήσεων.

Επισημαίνεται ότι στον Κουρουπιτό βρίσκεται η χωματερή της πόλης των Χανίων και ότι στις Στέρνες, Μουζουρά, Μαράθι και Λουτράκι, βρίσκονται στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

3.2 Συνθήκες Εκτέλεσης Μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή γίνεται περιγραφή των συνθηκών εκτέλεσης των μετρήσεων, δηλαδή η χρονική διάρκεια εκτέλεσης αυτών και οι περιβαντολλογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την εκτέλεση τους. Επιπλέον γίνεται κατηγοριοποίηση των μετρήσεων σε κύκλους ανάλογα με το χρονικό διάστημα στο οποίο πάρθηκαν και παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού τους.

Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 207 μετρήσεις ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας, αποτελούμενες από τρεις κύκλους μετρήσεων. Σε κάθε μία δηλαδή από τις 23 μετρούμενες περιοχές, πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι μετρήσεων (Α, Β και Γ).

Ο κάθε κύκλος μέτρησης πραγματοποιήθηκε διαφορετική ημερομηνία από τους υπόλοιπους, με σκοπό την μείωση της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων, οι οποίοι δύνανται να επηρεάσουν τις τιμές των μετρήσεων (πχ κοσμική ακτινοβολία). Οι τρεις κύκλοι μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν μέσα σε χρονικό διάστημα 2 μηνών και συγκεκριμένα από τις αρχές Νοεμβρίου 2005, έως τα τέλη Δεκεμβρίου 2005.

Όλες οι μετρήσεις πάρθηκαν πρωινές και μεσημεριανές ώρες, μεταξύ 09:00 και 14:00, δηλαδή κατά την διάρκεια της ημέρας που η γη δέχεται τις μεγαλύτερες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνοντας επομένως τα επίπεδα γάμμα ακτινοβολίας. Ωστόσο, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο, όπου λόγω της σχετικής θέσης της Γης ως προς τον Ήλιο, η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας (κοσμική ακτινοβολία) στα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι μικρή.. Επιπλέον, λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας της ημέρας, του ότι όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε εξωτερικούς χώρους και ότι αρκετές από αυτές πραγματοποιήθηκαν σε απομακρυσμένες περιοχές, ήταν αδύνατη η εκτέλεσή τους κατά τις απογευματινές ώρες.

Επισημαίνεται, ότι αν και μετρήθηκε η ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας γάμμα, η οποία προέρχεται από την φυσική ακτινοβόληση του υπεδάφους, είναι αδύνατη η απομόνωση του οργάνου από κάθε άλλη πηγή ακτινοβολίας γάμμα πέραν του υπεδάφους, λόγω του ότι η αναλογική λυχνία μέτρησης του οργάνου ανιχνεύει ακτινοβολία γάμμα η οποία προέρχεται από οποιαδήποτε

πηγή, εφόσον η πηγή αυτή βρίσκεται εντός κώνου γωνίας 75° από το κέντρο της λυχνίας.

Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή της μέτρησης διαφορετικών, πέραν του υπεδάφους, πηγών κατά τις μετρήσεις, δύναται να περιοριστεί, χωρίς όμως να εκλείψει, μέσω της τοποθέτησης του οργάνου και του εξωτερικού αισθητήρα σε κατάλληλη σχετική γωνία ως προς το έδαφος.

3.3 Περιγραφή Εκτέλεσης των Μετρήσεων

Όπως προαναφέρθηκε συνολικά πραγματοποιήθηκαν 207 μετρήσεις ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας. Σε κάθε μία από τις μετρούμενες τοποθεσίες της υπό μελέτης περιοχής, πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι μετρήσεων. Κάθε κύκλος μετρήσεων πραγματοποιήθηκε διαφορετική ημέρα ή μήνα από τους υπόλοιπους δύο, δηλαδή κάθε μία από τις εν λόγω τοποθεσίες μετρήθηκε τρεις διαφορετικές ημέρες του χρόνου. Οι μετρήσεις αυτές από δω και στο εξής θα αναφέρονται ως μετρήσεις κύκλου.

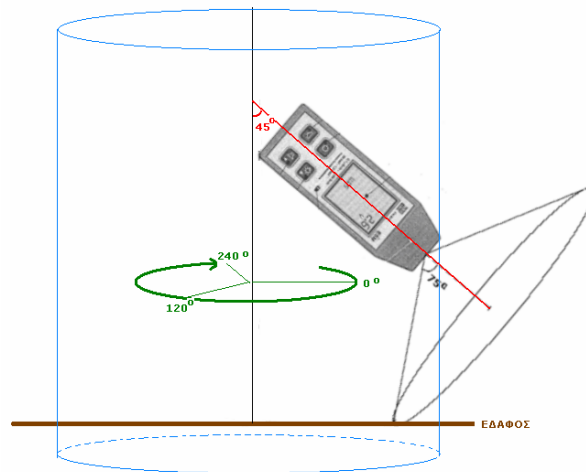
Σε κάθε μία από τις 23 μετρούμενες τοποθεσίες και σε κάθε κύκλο μέτρησης (Α, Β και Γ), πραγματοποιήθηκαν επίσης τρεις επιμέρους μετρήσεις, οι οποίες εκτελέστηκαν την ίδια ημέρα του έτους. Δηλαδή η μέτρηση κύκλου κάθε τοποθεσίας αποτελείται από τρεις επιμέρους μετρήσεις. Οι μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στον ίδιο κύκλο μετρήσεων, από δω και στο εξής θα αναφέρονται ως επιμέρους μετρήσεις.

Συνοψίζοντας, σε κάθε μετρούμενη τοποθεσία πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι μετρήσεων, σε κάθε έναν από τους οποίους εκτελέστηκαν τρεις επιμέρους μετρήσεις, δηλαδή σε κάθε μετρούμενη τοποθεσία πραγματοποιήθηκαν συνολικά 9 επιμέρους μετρήσεις. Λόγω του ότι οι μετρούμενες περιοχές της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων είναι 23, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 207 (23×9) επιμέρους μετρήσεις. Η τιμή μέτρησης κύκλου κάθε μετρούμενης τοποθεσίας, αποτελεί τον μέσο όρο των τριών επιμέρους μετρήσεων του ίδιου κύκλου που εκτελέστηκαν στην εν λόγω τοποθεσία.

Κατά την εκτέλεση των επιμέρους μετρήσεων, η σχετική θέση του εξωτερικού αισθητήρα και της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου ως προς το κάθετο στο έδαφος επίπεδο, ήταν με φορά προς το έδαφος και με σχετική γωνία περίπου 45° . Η τοποθέτηση αυτή του οργάνου έγινε με σκοπό την μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από την φυσική ακτινοβολία του υπεδάφους και την ελαχιστοποίηση της επίδρασης άλλων πηγών ακτινοβολίας πέραν του υπεδάφους.

Η θέση του εξωτερικού αισθητήρα και της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου στο παράλληλο στο έδαφος επίπεδο, μεταβάλλονταν σε κάθε επιμέρους μέτρηση του ιδίου κύκλου, με σκοπό την κάλυψη περιοχής 360° . Δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων του ιδίου κύκλου, η θέση του οργάνου μεταβάλλονταν κατά 120° .

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η σχετική θέση του οργάνου στο οριζόντιο και ως προς το κάθετο στο έδαφος επίπεδο. Το όργανο βρίσκεται σε σταθερή γωνία 45° με φορά προς το έδαφος και ταυτόχρονα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα ο οποίος διέρχεται από την βάση του οργάνου και τέμνει κάθετα το έδαφος. Παρατηρούμε ότι η εν λόγω θέση του οργάνου καθορίζει την περιοχή κάλυψης κάθε μετρούμενης τοποθεσίας.



Σχήμα 3.2: Η σχετική θέση του οργάνου στο οριζόντιο και ως προς το κάθετο επίπεδο στο έδαφος.

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, λόγω της ύπαρξης του χρόνου απόκρισης του οργάνου, από την στιγμή εκκίνησης λειτουργίας του μέχρι την εκτέλεση της πρώτης επιμέρους μέτρησης κάθε κύκλου μεσολαβούσε χρονικό διάστημα ίσο με 60 sec, το οποίο αντιστοιχεί στον μέγιστο χρόνο απόκρισης του οργάνου. Επιλέχθηκε ο μέγιστος χρόνος απόκρισης που αναφέρεται στις οδηγίες χρήσης του οργάνου, διότι καθώς ο χρόνος αυτός εξαρτάται από την τιμή της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας (όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτή τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος απόκρισης του οργάνου), η επιλογή του μέγιστου χρόνου απόκρισης εξασφαλίζει την εκτέλεση ακριβέστερων μετρήσεων, καθώς η τιμή της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας δεν ήταν γνωστή προτού μετρηθεί.

Για την εκτέλεση των υπόλοιπων δύο επιμέρους μετρήσεων του ιδίου κύκλου, δεν ήταν απαραίτητη η μεσολάβηση του εν λόγω χρονικού διαστήματος καθώς δεν διακόπτονταν η λειτουργία του οργάνου.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η χρονική διάρκεια κάθε επιμέρους μέτρησης εξαρτάται από την σταθερά χρόνου απόσβεσης (damping time constant) του οργάνου, η τιμή της οποίας εξαρτάται από την τιμή της ισοδύναμης δόσης. Συγκεκριμένα, η χρονική διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είναι διπλάσια της σταθεράς χρόνου απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη μετρούμενη ισοδύναμη δόση. Σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του οργάνου, η σταθερά χρόνου απόσβεσης του οργάνου η οποία αντιστοιχεί στην μικρότερη δυνατή ανιχνεύσιμη ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας γάμμα ισούται με 160 δευτερόλεπτα, επομένως ο χρονική διάρκεια κάθε επιμέρους μέτρησης ισούταν με 320 δευτερόλεπτα, όπου για λόγους στρογγυλοποίησης λήφθηκε 360 δευτερόλεπτα (6 λεπτά).

Κατά την διάρκεια των 360 δευτερολέπτων κάθε επιμέρους μέτρησης, λήφθηκαν έξι μετρήσεις, μία κάθε λεπτό, ο μέσος όρος των οποίων καθόρισε την τιμή της επιμέρους μέτρησης. Σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του οργάνου αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διακύμανση των μετρούμενων τιμών. Κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, η τιμή της κάθε επιμέρους μέτρησης υπολογίζονταν επί τόπου από τον μέσο όρο των 6 συνολικά εκτελεσθέντων μετρήσεων, με την βοήθεια υπολογιστή τσέπης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων. Επίσης γίνεται στατιστική επεξεργασία των μετρούμενων τιμών προκειμένου να καθοριστούν οι βασικές στατιστικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την κατανομή τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται και υπό μορφή γραφημάτων, συνολικά για όλη την περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων αλλά και για κάθε μετρούμενη τοποθεσία ξεχωριστά.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συνολικά οι μετρούμενες τιμές όλων των τοποθεσιών μέτρησης, εκφρασμένες σε μονάδες nSv/h. Στην δεύτερη στήλη του πίνακα αναγράφονται οι τοποθεσίες μέτρησης. Στην τρίτη, τέταρτη και πέμπτη στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιμέρους μετρήσεων του Α κύκλου μέτρησης. Αντίστοιχα στην έκτη, έβδομη και όγδοη στήλη τα αποτελέσματα του Β κύκλου μέτρησης και στις υπόλοιπες στήλες τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Γ κύκλου μέτρησης.

Στην πρώτη στήλη κάθε κύκλου μέτρησης αναγράφονται τα αποτελέσματα της πρώτης επιμέρους μέτρησης του συγκεκριμένου κύκλου, στην δεύτερη στήλη αναγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της δεύτερης επιμέρους μέτρησης και στην τρίτη στήλη τα αποτελέσματα της τρίτης επιμέρους μέτρησης. Σε κάθε τοποθεσία μέτρησης αντιστοιχούν 9 επιμέρους μετρήσεις.

Α/Α	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Α ΚΥΚΛΟΣ			Β ΚΥΚΛΟΣ			Γ ΚΥΚΛΟΣ		
		A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)	A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)	A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)
1	ΣΤΕΡΝΕΣ	64,3	62,3	63,9	63,4	68,7	65,9	70,1	63,9	50,4
2	ΜΑΡΑΘΙ	123	75,4	61,6	70,1	53,2	65,3	67	64,1	59,7
3	ΛΟΥΤΡΑΚΙ	85,6	90	89,5	115	66,4	66,9	66,5	59,8	80,1
4	ΒΑΝΕΣ	63,5	66,1	75,6	63,3	87,3	62,4	66,8	65,2	72,5
5	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΓΙΑ ΚΟΥΡΟΥΠΙΤΟ	84,9	75,1	85,1	53,2	49,4	71,5	61,9	85,4	62,5
6	ΚΟΥΡΟΥΠΙΤΟΣ	74,3	120	82,5	67,6	61	57,4	75,5	65,1	74,2
7	ΜΟΥΖΟΥΡΑΣ	103	76,3	107	51,3	66,3	102	65,2	60,9	75,4
8	ΡΙΖΟΣΚΛΟΚΟ	70,9	77,3	103	66,5	54,2	53,2	62,5	62	69,9
9	ΧΩΡΔΑΚΙ	64,6	92,7	77	55,7	62,3	61,6	72,8	49,5	73,1

Α/Α	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΜΕΤΡΗΣΗ								
		A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)	A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)	A (nS/h)	B (nS/h)	Γ (nS/h)
10	ΛΑΤΟΜΕΙΟ	83,6	93,1	61,9	69,1	58,9	48,6	65,9	64,5	71
11	ΠΑΖΙΝΟΣ	50,9	54	77,2	67,2	62,4	59,7	57,6	67,8	78,8
12	ΚΑΘΙΑΝΑ	54,5	78,3	58,3	60,8	56,9	61,6	56,8	87,8	90,6
13	Μ.ΑΓ.ΓΟΥΒΕΡΝΕΤΟΥ	74,2	80,3	72,6	51,3	67,8	150	71,2	67,4	70,6
14	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΓΙΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟ	78,5	59,2	70,2	78,2	71	78,1	63,7	79,3	97,6
15	ΚΑΛΟΡΡΟΥΜΑ	84,5	53,8	55,4	83,1	54	76,3	70,4	65,8	75,5
16	ΧΩΡΑΦΑΚΙΑ	61	61,3	67,7	60,2	56,6	61,5	62,9	87	60,7
17	ΣΤΑΥΡΟΣ	73,2	53,2	62,9	54,1	48	76,7	52,5	70,8	54,4
18	ΡΕΜΑ ΚΑΛΑΘΑ	53,2	69,9	67	71	66,4	101	57,7	58,6	51,8
19	ΚΑΜΠΑΝΙ	68,2	63,5	74,6	66,5	61,5	138	68,8	62,5	93,4
20	ΑΓ. ΟΝΟΥΦΡΙΟ	81,5	62,9	69,2	69,4	59,1	54,2	70,5	62,4	65,9
21	ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΑ	60,6	73,7	62,7	68,6	58,5	73,5	63,3	54,4	60,6
22	ΤΑΦΟΙ ΒΕΝΙΖΕΛΩΝ	52,4	68,8	68,7	47,5	51,6	60,6	65,2	64,2	67,7
23	ΠΙΘΑΡΙ	60,5	72,5	67,4	66,5	66,3	66,5	63,2	80,5	53,9

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα μετρήσεων περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.

4.1 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή γίνεται στατιστική επεξεργασία των μετρούμενων τιμών, προκειμένου να υπολογισθούν οι βασικές στατιστικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την κατανομή των μετρούμενων τιμών.

Το πρώτο στάδιο της στατιστικής ανάλυσης αποτελεί η κατάλληλη κατάταξη και η συστηματική ομαδοποίηση των μετρήσεων. Η ομαδοποίηση αυτή επιτυγχάνεται με την κατασκευή ειδικών κατατάξεων οι οποίες ονομάζονται κατανομές συχνοτήτων. Οι μετρήσεις της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας που πραγματοποιήθηκαν αποτελούν συνεχή μεταβλητή, καθώς η κάθε μέτρηση (μεταβλητή) δύναται να λάβει οποιαδήποτε τιμή στο σύνολο των θετικών πραγματικών αριθμών.

Όλο το εύρος μετρήσεων (έκταση της μεταβολής) διαιρείται σε ίσο αριθμό διαδοχικών διαστημάτων (τάξεις) και σε κάθε τάξη τοποθετείται το πλήθος των μετρήσεων (f_i) που περιέχονται σε αυτή.

Χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής συχνοτήτων αποτελούν τα όριά της (κατώτερο x_{i-1} και ανώτερο x_i), το πλάτος (δ) το οποίο αποτελεί την διαφορά του ανώτερου και κατώτερου ορίου και η κεντρική τιμή τάξης (x_0), γύρω από την οποία θεωρούμε ότι συγκεντρώνονται οι μετρήσεις κάθε τάξης.

Στην παρούσα εργασία λήφθηκαν συνολικά 11 τάξεις, πλάτους 10 μονάδων (nSv/h). Η κατανομή συχνοτήτων παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2

ΤΑΞΕΙΣ (nSv/h)	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ f_i	ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ x_i
45-55	28	50
55-65	62	60
65-75	67	70
75-85	27	80
85-95	12	90
95-105	5	100
105-115	1	110
115-125	3	120
125-135	0	130
135-145	1	140
145-155	1	150

Πίνακας 4.2: Κατανομή συχνοτήτων των μετρούμενων τιμών ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.

Στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι τάξεις των μετρούμενων τιμών ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ . Κάθε τάξη έχει πλάτος 10nSv/h. Στην δεύτερη στήλη παρουσιάζεται η συχνότητα, δηλαδή το πλήθος των μετρήσεων που ανήκουν στην συγκεκριμένη τάξη. Στην τρίτη στήλη παρουσιάζεται η κεντρική τιμή κάθε τάξης.

4.1.1 Μέσοι Κεντρικής Τάσης

Στην ενότητα αυτή γίνεται υπολογισμός των μέσων κεντρικής τάσης της κατανομής των μετρούμενων τιμών.

Οι παράμετροι αυτοί ορίζουν το σημείο γύρω από το οποίο συσσωρεύονται οι διάφορες τιμές ενός πληθυσμού και βρίσκονται στο κέντρο μιας σειράς παρατηρήσεων, εφόσον ο πληθυσμός παρουσιάζει ομοιογένεια.

Αντικειμενικός σκοπός αυτών των παραμέτρων είναι να αντιπροσωπεύουν ένα πληθυσμό από την άποψη μίας μεταβλητής με απλό τρόπο. Οι κυριότεροι παράμετροι κεντρικής τάσης είναι ο μέσος αριθμητικός, ο μέσος γεωμετρικός και ο μέσος αρμονικός.

ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ

Ο μέσος αριθμητικός εκφράζει την μέση αριθμητική τιμή μιας κατανομής και για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\mu = \frac{\sum f_i * x_i}{\sum f_i} \quad (4.1)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, ο μέσος αριθμητικός (μ) ισούται με 69,13 nSv/h.

ΜΕΣΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ

Ο μέσος γεωμετρικός για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\log G = \frac{\sum f_i \log x_i}{\sum f_i} \quad (4.2)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, ο μέσος γεωμετρικός (G) ισούται με 67,61 nSv/h.

ΜΕΣΟΣ ΑΡΜΟΝΙΚΟΣ

Ο μέσος αρμονικός για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H = \frac{\sum f_i}{\sum \left(\frac{f_i}{x_i}\right)} \quad (4.3)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, ο μέσος αρμονικός (H) ισούται με 66,36 nSv/h.

4.1.2 Παράμετροι Κεντρικής Θέσης

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται οι παράμετροι κεντρικής θέσης της κατανομής των μετρούμενων τιμών. Οι κυριότεροι παράμετροι κεντρικής θέσης είναι η διάμεσος, το πρώτο τεταρτημόριο, το τρίτο τεταρτημόριο και η επικρατούσα τιμή.

ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Αν οι τιμές μίας μεταβλητής τοποθετηθούν κατά φυσική αύξουσα τάξη μεγέθους, τότε διάμεσος τιμή ονομάζεται η στατιστική εκείνη παράμετρος η οποία χωρίζει τις τιμές της μεταβλητής σε δύο ίσες ομάδες, δηλαδή το 50% των τιμών της μεταβλητής είναι μικρότερο ή ίσο με την τιμή της διαμέσου και το άλλο 50% είναι μεγαλύτερο ή ίσο με αυτή.

Η διάμεσος για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M = a_{i-1} + \frac{\delta}{f_i} \left(\frac{N}{2} - F_{i-1} \right) \quad (4.4)$$

Όπου N είναι ο αριθμός των μετρήσεων, F_i η δεξιόστροφη αθροιστική σειρά των συχνοτήτων της τάξης i και a_{i-1} το κατώτερο όριο της τάξης i.

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, η διάμεσος (M) ισούται με 67,01 nSv/h.

ΠΡΩΤΟ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ

Είναι η τιμή εκείνη της μεταβλητής κάτω από την οποία βρίσκεται το 25% του συνόλου των παρατηρήσεων και επάνω από αυτή το 75% των παρατηρήσεων.

Το πρώτο τεταρτημόριο για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_1 = a_{i-1} + \frac{\delta}{f_i} \left(\frac{N}{4} - F_{i-1} \right) \quad (4.5)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, το πρώτο τεταρτημόριο (Q_1) ισούται με 58,83 nSv/h.

ΤΡΙΤΟ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ

Είναι η τιμή εκείνη της μεταβλητής κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% του συνόλου των παρατηρήσεων και επάνω από αυτή το 25% των παρατηρήσεων.

Το τρίτο τεταρτημόριο για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_3 = a_{i-1} + \frac{\delta}{f_i} \left(\frac{3N}{4} - F_{i-1} \right) \quad (4.6)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, το τρίτο τεταρτημόριο (Q_3) ισούται με 74,74 nSv/h.

ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ

Επικρατούσα τιμή ονομάζεται εκείνη η τιμή της μεταβλητής που παρουσιάζει την μεγαλύτερη συχνότητα.

Η επικρατούσα τιμή για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_0 = a_{i-1} + \frac{\Delta_1 \cdot \delta}{\Delta_2 + \Delta_1} \quad (4.7)$$

Όπου a_{i-1} είναι το κατώτερο όριο της τάξης στην οποία ανήκει ο μεγαλύτερος αριθμός συχνοτήτων, Δ_1 είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης συχνότητας και της προηγούμενης και Δ_2 είναι η διαφορά της μέγιστης συχνότητας και της επόμενης.

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, η επικρατούσα τιμή (M_0) ισούται με 66,11 nSv/h.

4.1.3 Διασπορά

Οι στατιστικές παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν ως αντικειμενικό σκοπό να αντιπροσωπεύσουν έναν πληθυσμό με μία μόνο παράμετρο, η οποία μας δίνει το σημείο στο οποίο τείνουν να συγκεντρωθούν οι τιμές της μεταβλητής την οποία ερευνούμε.

Οι εν λόγω στατιστικές παράμετροι περιγράφουν επαρκώς τον πληθυσμό μόνο στην περίπτωση που αυτός παρουσιάζει ομοιογένεια. Σε αντίθεση περίπτωση είναι αναγκαία η μελέτη της διασποράς που παρουσιάζουν οι μεταβλητές, δηλαδή του βαθμού κατά τον οποίο οι διάφορες τιμές ενός πληθυσμού τείνουν να είναι διεσπαρμένες γύρω από τον μέσο αριθμητικό.

Η παράμετρος που μας πληροφορεί αν οι τιμές των παρατηρήσεων είναι συγκεντρωμένες ή διασκορπισμένες γύρω σε σχέση με τον μέσο αριθμητικό, ονομάζεται διασπορά ή διακύμανση.

Τα μέτρα διασποράς τα οποία χρησιμοποιούνται στην Στατιστική είναι: Το εύρος μεταβολής, το ημιενδοτεταρτημοριακό εύρος, η μέση απόκλιση, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητικότητας.

ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

Είναι η παράμετρος που μας δίνει τη διαφορά ανάμεσα στην μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή της σειράς παρατηρήσεων.

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, το εύρος μεταβολής (R) ισούται με 102,5 nSv/h.

ΗΜΙΕΝΔΟΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ

Η παράμετρος αυτή ορίζεται ως το ημιάθροισμα της διαφοράς μεταξύ τρίτου και πρώτου τεταρτημόριου, δηλαδή:

$$Q = \frac{Q_3 - Q_1}{2} \quad (4.8)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, το ημιενδοτεταρτομοριακό εύρος (Q) ισούται με 7,96 nSv/h.

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του Q τόσο μεγαλύτερη είναι συγκέντρωση των τιμών της μεταβλητής. Το ημιενδοτεταρτημοριακό εύρος δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές.

ΜΕΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Η μέση απόκλιση ορίζεται ως ο μέσος αριθμητικός όλων των διαφορών των τιμών μιας μεταβλητής από το μέσο αριθμητικό της μεταβλητής αυτής.

Η μέση απόκλιση για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M \cdot A = \frac{\sum f_i |x_i - \mu|}{\sum f_i} \quad (4.9)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, η μέση απόκλιση (M A) ισούται με 10,64 nSv/h.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Ο μέσος αριθμητικός των τετραγώνων των αποκλίσεων ονομάζεται διακύμανση και συγκεκριμένα αποτελεί τον μέσο αριθμητικό των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών των παρατηρήσεων από τον αριθμητικό μέσο.

Η διακύμανση για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma^2 = \frac{\sum f_i (x_i - \mu)^2}{\sum (f_i - 1)} \quad (4.10)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, η διακύμανση (σ^2) ισούται με 253,28 (nSv/h)².

Παρατηρούμε ότι η διακύμανση εκφράζεται σε μονάδες, οι οποίες είναι τα τετράγωνα των αρχικών μονάδων. Για να έχουμε όμως έναν δείκτη ο οποίος να μετράει την διασπορά και να εκφράζεται στις ίδιες μονάδες με την μεταβλητή μας, παίρνουμε την τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης, η οποία ονομάζεται τυπική απόκλιση και αποτελεί το μέτρο της διασποράς που χρησιμοποιείται κυρίως στην πράξη.

Η τυπική απόκλιση για την περίπτωση κατανομής συχνοτήτων συνεχούς μεταβλητής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - \mu)^2}{\sum f_i}} \quad (4.11)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, η τυπική απόκλιση (σ) ισούται με 15,91 nSv/h.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο συντελεστής μεταβλητικότητας είναι το πηλίκο της τυπικής απόκλισης μιας κατανομής προς τον αριθμητικό μέσο αυτής και εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό επί τοις εκατό του μέσου αριθμητικού μ . Ο συντελεστής αυτός είναι ανεξάρτητος από τις μονάδες μέτρησης της κατανομής και δίνεται από την σχέση:

$$CV(X) = \frac{\sigma}{\mu} 100 \cdot \% \quad (4.12)$$

Όπως προκύπτει από τα αριθμητικά δεδομένα των μετρήσεων ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, συντελεστής μεταβλητικότητας ($CV(X)$) ισούται με 23,0 %. Όλες οι στατιστικές παράμετροι που προαναφέρθηκαν συνοψίζονται στον πίνακα 4.3.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΜΗ
ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ	μ	69,13
ΜΕΣΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ	G	67,61
ΜΕΣΟΣ ΑΡΜΟΝΙΚΟΣ	H	66,36
ΔΙΑΜΕΣΟΣ	M	67,01
ΠΡΩΤΟ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ	Q1	58,83
ΤΡΙΤΟ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ	Q3	74,74
ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ	M0	66,11
ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ	R	102,5
ΗΜΙΕΝΔΟΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	Q	7,96
ΜΕΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	M.A	10,64
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	σ^2	253,28
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	σ	15,91
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	CV(X)	23%

Πίνακας 4.3: Στατιστικές παράμετροι κατανομής μετρήσεων ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.

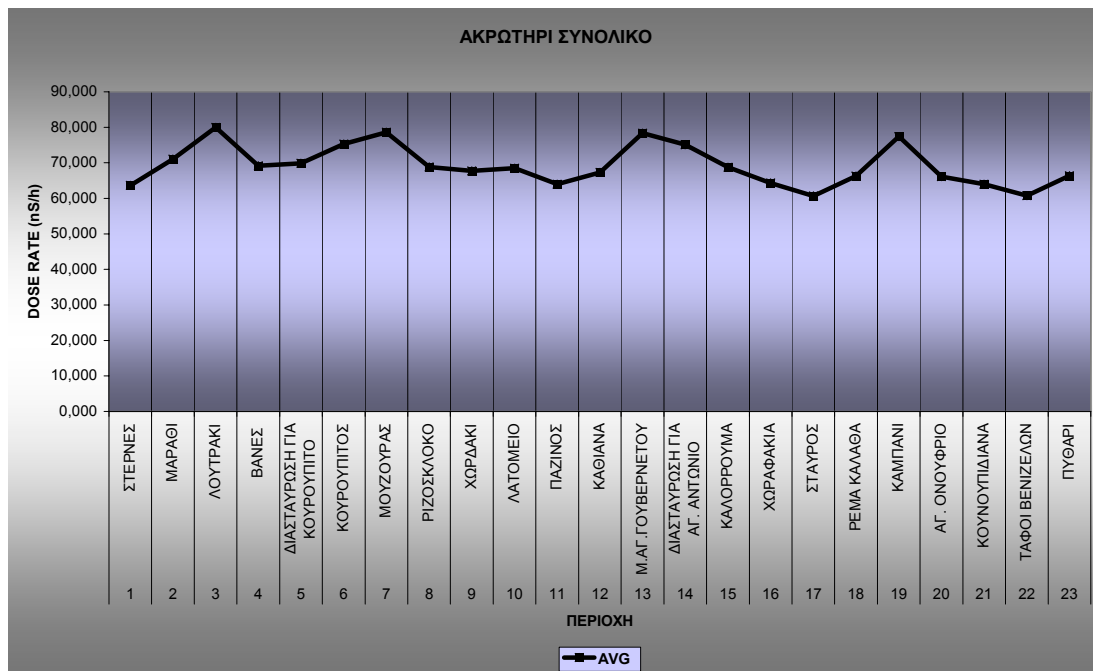
Στην πρώτη στήλη του πίνακα 4.3 παρουσιάζεται το όνομα της στατιστικής παραμέτρου, στην δεύτερη στήλη απεικονίζεται το αντίστοιχο μαθηματικό σύμβολο της εν λόγω στατιστικής παραμέτρου και στην τρίτη στήλη η αριθμητική τιμή της όπως αυτή υπολογίσθηκε για την κατανομή των μετρούμενων τιμών της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων.

4.2 Γραφική Απεικόνιση Αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας του πίνακα 4.1.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται γραφικά ο μέσος όρος των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας ανά τοποθεσία μέτρησης. Παρατηρούμε ότι ο μεγαλύτερος αριθμητικός μέσος σημειώθηκε στην περιοχή Λουτράκι με τιμή 79,98 nSv/h, ενώ ο μικρότερος στην περιοχή Σταυρός με τιμή 60,64 nSv/h.



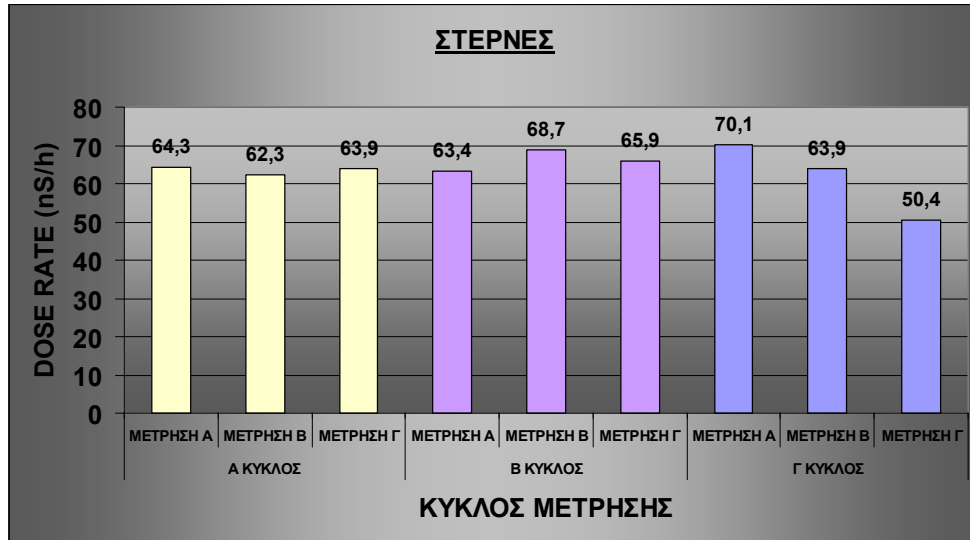
Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση αριθμητικών μέσων των τιμών μέτρησης ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ ανά μετρούμενη τοποθεσία περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.

Στον οριζόντιο άξονα του σχήματος 4.4 αναγράφονται οι τοποθεσίες της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων στις οποίες εκτελέστηκαν μετρήσεις ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ, ενώ στον κάθετο άξονα παρουσιάζονται οι τιμές των αριθμητικών μέσων των μετρούμενων τιμών ανά τοποθεσία μέτρησης και σε μονάδες nSv/h.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

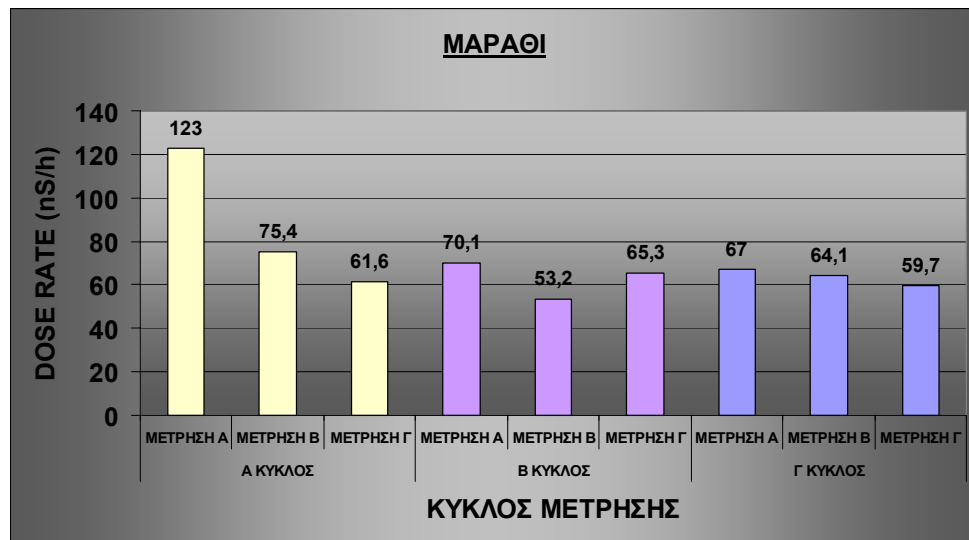
Στα σχήματα από 4.5 έως 4.27 παρουσιάζονται οι επιμέρους μετρήσεις της ισοδύναμης δόσης γάμμα ακτινοβολίας ανά τοποθεσία μέτρησης και για τους 3 κύκλους μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Επιπρόσθετα για κάθε μία περιοχή υπολογίσθηκε ο μέσος αριθμητικός και η τυπική απόκλιση.



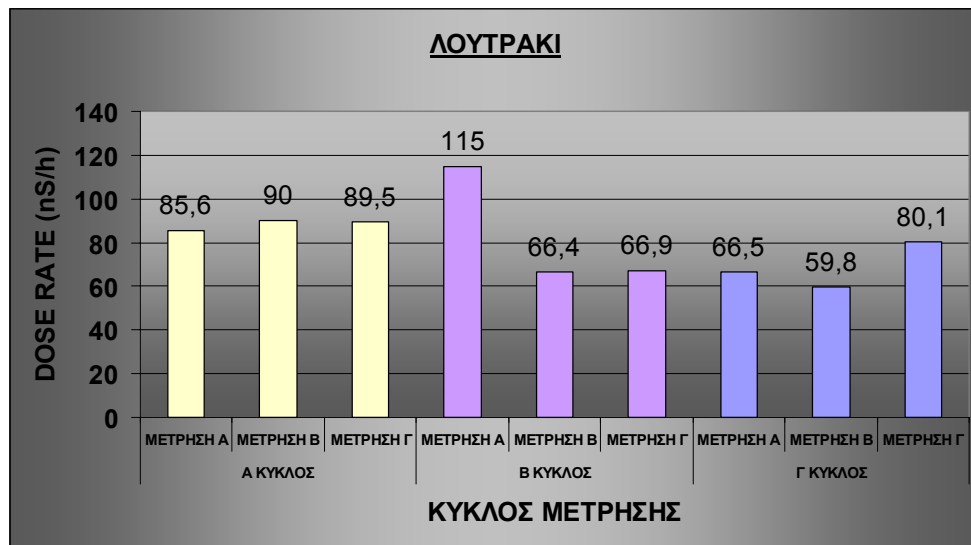
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Στέρνες.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 63,65 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 5,27 nSv/h



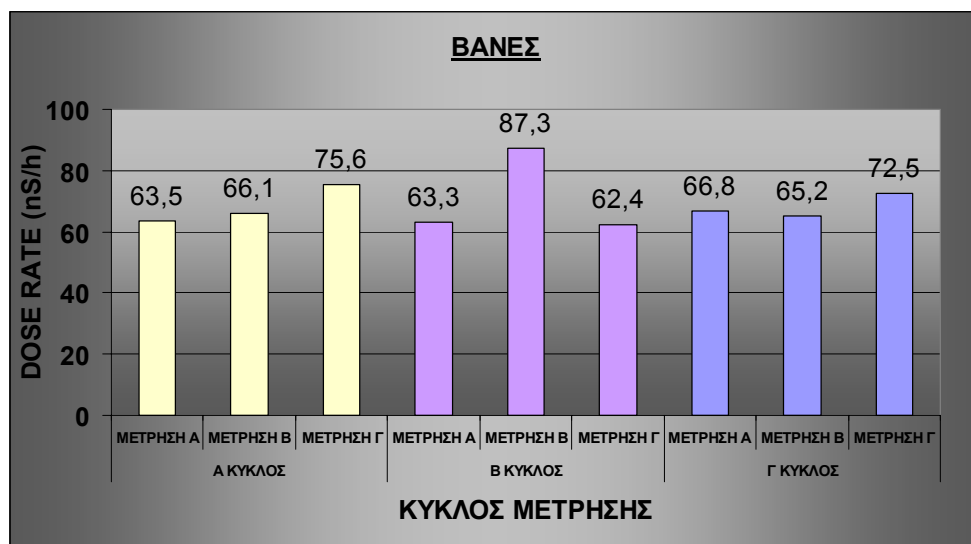
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Μαράθι.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 71,04 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 19,30 nSv/h



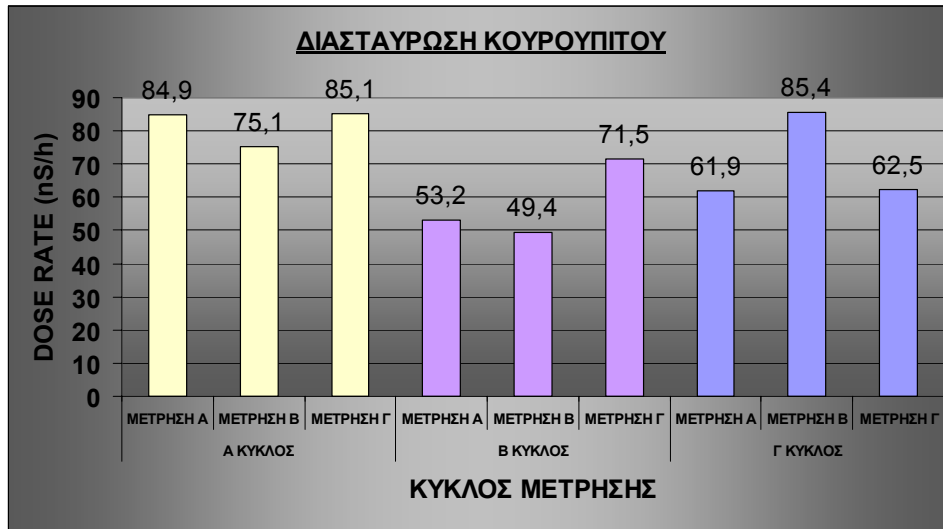
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Λουτράκι.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 79,98 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 16,30 nSv/h



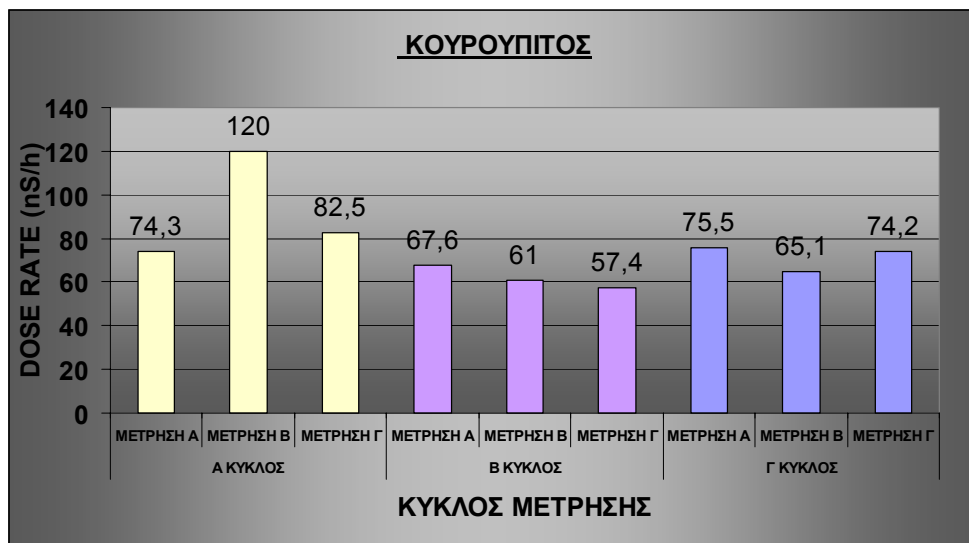
Σχήμα 4.8: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Βάνες.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 69,18 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 7,63 nSv/h.



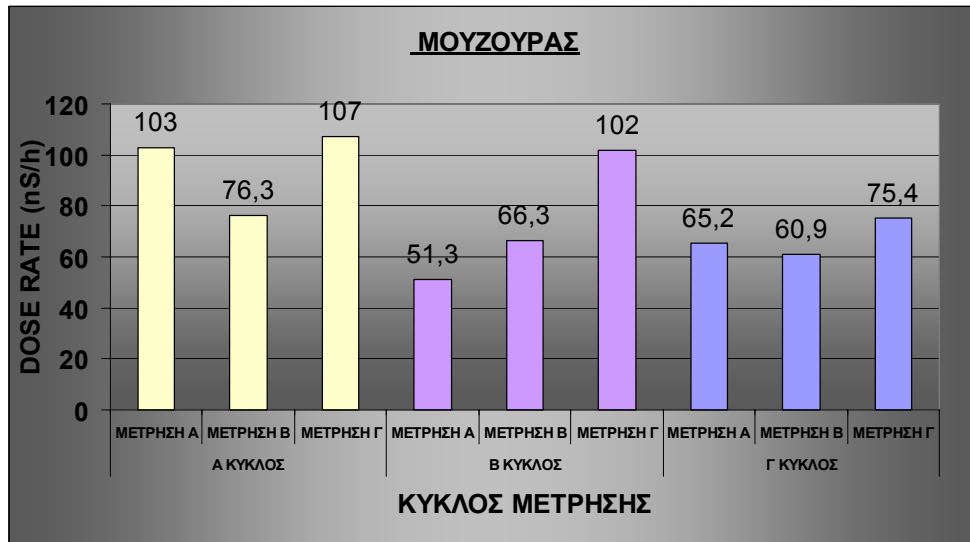
Σχήμα 4.9: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία διασταύρωση Κουρουπιτού.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 69,88 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 13,09 nSv/h



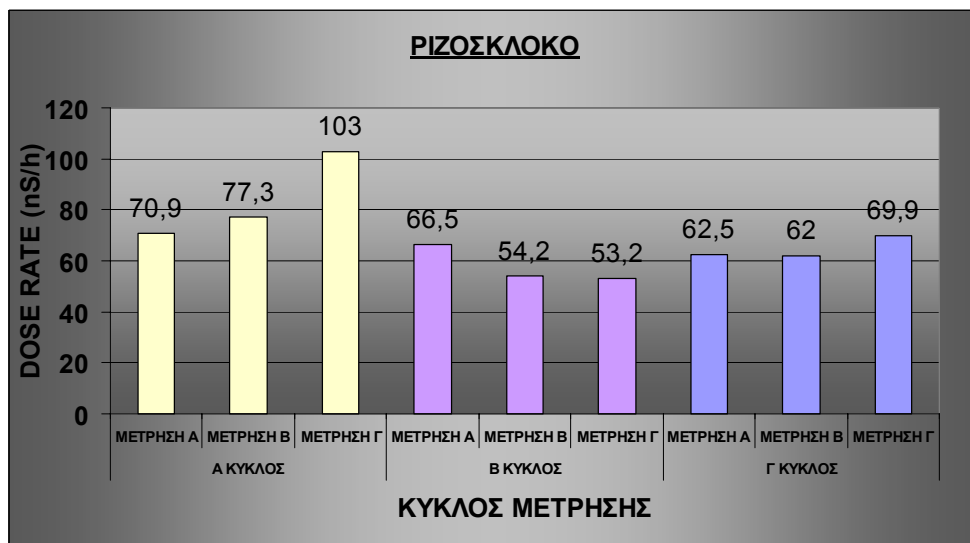
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Κουρουπιτός.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 75,28 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 17,44 nSv/h



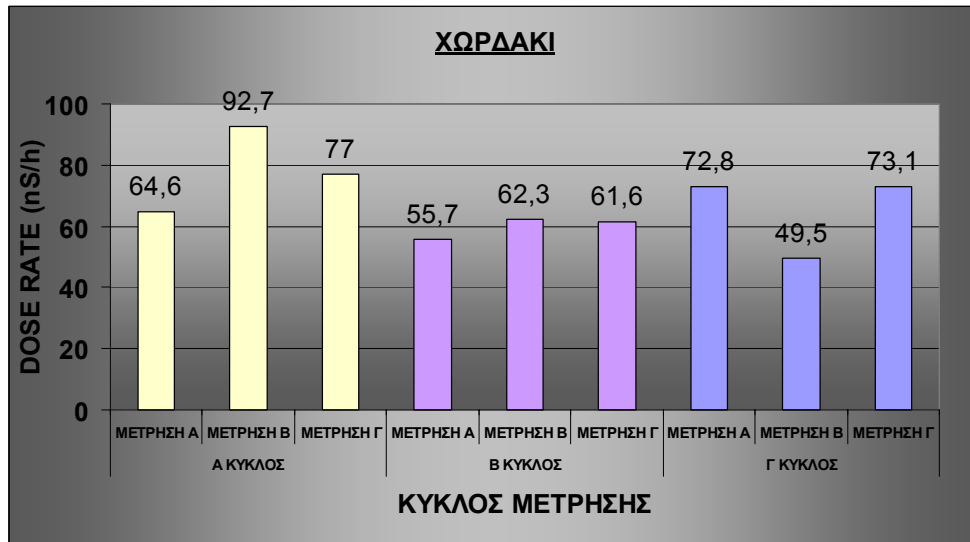
Σχήμα 4.11: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Μουζουράς.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 78,60 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 19,30 nSv/h



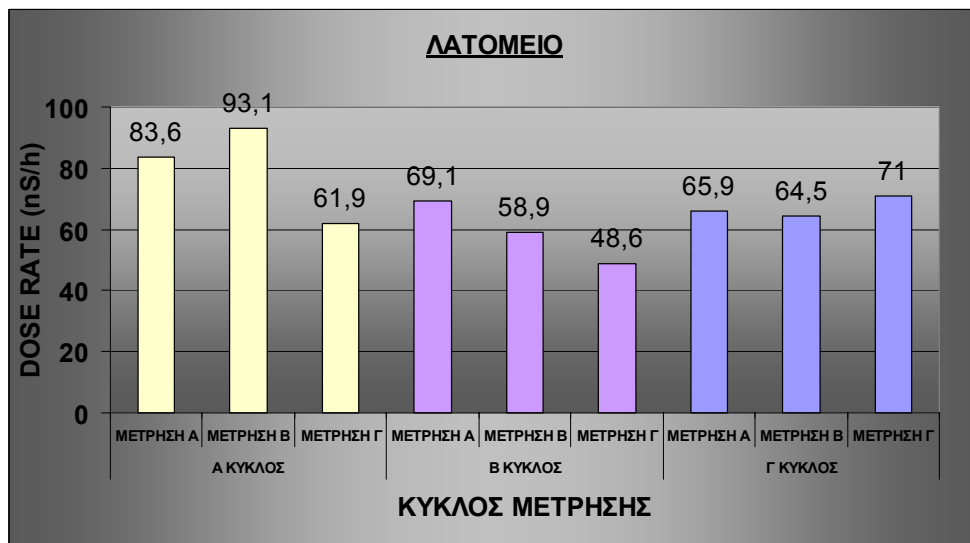
Σχήμα 4.12: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Ριζόσκλοκο.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 68,83 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 14,12 nSv/h



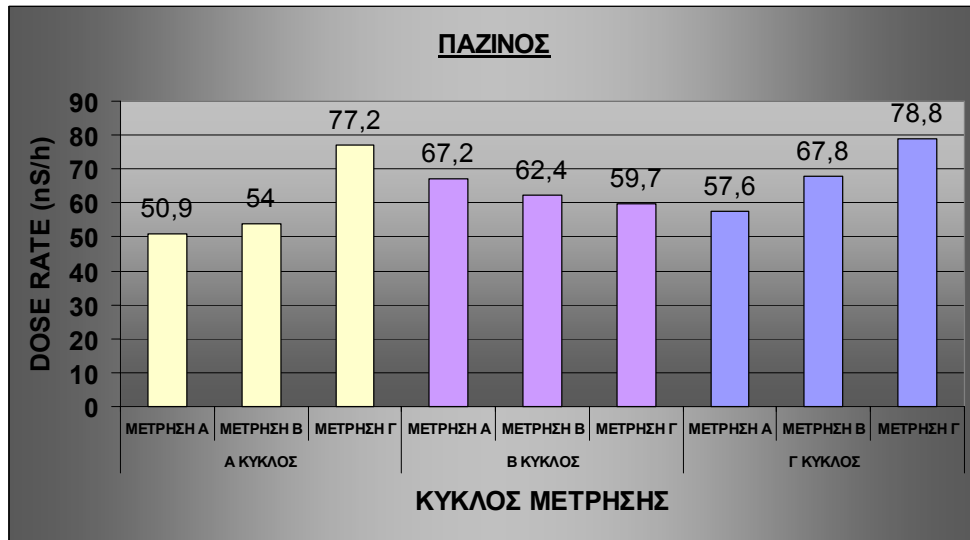
Σχήμα 4.13: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Χωρδάκι.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 67,70 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 12,10 nSv/h



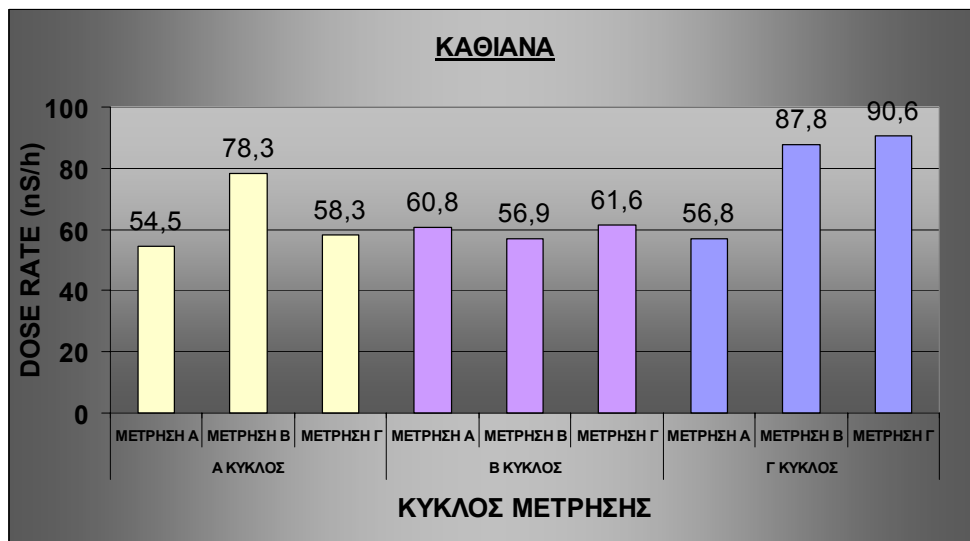
Σχήμα 4.14: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία λατομείο.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 68,51 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 12,44 nSv/h



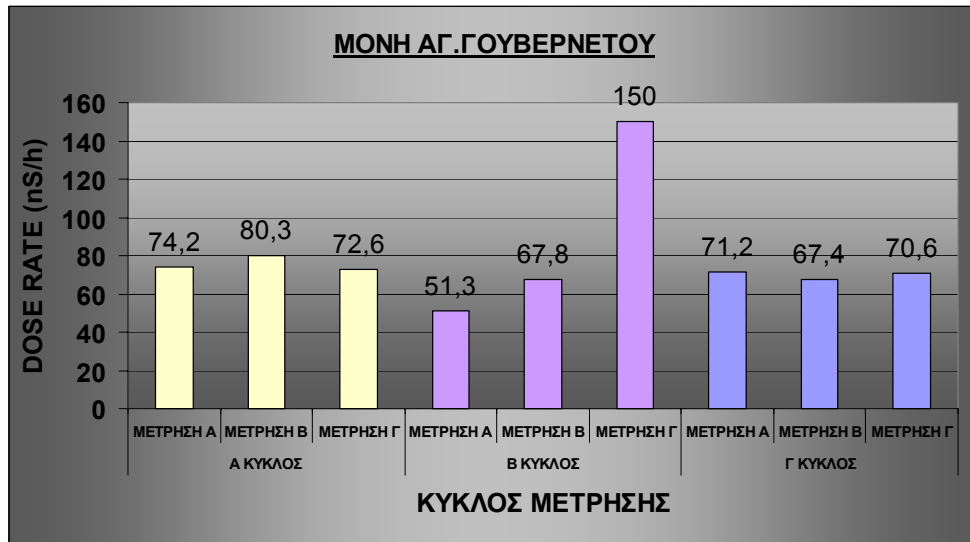
Σχήμα 4.15: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Παζινός.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 63,95 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 9,13 nSv/h



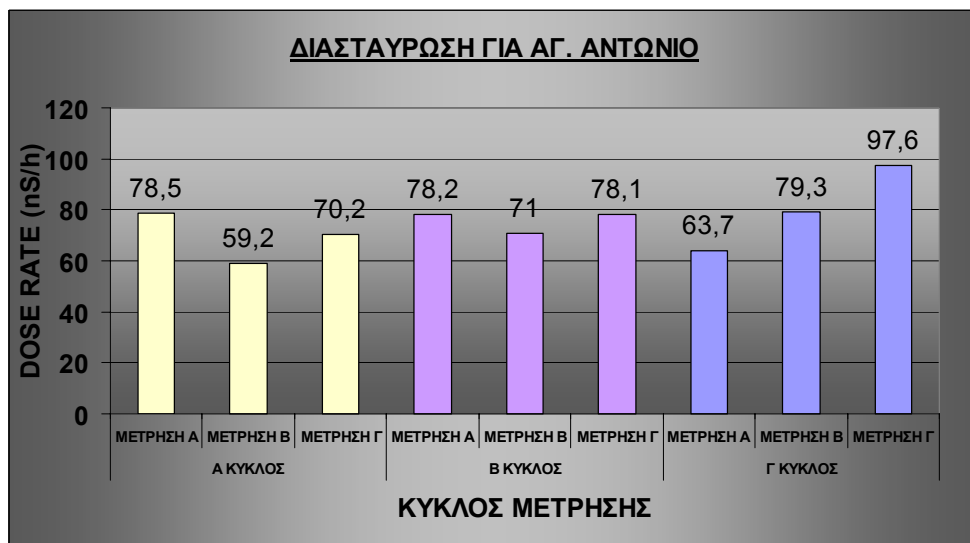
Σχήμα 4.16: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Καθιανά.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 67,28 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 13,42 nSv/h



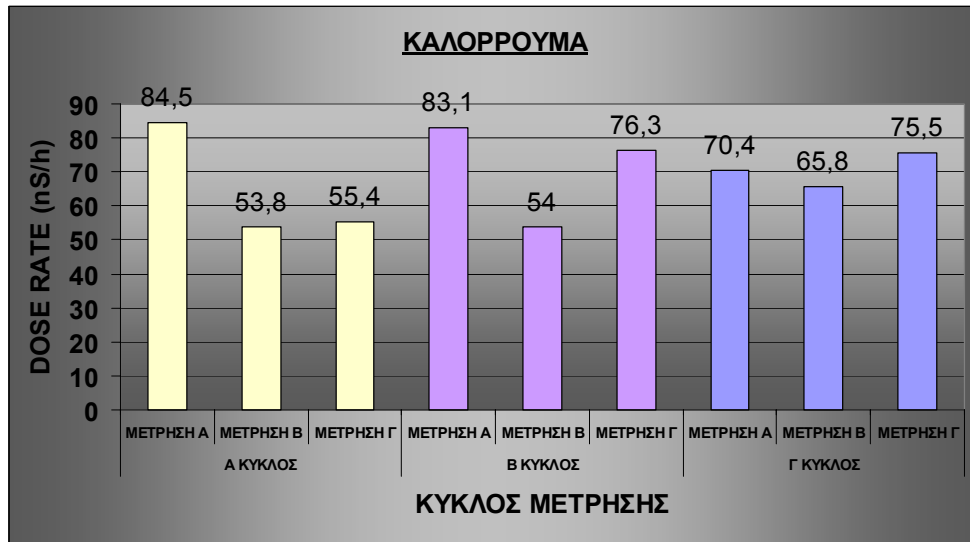
Σχήμα 4.17: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Μονή Αγ. Γουβερνέτου.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 78,37 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 26,37 nSv/h



Σχήμα 4.18: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία διασταύρωση για Αγ. Αντώνιο.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 75,08 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 10,42 nSv/h



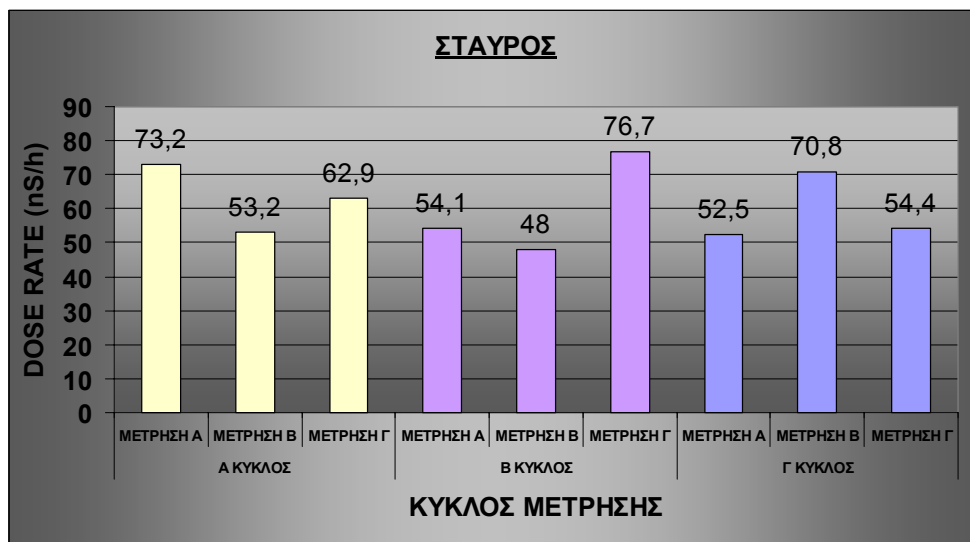
Σχήμα 4.19: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Καλόρρουμα.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 68,75 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 11,48 nSv/h



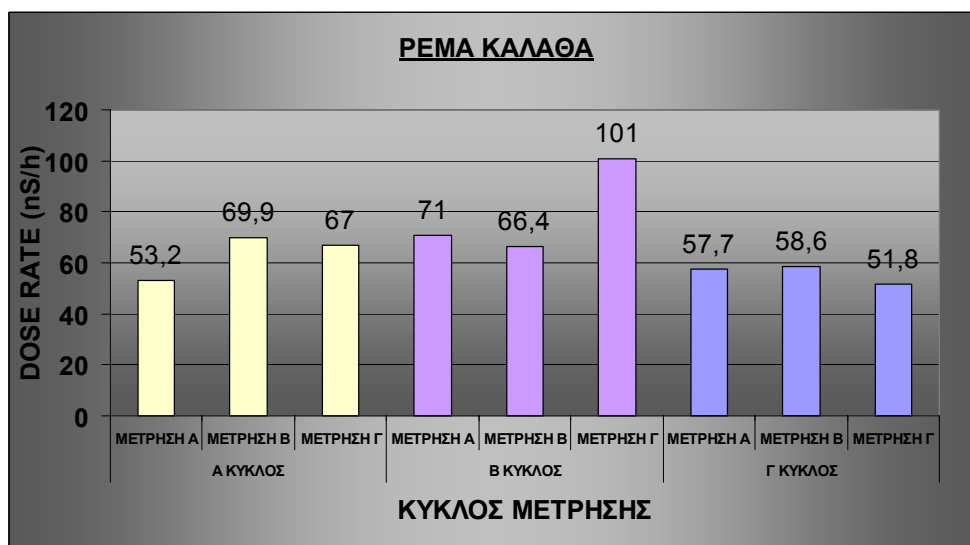
Σχήμα 4.20: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Χωραφάκια.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 64,32 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 8,46 nSv/h



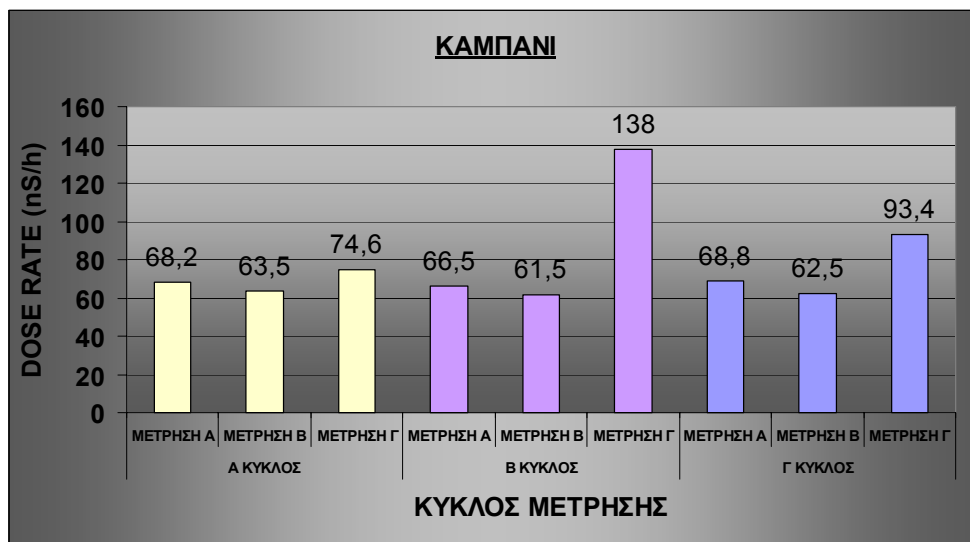
Σχήμα 4.21: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Σταυρός.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 60,64 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 9,92 nSv/h



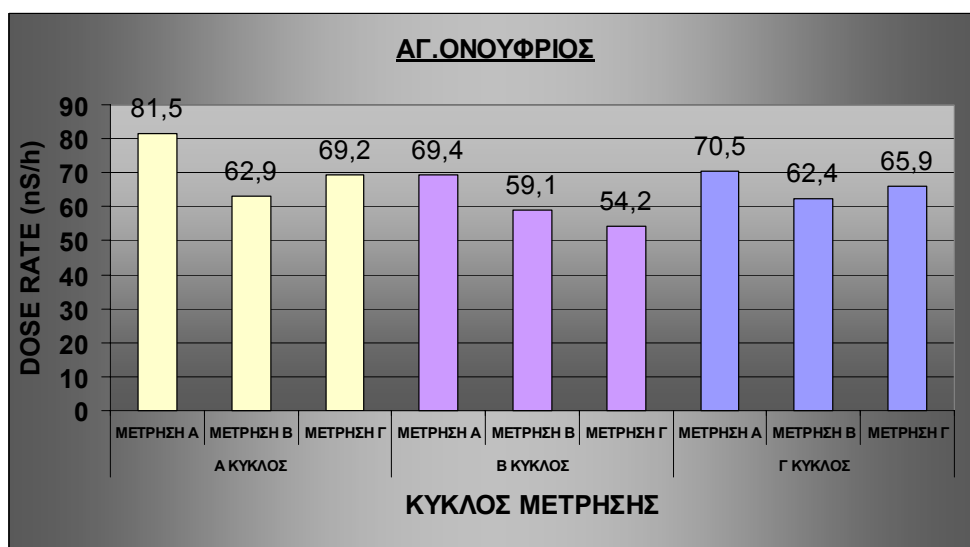
Σχήμα 4.22: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία ρέμα Καλαθά.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 66,28 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 13,96nSv/h



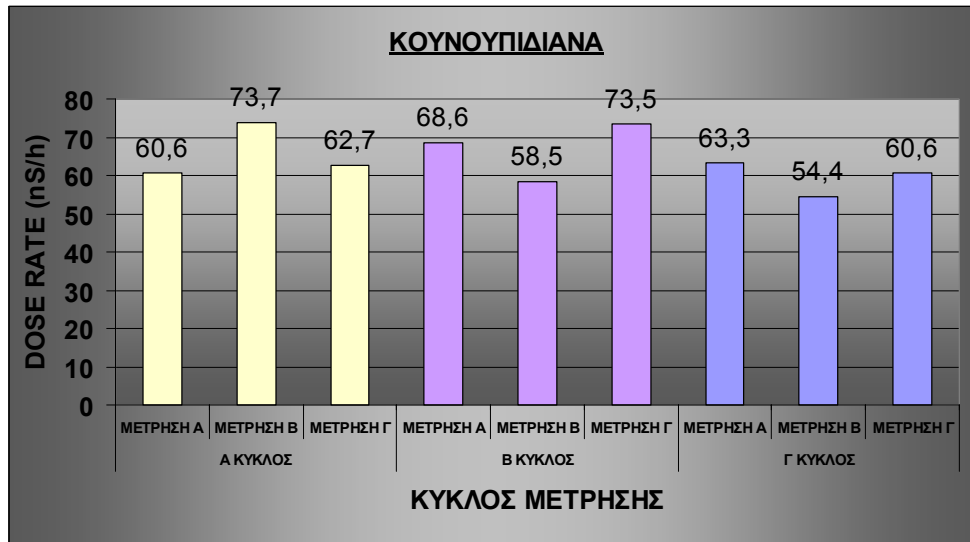
Σχήμα 4.23: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Καμπάνι.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 77,44 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 23,28 nSv/h



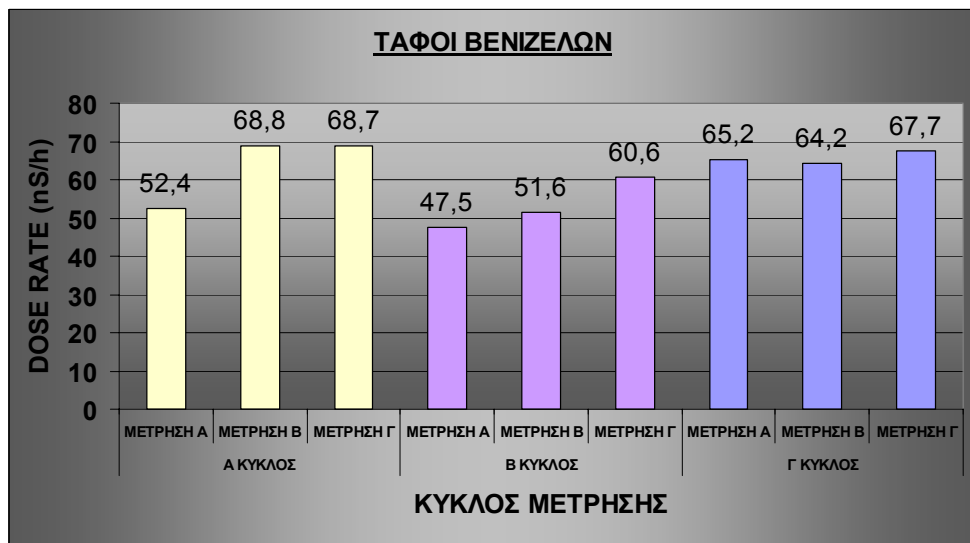
Σχήμα 4.24: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Αγ. Ονούφριος.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 66,12 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 7,39 nSv/h



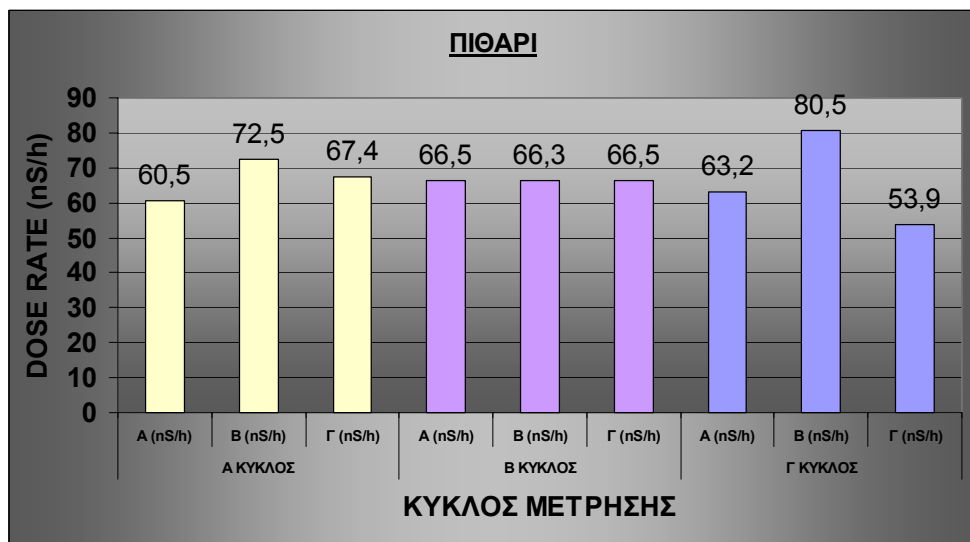
Σχήμα 4.25: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Κουνουπιδιανά.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 63,98 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 6,26 nSv/h



Σχήμα 4.26: Διαγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία τάφοι Βενιζέλων.

Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 60,74 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 7,72 nSv/h



Σχήμα 4.27: Διάγραμμα της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στην τοποθεσία Πιθάρι.

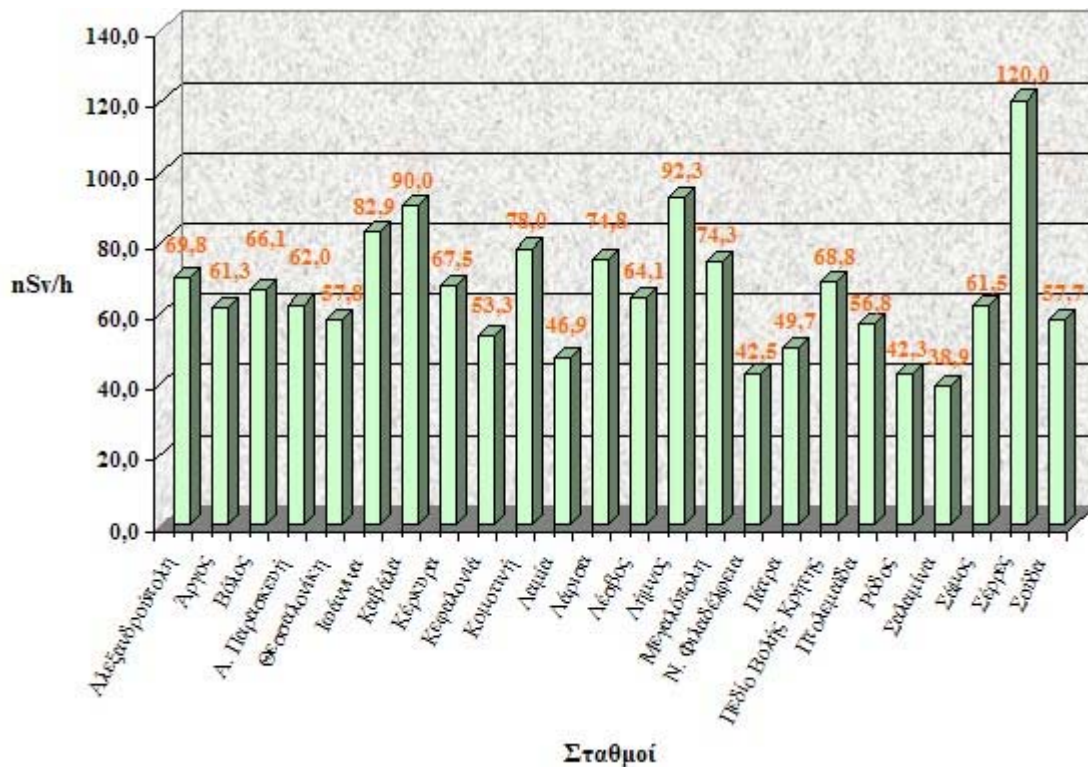
Ο αριθμητικός μέσος μ ισούται με 66,36 nSv/h και η τυπική απόκλιση σ είναι ίση με 6,97 nSv/h

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύγκριση περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων με άλλες περιοχές της Ελλάδας

Σε αυτήν την ενότητα συγκρίνονται οι τιμές των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, με τα επίπεδα γ ακτινοβολίας της υπόλοιπης Ελλάδας, σύμφωνα με το δίκτυο τηλεμετρικών σταθμών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ).

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται ενδεικτικές μέσες τιμές ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, για 24 περιοχές της Ελλάδας, εκφρασμένες σε nSv/h.



Σχήμα 5.1

Όπως προέκυψε από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, η αντίστοιχη μέση τιμή ισούται με 69,13 nSv/h.

Παρατηρούμε ότι η περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων σε σχέση με τις περιοχές που απεικονίζονται στο ανωτέρω σχήμα, όσον αφορά τα επίπεδα γ ακτινοβολίας, κατέχει την 9^η θέση, με τις περιοχές της Αλεξανδρούπολης, Ιωαννίνων, Καβάλας, Κομοτηνής, Λάρισας, Σερρών, Λήμνου και Μεγαλόπολης να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερα επίπεδα γ ακτινοβολίας.

Ο μέσος όρος των μέσων τιμών ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας των 24 περιοχών που απεικονίζονται στο Σχήμα 5.1, ισούται με 65,7 nSv/h, με την μεγαλύτερη μέση τιμή να σημειώνεται στην περιοχή των Σερρών (120 nSv/h) και την μικρότερη στην περιοχή της Σαλαμίνας (38,9 nSv/h).

Η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων (69,13 nSv/h), βρίσκεται πολύ κοντά στο μέσο όρο των αντίστοιχων μέσων τιμών γ ακτινοβολίας των περιοχών της υπόλοιπης Ελλάδας, συγκεκριμένα είναι μεγαλύτερη κατά 3,45 nSv/h, όταν η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής των Σερρών είναι κατά 54,3 nSv/h μεγαλύτερη από τον μέσο όρο των μέσων τιμών γ ακτινοβολίας των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδας. Η μέση τιμή της ισοδύναμης δόσης γ

ακτινοβολίας της περιοχής της Σαλαμίνας (38,9 nSv/h) είναι κατά 26,8 nSv/h μικρότερη από τον μέσο όρο των μέσων τιμών γ ακτινοβολίας των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδας.

Συμπεραίνεται δηλαδή, ότι αν και η περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων κατέχει την 9^η θέση (από τις 23), όσον αφορά τα επίπεδα γ ακτινοβολίας, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας για τις οποίες διατίθενται μετρήσεις, η μέση τιμή της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας σχεδόν ταυτίζεται με τον μέσο όρο των αντίστοιχων μέσων τιμών των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδας.

Σύμφωνα με το τηλεμετρικό δίκτυο της ΕΕΑΕ, ενδεικτικές τυπικές τιμές ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, η οποία προέρχεται από την φυσική ακτινοβολή του υπεδάφους, είναι 20 nSv/h με 120 nSv/h. Τον Μάιο του 1986 που συνέβη το ατύχημα του Chernobyl, οι μέγιστες τιμές που σημειώθηκαν στην δυτική Μακεδονία και την Θεσσαλία ισούταν με 500 nSv/h, ενώ σε κάποιες περιοχές του κόσμου (Kerala και Madras - Ινδία, ακτές Βραζιλίας) έχουν σημειωθεί μετρήσεις της τάξεως των 1000 nSv/h. Στο τελευταίο παράδειγμα η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας η οποία μετρήθηκε προέρχονταν αποκλειστικά από την φυσική ακτινοβολή του υπεδάφους.

5.2 Αναγωγή ισοδύναμης δόσης στο έτος

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναγωγή της ισοδύναμης δόσης στο έτος, υπολογίζεται δηλαδή η ισοδύναμη δόση την οποία λαμβάνει ένας άνθρωπος κατά την διάρκεια ενός έτους. Στο σχήμα 5.2 παρατίθενται οι τιμές της ισοδύναμης δόσης ανά έτος των 23 τοποθεσιών του Ακρωτηρίου Χανίων που εκτελέστηκαν μετρήσεις. Η ισοδύναμη δόση ανά έτος εκφράζεται σε mSv/έτος.

A/A	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ (mSv/έτος)
1	ΣΤΕΡΝΕΣ	0,56
2	ΜΑΡΑΘΙ	0,62
3	ΛΟΥΤΡΑΚΙ	0,70
4	ΒΑΝΕΣ	0,61
5	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΓΙΑ ΚΟΥΡΟΥΠΙΤΟ	0,61
6	ΚΟΥΡΟΥΠΙΤΟΣ	0,66
7	ΜΟΥΖΟΥΡΑΣ	0,69
8	ΡΙΖΟΣΚΛΟΚΟ	0,60

9	ΧΩΡΔΑΚΙ	0,59
10	ΛΑΤΟΜΕΙΟ	0,60
11	ΠΑΖΙΝΟΣ	0,56
12	ΚΑΘΙΑΝΑ	0,59
13	Μ.ΑΓ.ΓΟΥΒΕΡΝΕΤΟΥ	0,69
14	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΓΙΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟ	0,66
15	ΚΑΛΟΡΡΟΥΜΑ	0,60
16	ΧΩΡΑΦΑΚΙΑ	0,56
17	ΣΤΑΥΡΟΣ	0,53
18	ΡΕΜΑ ΚΑΛΑΘΑ	0,58
19	ΚΑΜΠΑΝΙ	0,68
20	ΑΓ. ΟΝΟΥΦΡΙΟ	0,58
21	ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΑ	0,56
22	ΤΑΦΟΙ ΒΕΝΙΖΕΛΩΝ	0,53
23	ΠΙΘΑΡΙ	0,58

Σχήμα 5.2: Ετήσια ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας ανά τοποθεσία μέτρησης της περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων.

Η ισοδύναμη δόση ανά έτος συνολικά της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, προκύπτει από τον μέσο όρο των επιμέρους τιμών ισοδύναμης δόσης ανά έτος των 23 περιοχών που εκτελέστηκαν μετρήσεις και ισούται με 0,61 mSv/έτος.

Οι αντίστοιχες τιμές ισοδύναμης δόσης ανά έτος των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδας παρουσιάζονται στο σχήμα 5.3.

Α/Α	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ (mSv/έτος)
1	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	0,61
2	ΑΡΓΟΣ	0,54
3	ΒΟΛΟΣ	0,58
4	ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	0,54
5	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0,51
6	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	0,73
7	ΚΑΒΑΛΑ	0,79
8	ΚΕΡΚΥΡΑ	0,59
9	ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ	0,47
10	ΚΟΜΟΤΗΝΗ	0,68
11	ΛΑΜΙΑ	0,41
12	ΛΑΡΙΣΑ	0,63
13	ΛΕΣΒΟΣ	0,56
14	ΛΗΜΝΟΣ	0,81

A/A	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ (mSv/έτος)
15	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	0,65
16	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	0,37
17	ΠΑΤΡΑ	0,44
18	ΠΕΔΙΟ ΒΟΛΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	0,60
19	ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	0,50
20	ΡΟΔΟΣ	0,37
21	ΣΑΛΑΜΙΝΑ	0,34
22	ΣΑΜΟΣ	0,54
23	ΣΕΡΡΕΣ	1,05
24	ΣΟΥΔΑ	0,51

Σχήμα 5.3: Ετήσια ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας διαφόρων περιοχών της Ελλάδας.

Ο μέσος όρος των τιμών της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας ανά έτος των περιοχών της Ελλάδας που παρουσιάζονται στο ανωτέρω σχήμα, ισούται με 0,58 mSv/έτος.

Παρατηρούμε ότι η τιμή της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας ανά έτος της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, βρίσκεται πολύ κοντά στον μέσο όρο της αντίστοιχης μέσης τιμής ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας ανά έτος των υπόλοιπων περιοχών της Ελλάδας, όπως και στην περίπτωση της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, το οποίο είναι λογικό καθώς τα δύο μεγέθη (ισοδύναμη δόση και ισοδύναμη δόση ανά έτος) είναι ανάλογα.

5.3 Σύγκριση μέσης ετήσιας ισοδύναμης δόσης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων με παγκόσμια στατιστικά μεγέθη.

Στην ενότητα αυτή συγκρίνεται η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, με τον αντίστοιχο παγκόσμιο μέσο όρο ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας προερχόμενης από φυσική ακτινοβολία του υπεδάφους, καθώς και με άλλες πηγές ακτινοβολίας, σύμφωνα με στατιστικές μελέτες μετρήσεων της UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

Σύμφωνα με την τελευταία δημοσίευση της UNSCEAR το 2000, η μέση παγκόσμια ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας ισούται με 2,8 mSv ανά έτος. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται όλες οι πηγές ακτινοβολίας (φυσικές και τεχνητές).

Στην τιμή αυτή αντιστοιχούν 0,4 mSv ανά έτος στην κοσμική ακτινοβολία, 1,2 mSv ανά έτος στην ακτινοβόληση των παραγώγων διάσπασης του ραδονίου, 0,3 mSv ανά έτος στην εσωτερική ακτινοβόληση του ανθρώπου (τροφή, κτλ), 0,5 mSv ανά έτος σε φυσική εκπομπή γ ακτινοβολίας και 0,4 mSv ανά έτος σε τεχνητές πηγές.

Επομένως ο μέσος παγκόσμιος όρος ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας προερχόμενης από φυσικές πηγές ακτινοβόλησης ισούται με 2,4 mSv ανά έτος, εκ των οποίων τα 0,5 mSv ανά έτος οφείλονται σε φυσική εκπομπή γ ακτινοβολίας από το έδαφος. Παρατηρούμε ότι η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τον αντίστοιχο παγκόσμιο μέσο όρο και συγκεκριμένα κατά 0,11 mSv ανά έτος. Για την κατανόηση του μεγέθους αυτής της διαφοράς, ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά την πτήση ενός επιβάτη από το Παρίσι στο San Francisco, αυτός δέχεται μέση ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας ίση με 0,85 mSv, προερχόμενης από την κοσμική ακτινοβολία.

Όσον αφορά τα όρια συνολικής ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας, πάνω από τα οποία λαμβάνονται έκτακτα μέτρα προστασίας του γενικού πληθυσμού αναφέρεται ότι αυτά είναι 10 mSv σε 2 ημέρες για κάλυψη σε κλειστούς χώρους και 50 mSv σε 7 ημέρες για εκκένωση οικισμών.

Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζονται τα όρια της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας πέραν των οποίων λαμβάνονται έκτακτα μέτρα προστασίας του γενικού πληθυσμού, όπως έχουν καθοριστεί από την Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Στην πρώτη στήλη αναφέρονται τα μέτρα προστασίας, στην δεύτερη στήλη το ανθρώπινο όργανο που εκτίθεται και στο οποίο αφορούν τα όρια ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας και στην τρίτη στήλη τα όρια που έχουν οριστεί.

Μέτρο Προστασίας	Όργανο	Όριο Δόσης
Προστασία σε καταφύγια	Ολόσωμη (Whole Body)	10mSv σε δύο ημέρες
Εκκένωση	Ολόσωμη (Whole Body)	50 mSv σε μία εβδομάδα

Σχήμα 5.4: Έκτακτα μέτρα ασφαλείας του γενικού πληθυσμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κλασική και σύγχρονη φυσική, Kenneth W. Ford, 1980
2. Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική, Alonso Finn, 1979
3. Στατιστική, Πέτρος Α. Κιόχος, 1993
4. FH 40 G Dose Rate Measuring Unit, Operating Instructions, 2003
5. Ανίχνευση και προσδιορισμός ενεργότητας ραδιοϊσοτόπων περιβάλλοντος σε διάφορες περιοχές της Κύπρου, Χ. Τσέρτος, 2005
6. Radiation, People and the Environment, IAEA (International Atomic Energy Agency)
7. <http://www.umd.edu>
8. <http://www.wikipedia.org>
9. <http://www.ipta.demokritos.gr>
10. <http://www.eeae.gr>
11. <http://www.nsph.gr/disastermanagement>