

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ ΦΥΣΙΚΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

**Κοκκομετρική και γ-φασματοσκοπική ανάλυση
δειγμάτων χώματος από την περιοχή της
Μεγαλόπολης**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΣΑΚΚΟΥΛΑ

Επίβλεψη: Αν. Καθηγητής Μ.Ι. Αναγνωστάκης
Συνεργασία: Δρ. Δ.Ι. Καράγγελος

ΑΘΗΝΑ 2014

Πρόλογος

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσική και Τεχνολογικές Εφαρμογές». Κύριο αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός της ραδιενέργειας από δείγματα επιφανειακού χόματος και χόματος βάθους μέσω της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης, μετά το διαχωρισμό τους σε κοκκομετρικά κλάσματα. Τα δείγματα που εξετάστηκαν έχουν συλλεγεί στην περιοχή της Μεγαλόπολης, η οποία παρουσιάζει ενδιαφέρον τόσο λόγω της παρουσίας λιγνίτη στο υπέδαφος όσο και της λειτουργίας ατμοηλεκτρικών σταθμών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ. Μ.Ι. Αναγνωστάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω σε όλη τη διαδικασία ενός τόσο ενδιαφέροντος ερευνητικού πειράματος, καθώς και για την υποστήριξη, την υπομονή και την καθοδήγησή που μου προσέφερε.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Δ. Καραγγελο για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε και για όλο το χρόνο που αφιέρωσε στο να με επιβλέπει και να με καθοδηγεί σε κάθε στάδιο της εργασίας. Η συμβολή του στη διεκπεραίωση και ολοκλήρωση της εργασίας υπήρξε καθοριστική. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Μ. Σάββα και τον διδάκτορα Κ. Καρφόπουλο για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στη διαδικασία της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2: Γενικά περί ραδιενέργειας - Ραδιενέργεια εδάφους	3
2.1 Ραδιενέργεια.....	3
2.1.1 Φυσική ραδιενέργεια.....	3
2.1.2 Τεχνητή ραδιενέργεια.....	6
2.2 Εσωτερικές και εξωτερικές πηγές ραδιενέργειας	8
2.3 Ανθρωπογενείς πηγές ραδιενέργειας στο περιβάλλον	9
2.3.1 Χρήση πυρηνικών όπλων και πυρηνικές δοκιμές	9
2.3.2 Ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας.....	9
2.3.3 Δομικά υλικά.....	10
2.3.4 Υλικά TENORM.....	10
2.4 Ραδιενεργός ρύπανση και ραδιενέργεια του εδάφους.....	10
2.5 Ρύπανση του εδάφους	16
Κεφάλαιο 3: Ιπτάμενη Τέφρα	17
3.1 Δημιουργία και κατηγοριοποίηση γαιανθράκων	17
3.2 Διαδικασία καύσης του άνθρακα και παραγωγή αποβλήτων	19
3.3 Παραγωγή τέφρας	20
3.4 Γενικά χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας	21
3.5 Εμπλουτισμός ιπτάμενης τέφρας	22

3.6	Ραδιολογικά χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας	23
3.7	Ταξινόμηση της ιπτάμενης τέφρας	24
3.8	Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες.....	25
3.9	Αξιοποίηση και τρόποι χρήσης της ιπτάμενης τέφρας	26
3.9.1	Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την παραγωγή τσιμέντου.	26
3.9.2	Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την παραγωγή σκυροδέματος.	27
3.9.3	Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την στερεοποίηση επικίνδυνων αποβλήτων.....	28
3.9.4	Άλλες χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας.....	28
Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία δειγμάτων χώματος από την περιοχή Μεγαλόπολης		29
4.1	Συλλογή και ονομασία δειγμάτων.....	29
4.2	Εξοπλισμός προετοιμασίας δειγμάτων	31
4.2.1	Συσκευή κοσκινίσματος AS-200 CONTROL.....	31
4.2.2	Συσκευή Θραύσης Retsch BB51.....	32
4.3	Διαδικασία προετοιμασίας δειγμάτων	34
4.3.1	Διαδικασία ξήρανσης (αεροξήρανση).....	34
4.3.2	Ομογενοποίηση δείγματος	34
4.3.3	Αφαίρεση ξένων σωματιδίων.....	35
4.3.4	Διαδικασία κοσκινίσματος.....	35
4.3.5	Συσκευασία χονδρόκοκκου κλάσματος (>2mm).....	36
4.3.6	Συσκευασία δειγμάτων.....	36

4.3.7	Σφράγισμα δειγμάτων	36
4.4	Η μέθοδος γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης	37
4.4.1	Ισότοπα που μελετήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας	38
4.4.2	Ανιχνευτής HPGe (High Purity Germanium)	39
4.4.3	Ανιχνευτής LEGe (Low Energy Germanium)	40
	Κεφάλαιο 5: Ανάλυση δειγμάτων εδάφους από την περιοχή της Μεγαλόπολης	41
5.1	Εισαγωγή.....	41
5.2	Πειραματική διαδικασία.....	41
5.3	Επεξεργασία και ανάλυση δειγμάτων	43
5.3.1	Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 6-2	43
5.3.2	Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 7-1	48
5.3.3	Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 8-1	53
5.3.4	Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 9-1	56
5.3.5	Επεξεργασία δείγματος βάθους 8-2	59
5.3.6	Επεξεργασία δείγματος βάθους 9-2	64
5.4	Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με προηγούμενες αναλύσεις.....	69
5.5	Σύγκριση των αναλύσεων δειγμάτων από τα διάφορα σημεία δειγματοληψίας.....	71
5.5.1	Σύγκριση επιφανειακών δειγμάτων	71
5.5.2	Σύγκριση ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα και τα αντίστοιχα δείγματα βάθους.....	75

5.5.3 Μελέτη της ραδιενεργού ισορροπίας $^{210}\text{Pb} - ^{226}\text{Ra}$	83
Κεφάλαιο 6: Επίλογος διπλωματικής εργασίας	86
6.1 Διαδικασία προετοιμασίας δειγμάτων	86
6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης.....	87
6.2.1 Αποτελέσματα σύγκρισης επιφανειακών δειγμάτων	87
6.2.2 Αποτελέσματα σύγκρισης ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα με τα αντίστοιχα δείγματα βάθους.....	88
6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	89
Παράρτημα: Διεξαγωγή πειράματος με τη χρήση βοηθητικής αλυσίδας κατά το κοσκίνισμα	91
Βιβλιογραφία	99

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, οι γαιάνθρακες αποτελούν σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Στον Ελλαδικό χώρο και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές της Μεγαλόπολης και της Πτολεμαΐδας, μέσω ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) πραγματοποιείται καύση λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί είδος γαιάνθρακα, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Οι γαιάνθρακες, περιέχουν φυσικά ραδιενεργά ισότοπα όπως αυτά της σειράς του ^{232}Th , του ^{238}U , καθώς και το φυσικό ραδιενεργό ισότοπο του καλίου ^{40}K , τα οποία κατά τη διαδικασία της καύσης που ακολουθείται στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ), λόγω της ελαχιστοποίησης της οργανικής ύλης, επικάθονται στα σωματίδια της τέφρας με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό της.

Ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων της τέφρας συγκρατούνται από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, ένα ποσοστό αυτών όμως διαφεύγουν στο περιβάλλον μέσω των καμινάδων με αποτέλεσμα, είτε να εναποτίθενται στο έδαφος και να απορροφώνται από τα φυτά, τα οποία εν συνεχεία καταναλώνονται από τα ζώα και από τον άνθρωπο, είτε να εισπνέονται απευθείας από τον άνθρωπο, προκαλώντας έτσι επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό κατ' επέκταση.

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία (ΜΕ) πραγματοποιήθηκε ανάλυση δειγμάτων επιφανειακού χώματος και χώματος βάθους, τα οποία συλλέχθηκαν από την περιοχή της Μεγαλόπολης, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσον είναι δυνατό να διαπιστωθεί η επίπτωση ιπτάμενης τέφρας στο έδαφος, εξαιτίας της λειτουργίας των σταθμών. Τα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν, αφού ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες της αεροζήρανσης, ομογενοποίησης και κοσκίνισης έτσι ώστε να παραχθούν υποδείγματα σε διάφορες κοκκομετρίες, αναλύθηκαν με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας. Κατά τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση, η οποία πραγματοποιήθηκε στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση ανιχνευτών HPGe και LEGe, προσδιορίστηκαν τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{210}Pb και ^{40}K καθώς και το τεχνητό ραδιενεργό ισότοπο ^{137}Cs .

Η Μεταπτυχιακή Εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια.

Στο 2^ο Κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγή στη ραδιενέργεια και στη ραδιενεργό ρύπανση του εδάφους και πως αυτή μπορεί να προκληθεί, ενώ παρουσιάζονται και βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με την περιεκτικότητα των ελληνικών εδαφών σε φυσικά και τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα.

Στο 3^ο Κεφάλαιο της Μ.Ε. παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για το γαιάνθρακα και την ιπτάμενη τέφρα που παράγεται κατά την καύση του στους ΑΗΣ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αναφορά στα φυσικοχημικά και ραδιολογικά χαρακτηριστικά της.

Στο 4^ο Κεφάλαιο, παρατίθεται η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής μετά τη συλλογή των δειγμάτων και η επεξεργασία αυτών. Τέλος, στο 5^ο Κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική παράθεση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων τα οποία προέκυψαν κατά την επεξεργασία τους.

Στο 6^ο Κεφάλαιο συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2: Γενικά περί ραδιενέργειας - Ραδιενέργεια εδάφους

2.1 Ραδιενέργεια

Ως ραδιενέργεια ορίζεται η ιδιότητα της αυθόρμητης διάσπασης ορισμένων πυρήνων, δηλαδή της διάσπασης χωρίς κάποια εξωτερική διέγερση, η οποία συνοδεύεται με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας. Οι πυρήνες αυτοί ονομάζονται ραδιενεργοί, και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ραδιενεργός ακτινοβολία (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005). Ο πυρήνας ο οποίος διασπάται καλείται **μητρικός**, ενώ εκείνος που προκύπτει μέσω της διάσπασης **θυγατρικός**. Βασικό χαρακτηριστικό των ραδιενεργών ισότοπων αποτελεί ο **χρόνος ημιζωής**, ή **χρόνος υποδιπλασιασμού**, ο χρόνος δηλαδή που χρειάζεται για να διασπαστούν οι μισοί από τους αρχικούς μητρικούς πυρήνες ($t_{1/2}$).

Περισσότερο από ένας αιώνας έχει περάσει από την ανακάλυψη της ραδιενέργειας. Ο Henry Becquerel (1896) καθώς και το ζεύγος Marie και Pierre Curie (1898), ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν το φαινόμενο εκπομπής σωματιδίων από την ύλη. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος ραδιενέργεια (radioactivity), δόθηκε από τη Marie Curie, για την περιγραφή της συμπεριφοράς του θορίου και του ουρανίου. Αρχικά ασχολήθηκαν με ισότοπα που απαντώνται στη φύση όπως ράδιο (^{226}Ra), ουράνιο (^{238}U) και πολώνιο (^{210}Po), ενώ αργότερα οι F. και I. Joliot Curie (1934) ασχολήθηκαν με την τεχνητή ραδιενέργεια, παράγοντας το πρώτο τεχνητό ραδιενεργό ισότοπο, το φώσφορο (^{32}P) (Παπαστεφάνου 2010).

Στο έδαφος, ανιχνεύονται πολλά ραδιοϊσότοπα, τα οποία ορισμένες φορές μπορεί να οφείλουν την ύπαρξή τους στη ρύπανση του εδάφους. Τα ισότοπα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα φυσικά και τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα, η ανάλυση των οποίων παρατίθεται παρακάτω.

2.1.1 Φυσική ραδιενέργεια

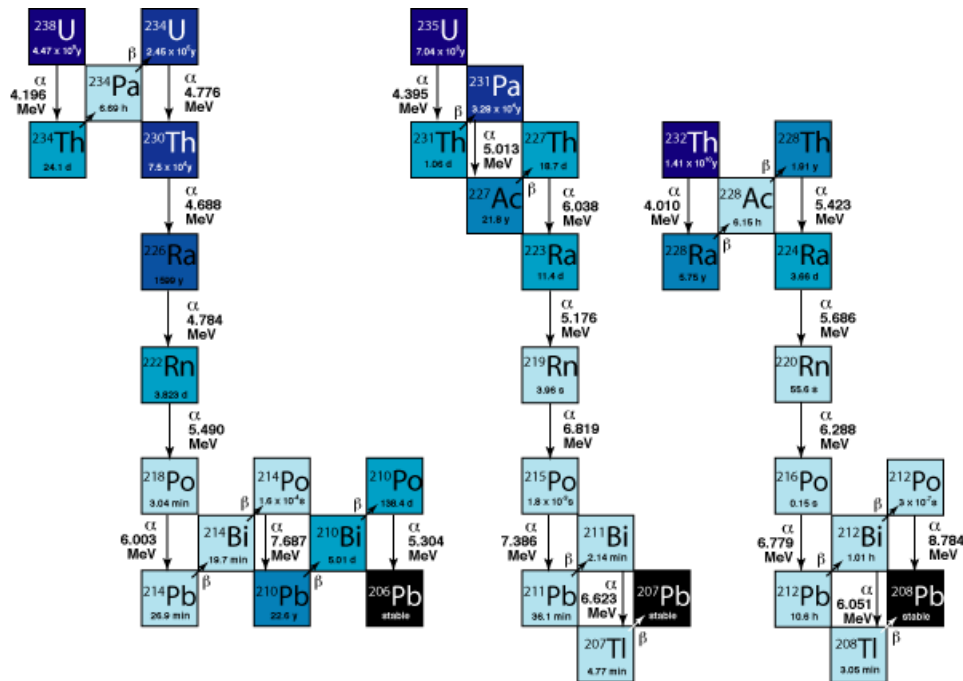
Ως **φυσική ραδιενέργεια**, ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία εκπέμπεται ακτινοβολία από ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στη φύση. Φυσικές πηγές

ακτινοβολίας μπορούν να αποτελέσουν τόσο τα συστατικά του στερεού φλοιού της γης, όσο και η κοσμική ακτινοβολία.

2.1.1.1 Ραδιενέργεια του φλοιού της γης

Ένα μεγάλο μέρος της φυσικής ραδιενέργειας, οφείλεται στα μακρόβια ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο στερεό φλοιό της γης, τα οποία σχηματίστηκαν κατά τα πρώτα στάδια δημιουργίας του σύμπαντος. Πρόκειται ουσιαστικά για πυρήνες των οποίων οι χρόνοι ημιζωής είναι της τάξης των δισεκατομμυρίων ετών. Οι πυρήνες αυτοί, ύστερα από μία σειρά διασπάσεων μετατρέπονται σε σταθερά ισότοπα. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται από τις ραδιενεργές σειρές ή αλλιώς οικογένειες.

Τα κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα που απαντώνται στο στερεό φλοιό της γης είναι αυτά των τριών ραδιενεργών σειρών, ουρανίου (^{238}U), ακτινίου (^{235}U), και θορίου (^{232}Th), καθώς και τα μακρόβια ραδιενεργά ισότοπα, όπως είναι το κάλιο (^{40}K), με χρόνο ημιζωής $T_{1/2}=1.28 \times 10^9$ y, και το ρουβίδιο (^{87}Rb), με χρόνο ημιζωής $T_{1/2}=4.9 \times 10^{10}$ y. Τα φυσικά ραδιοϊσότοπα, εκτός από το έδαφος και τα ορυκτά, μπορεί να ανιχνευτούν στο νερό, στον αέρα στους ζώντες οργανισμούς, στις τροφές και στα οικοδομικά υλικά.



Σχήμα 2.1: Ραδιενεργές σειρές ουρανίου, ακτινίου και θορίου

2.1.1.2 Κοσμικής προέλευσης ραδιενέργεια

Με τον όρο **κοσμική ακτινοβολία** εννοούμε την υψηλής ενέργειας ακτινοβολία που προέρχεται από το εξωτερικό διάστημα, δηλαδή από τον ήλιο και από άλλες αστρικές πηγές (πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία), καθώς κι αυτή που παράγεται από τη σύγκρουσης πρωτογενών σωματιδίων εξωγήινης προέλευσης με τους πυρήνες της ατμόσφαιρας (δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία).

Πιο αναλυτικά, τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, βομβαρδίζονται με φορτισμένα σωματίδια από το διάστημα. Το **79%** αυτών είναι πρωτόνια, το **20%** σωματίδια-α ενώ μόλις το **1%** αποτελείται από ιόντα βαρέων ατόμων (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005). Από όλα αυτά τα σωματίδια, ελάχιστα κατορθώνουν να φτάσουν στην επιφάνεια της γης, εφόσον εισερχόμενα στην ατμόσφαιρα, αλληλεπιδρούν με το άζωτο και το οξυγόνο, με αποτέλεσμα να παράγεται δευτερογενής ακτινοβολία από ακτίνες-γ, πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια. Ένα μέρος της δευτερογενούς ακτινοβολίας καταλήγει στην επιφάνεια της γης, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από την ίδια την ατμόσφαιρα. Η κοσμική ακτινοβολία κοντά στο έδαφος, οφείλεται κατά κύριο λόγο στα δευτερογενή σωματίδια.

Η ετήσια εξωτερική ακτινοβολία που λαμβάνει κάποιος λόγω κοσμικής ακτινοβολίας εξαρτάται, αρχικά από το γεωγραφικό πλάτος και είναι κατά 15% περίπου μεγαλύτερη κοντά στους πόλους απ' ό τι στον ισημερινό (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005), αλλά πολύ περισσότερο από το υψόμετρο. Ο μέσος ρυθμός δόσης από την κοσμική ακτινοβολία στο επίπεδο επιφάνειας της θάλασσας είναι 0.03 $\mu\text{Sv}/\text{ώρα}$ και αυξάνει με το υψόμετρο διπλασιαζόμενος περίπου κάθε 1500 μέτρα στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, οι άνθρωποι που ζουν σε μεγάλο υψόμετρο δέχονται πολλαπλάσια δόση λόγω κοσμικής ακτινοβολίας από αυτήν που δέχονται οι άνθρωποι που ζουν στο επίπεδο της θάλασσας.

Η κοσμική ακτινοβολία, πέραν της απευθείας ακτινοβολίας του ανθρώπου έχει ως συνέπεια και την παραγωγή μίας σειράς ραδιενεργών ισοτόπων τα οποία χαρακτηρίζονται ως ραδιενεργά ισότοπα κοσμικής προέλευσης. Τα ραδιοϊσότοπα κοσμικής προέλευσης, δημιουργούνται μέσω των αντιδράσεων της κοσμικής ακτινοβολίας με τα σταθερά ισότοπα της ατμόσφαιρας. Τα πιο σημαντικά ραδιοϊσότοπα που παράγονται μέσω της διαδικασίας αυτής είναι ο άνθρακας-14 (^{14}C), η χρήση του οποίου έχει φανεί ιδιαίτερα σημαντική στην αρχαιολογία για τον

υπολογισμό της ηλικίας διαφόρων υλικών, το νάτριο-22 (^{22}Na) και το βυρήλλιο-7 (^7Be). Η συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων κοσμικής προέλευσης δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία και το χρόνο.

2.1.2 Τεχνητή ραδιενέργεια

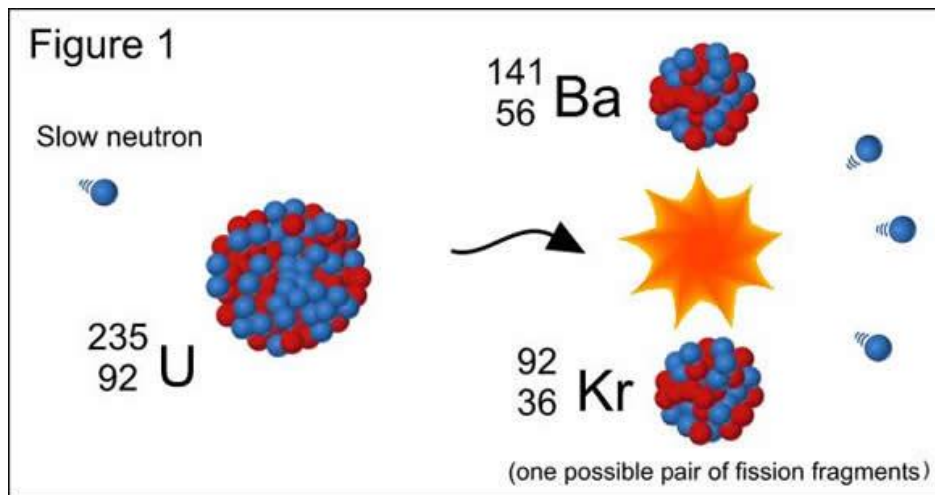
Η τεχνητή ραδιενέργεια και κατά συνέπεια τα τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα, δεν υπάρχουν στη φύση αλλά παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Το 1934, οι Frederic και Irene Joliot-Curie, ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν το πρώτο ραδιενεργό ισότοπο ^{32}P , θέτοντας τις βάσεις για τη θεμελίωση του όρου τεχνητή ραδιενέργεια.

Εν συνεχεία, το 1939, οι O. Hahn και F. Strassmann, ανακάλυψαν τη θερμοπυρηνική σχάση, ενώ το 1942 ο E. Fermi κατόρθωσε να πετύχει την πρώτη αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση. Αργότερα, το 1943 κατασκευάστηκε ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας γραφίτη, στην Πολιτεία Tennessee των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. (Παπαστεφάνου 2010)

Τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα, παράγονται κυρίως μέσω των σχάσεων που λαμβάνουν χώρα σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα ή κατά τη διάρκεια μίας πυρηνικής έκρηξης.

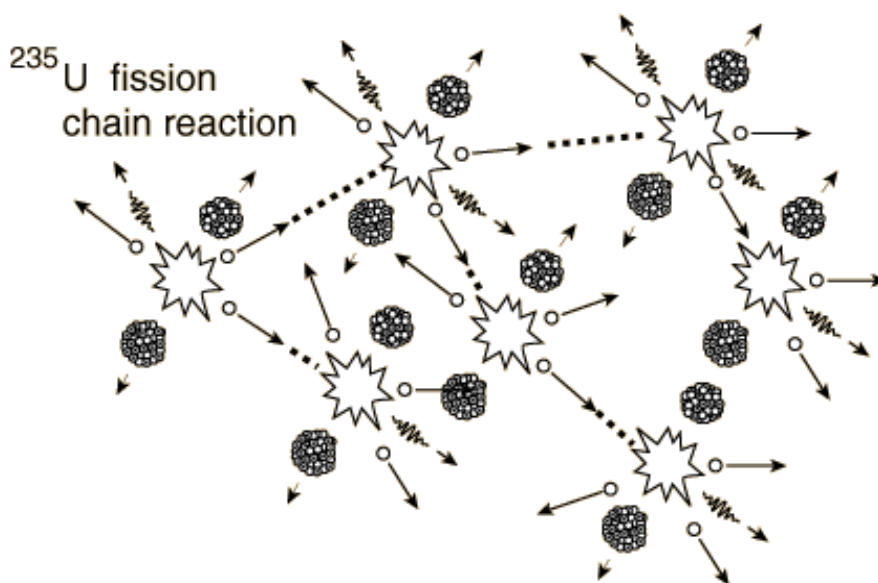
Κατά τη σχάση, ο σύνθετος πυρήνας διασπάται σε δύο θραύσματα, τα οποία εκπέμπουν σχεδόν ταυτόχρονα δύο έως τρία νετρόνια και πολλά φωτόνια. Τα δύο αυτά θραύσματα που παράγονται από τη διαδικασία αυτή, είναι πυρήνες ασταθείς, οι οποίοι όταν αποδιεγερθούν εκπέμπουν με τη σειρά τους σωματίδια β^- και γ . (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005)

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 2.2, ο πυρήνας ^{235}U , βομβαρδίζεται με ένα νετρόνιο και διασπάται σε πυρήνα βαρίου και κρυπτού, δίνοντας τρία νετρόνια και ακτινοβολία- γ . Μέσω της διαδικασίας αυτής ελευθερώνονται τρία νετρόνια, τα οποία με τη σειρά τους, μπορούν να προκαλέσουν τη σχάση ισάριθμων γειτονικών πυρήνων, προκαλώντας έτσι την εκπομπή νέων νετρονίων, τα οποία συντελούν στη διάσπαση των επόμενων πυρήνων κ.ο.κ. Η όλη αυτή διαδικασία, είναι γνωστή ως **πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση**.



Σχήμα 2.2: Παράδειγμα σχάσης πυρήνα ^{235}U

Τα ραδιοϊσότοπα τα οποία συσσωρεύονται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, είναι αφενός αυτά που παράγονται μέσω της πυρηνικής σχάσης στην καρδιά των αντιδραστήρων και αφετέρου τα προϊόντα ενεργοποίησης που σχηματίζονται από τη νετρονική ενεργοποίηση υλικών που βρίσκονται στον αντιδραστήρα. Οι χρόνοι ημιζωής των ραδιοϊσοτόπων αυτών ποικίλουν. Τα πιο σημαντικά ραδιοϊσότοπα είναι τα ισότοπα του καισίου (^{137}Cs , ^{134}Cs), του στροντίου (^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{91}Sr κλπ.), του ιωδίου (^{129}I , ^{131}I κλπ.), του σιδήρου (^{55}Fe , ^{59}Fe κλπ.) καθώς και ραδιοϊσότοπα των στοιχείων ^{85}Kr , ^{140}Ba , ^{106}Ru , ^{51}Cr , ^{60}Co κ.α. (Παπαστεφάνου 2010).



Σχήμα 2.3: Πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση κατά τη σχάση του ^{235}U

2.2 Εσωτερικές και εξωτερικές πηγές ραδιενέργειας

Με τον όρο εσωτερική πηγή ραδιενέργειας, εννοούμε ραδιενεργά ισότοπα τα οποία καταλήγουν στο εσωτερικό του ανθρώπινου οργανισμού, για παράδειγμα μέσω των τροφών ή και της αναπνοής. Οι κυριότερες φυσικές πηγές εσωτερικής ακτινοβολήσης για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι το ^{40}K και τα ισότοπα των σειρών ^{238}U και ^{232}Th .

Το ^{40}K είναι ισότοπο του φυσικού καλίου σε ποσοστό 0.0118% (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005). Το κάλιο είναι απαραίτητο τόσο για τα ζώα, τα φυτά όσο και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Τα φυτά λαμβάνουν την απαραίτητη ποσότητα καλίου από τη γη, τα ζώα εν συνεχεία από τα φυτά μέσω των τροφών και ο άνθρωπος από τη διατροφή.

Το ^{238}U μαζί με τα θυγατρικά του εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας. Ένα από τα στοιχεία που βρίσκονται στη σειρά διάσπασης του ουρανίου (^{238}U), είναι το ράδιο (^{226}Ra), το οποίο έχει παρόμοιες χημικές ιδιότητες με το ασβέστιο, με αποτέλεσμα να απορροφάται και να συγκεντρώνεται στα οστά. Το ράδιο (^{226}Ra), μέσω α -διάσπασης παράγει το ραδόνιο (^{222}Rn), ένα άοσμο, άχρωμο, άγευστο και χημικά αδρανές αέριο, τα θυγατρικά του οποίου εισέρχονται δια της αναπνοής και αποτίθενται στους πνεύμονες του ανθρώπου.

Το ^{222}Rn παράγεται τόσο στο έδαφος, στο νερό, όσο και στα οικοδομικά υλικά. Μπορεί να διαφύγει μέσω των ρωγμών του εδάφους και να διασκορπιστεί στην ατμόσφαιρα ή να διαλυθεί στα υπόγεια, επιφανειακά και θαλάσσια ύδατα. Η ποσότητα του ραδονίου που εκλύεται, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το είδος των πετρωμάτων και την περιεκτικότητα αυτών σε ουράνιο. Η συγκέντρωση του ραδονίου, παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή σε ανοιχτούς χώρους, εφόσον διαχέεται ελεύθερα στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τους κλειστούς χώρους, όπου συγκεντρώνεται στον εσωτερικό αέρα. (Χίνης 2010)

Το ^{232}Th , διασπάται με α -διάσπαση, ενώ μέσα στη ραδιενεργό σειρά του απαντάται το ραδιενεργό ράδιο-228 (^{228}Ra), το οποίο επίσης συγκεντρώνεται στα οστά. Μέσω α -διάσπασης, το ^{228}Ra δίνει το ισότοπο του ραδονίου ^{220}Rn , το οποίο αναφέρεται και ως θορόνιο, με συνέπειες παρόμοιες με αυτές του ^{222}Rn .

Ως εξωτερικές πηγές ραδιενέργειας, εννοούνται οι ραδιενεργές ουσίες οι οποίες βρίσκονται έξω από τον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά τον ακτινοβολούν με τα σωματίδια που παράγουν κατά τη διάσπαση. Εξωτερικές πηγές αποτελούν τόσο η κοσμική ακτινοβολία η οποία παρατίθεται αναλυτικά στην παράγραφο 2.1.1.2, όσο και τα ραδιενεργά ισότοπα στην επιφάνεια της γης, στα οικοδομικά υλικά και στον αέρα (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005).

2.3 Ανθρωπογενείς πηγές ραδιενέργειας στο περιβάλλον

Οι κυριότερες και πιο σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές ραδιενέργειας στο περιβάλλον, είναι οι ακόλουθες:

2.3.1 Χρήση πυρηνικών όπλων και πυρηνικές δοκιμές

Η χρήση των πυρηνικών όπλων συνέβαλε ενεργά στη ρύπανση της ατμόσφαιρας μέσω της αύξησης των ποσοστών ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Οι πυρηνικές δοκιμές, είχαν ως άμεση συνέπεια τη ρύπανση του περιβάλλοντος με προϊόντα σχάσης, τα οποία, επικάθησαν στα σωματίδια της σκόνης. Από τα σωματίδια αυτά, τα πιο βαριά παρέμειναν στην περιοχή της έκρηξης, ενώ τα ελαφρύτερα με τη σειρά τους αιωρούνταν και διαχέονταν ελεύθερα στην ατμόσφαιρα (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005).

2.3.2 Ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας

Η ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας μέσω της λειτουργίας πυρηνικών σταθμών και την παραγωγή πυρηνικού καυσίμου, οδήγησε στη ρύπανσή του περιβάλλοντος. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα, μπορεί να αναφερθεί το πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl, το 1986, για το οποίο έχει εκτιμηθεί πως διέφυγαν στο περιβάλλον περίπου 6 τόνοι πυρηνικού καυσίμου υπό μορφή σωματιδίων. Από τα πιο σημαντικά σε κλίμακα επικινδυνότητας ραδιοϊσότοπα που μεταφέρθηκαν διαμέσου της ατμόσφαιρας και επικάθησαν στο έδαφος ήταν αυτά του καϊσίου (Cs) (Παπαστεφάνου 2010).

2.3.3 Δομικά υλικά

Τα δομικά υλικά, όπως η πέτρα, ο γύψος, το μπετόν κλπ. τα οποία είναι ορυκτής προέλευσης, εμπεριέχουν ορισμένες ποσότητες ραδίου, με αποτέλεσμα να εκλύεται αέριο ραδόνιο, το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά και στο δομημένο χώρο.

Έχει παρατηρηθεί πως η δόση που λαμβάνεται μέσω της συγκέντρωσης ραδονίου σε κλειστούς χώρους, εξαρτάται άρρηκτα από το είδος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ παρουσιάζει μεγάλες γεωγραφικές και τοπικές διακυμάνσεις (Αντωνόπουλος-Ντόμης 2005).

2.3.4 Υλικά TENORM

Η επαύξηση της ραδιενέργειας (Bq/kg) ενός φυσικά ραδιενεργού υλικού, η οποία παρουσιάζεται σε ορισμένες τεχνολογικές εφαρμογές, όπως κατά την καύση ορυκτών καυσίμων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων υλικών, τα οποία χαρακτηρίζονται ως **TENORM** (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) (Αναγνωστάκης 2010). Στα υλικά αυτά μπορεί να απαντώνται όλα τα φυσικά ραδιοϊσότοπα, και ιδιαίτερα αυτά των σειρών ^{238}U και ^{232}Th , καθώς και το ^{40}K .

Τα περισσότερα TENORM υλικά αποτελούν παραπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών και γίνεται προσπάθεια εύρεσης χρήσεών τους, τόσο για οικονομικούς λόγους όσο και για τον περιορισμό της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την απόρριψή τους. Σαν παράδειγμα υλικών TENORM, μπορεί να αναφερθεί η τέφρα που παράγεται από την καύση λιγνίτη στους λιγνιτικούς σταθμούς, η οποία συχνά χρησιμοποιείται ως πρόσθετο σε οικοδομικά υλικά και ιδιαίτερα για την παραγωγή τσιμέντου.

2.4 Ραδιενεργός ρύπανση και ραδιενέργεια του εδάφους

Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει συμβάλει σημαντικά στη ραδιενεργό ρύπανση του εδάφους. Σημαντικό ρόλο κατέχουν οι πυρηνικές δοκιμές, τα πυρηνικά ή ραδιολογικά ατυχήματα, η καύση ορυκτών καυσίμων σε θερμικά εργοστάσια

παραγωγής ενέργειας και άλλες παρόμοιες ενέργειες οι οποίες συντελούν στη ραδιενεργό ρύπανση του εδάφους.

Στον Ελλαδικό χώρο, έχουν πραγματοποιηθεί εκτενώς έρευνες για τη μέτρηση των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{238}U και ^{40}K που απαντώνται στο έδαφος καθώς επίσης και για τη μέτρηση του τεχνητού ραδιοϊσοτόπου ^{137}Cs , που αποτέθηκε στο έδαφος έπειτα από το πυρηνικό ατύχημα στο Chernobyl. (Simopoulos 1989, Papastefanou 1996, Karangelos 2004, Rouni 2001).

Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν, προέκυψαν οι εξής μέσες τιμές για τη συγκέντρωση των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων στα ελληνικά εδάφη (Anagnostakis 1996):

^{226}Ra (^{238}U): 25 ± 19 Bq/kg

^{228}Ra (^{232}Th): 21 ± 16 Bq/kg

^{40}K : 355 ± 220 Bq/kg

^{238}U : 40 ± 37 Bq/kg

^{210}Pb : 83 ± 60 Bq/kg

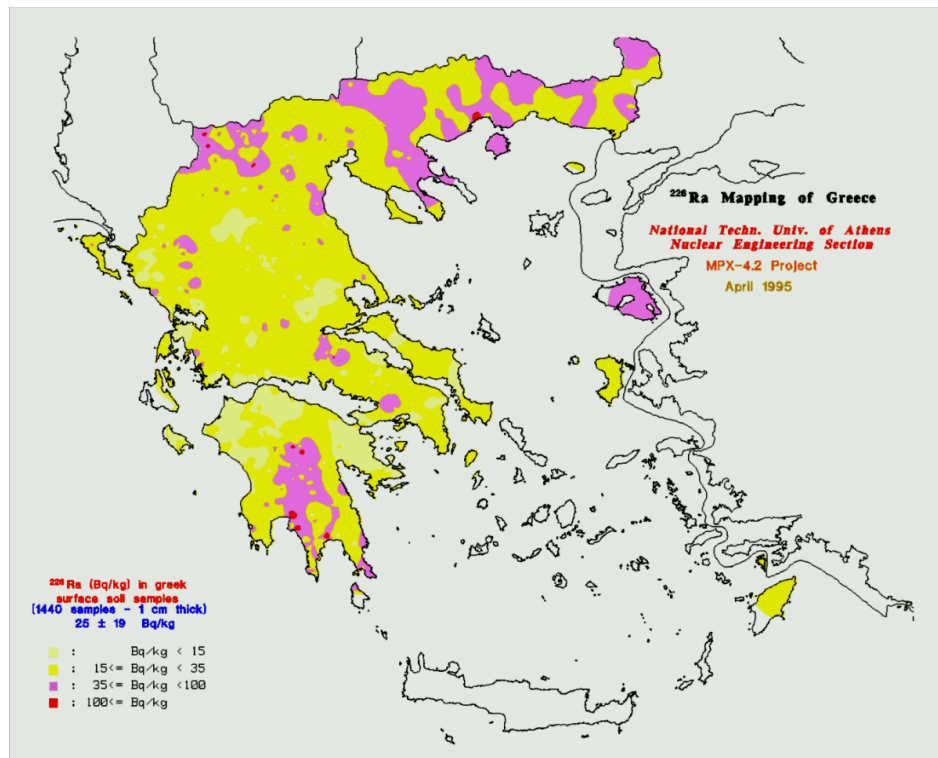
Όσον αφορά στην εναπόθεση ^{137}Cs λόγω του πυρηνικού ατυχήματος στο Chernobyl, εκτιμήθηκε κατά μέσο όρο σε 10kBq/m^2 , με μέγιστη τιμή 149kBq/m^2 (Petrooulos 1996).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές για τη συγκέντρωση των φυσικών ραδιοϊσοτόπων ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U στα Ελληνικά εδάφη και παγκοσμίως, ενώ παρατηρείται πως τα Ελληνικά χώματα έχουν γενικότερα χαμηλότερα επίπεδα ραδιενέργειας εν συγκρίσει με τις παγκόσμιες μέσες τιμές.

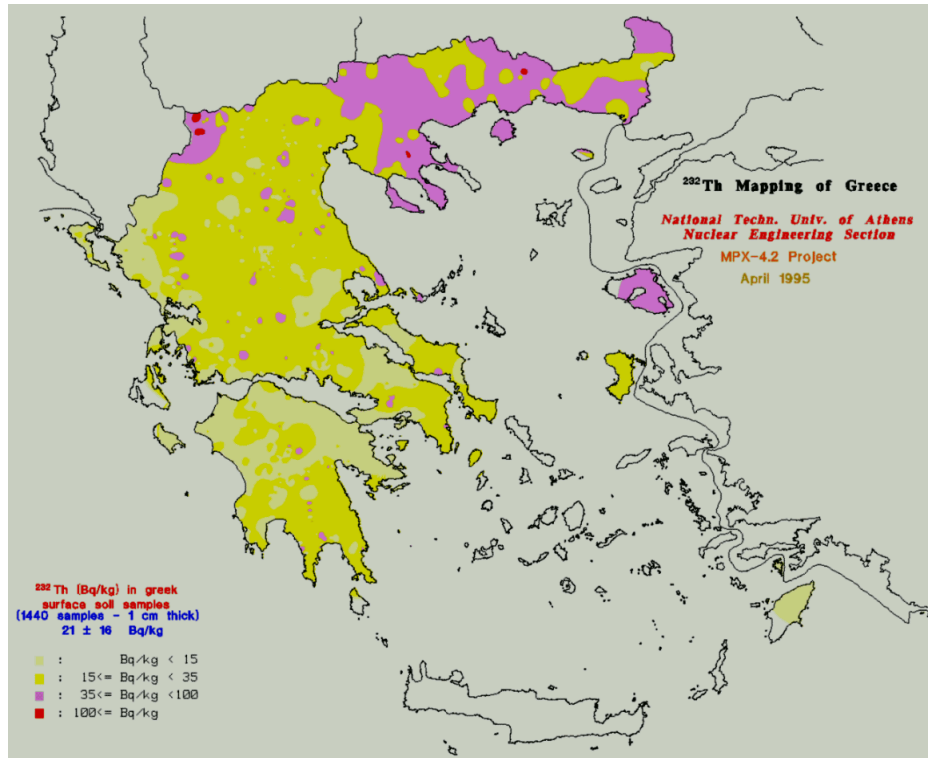
Συγκέντρωση Ραδιενέργειας (Bq/kg)				
Ισότοπα	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^{238}U
Μέσες τιμές (Ελλάδα)	360	21	25	25
Μέσες τιμές (Παγκοσμίως)	400	30	35	35

Πίνακας 2.1: Μέσες τιμές ραδιενέργειας του εδάφους στην Ελλάδα και παγκοσμίως (UNSCEAR 2000)

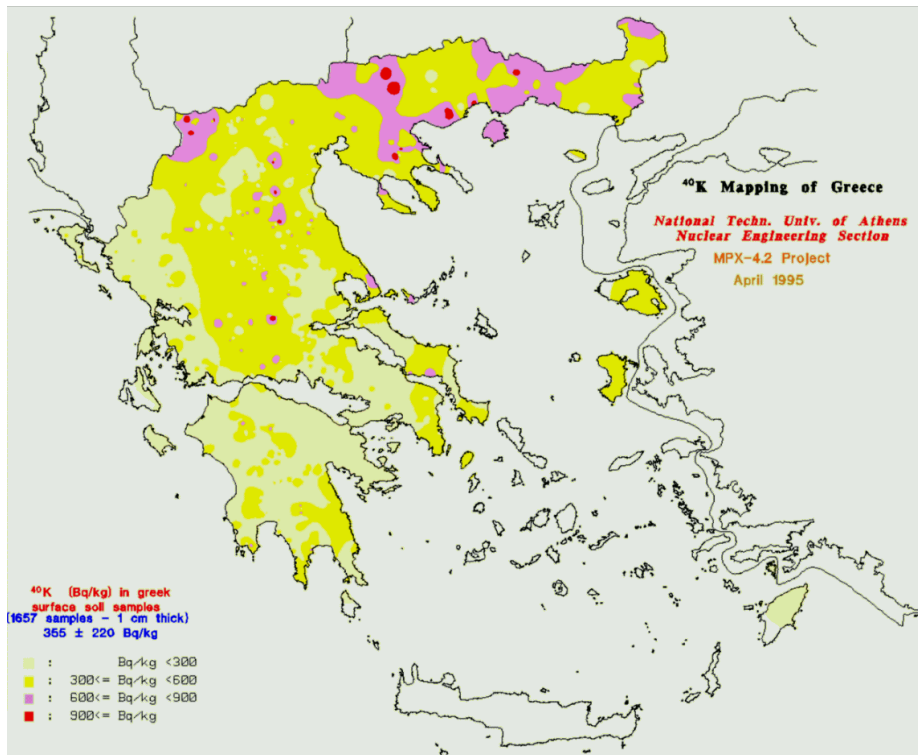
Στους χάρτες που ακολουθούν απεικονίζονται η φυσική ραδιενέργεια (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th) καθώς και του τεχνητού ραδιοϊσοτόπου ^{137}Cs στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη, όπως προέκυψαν από δειγματοληψίες και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ.



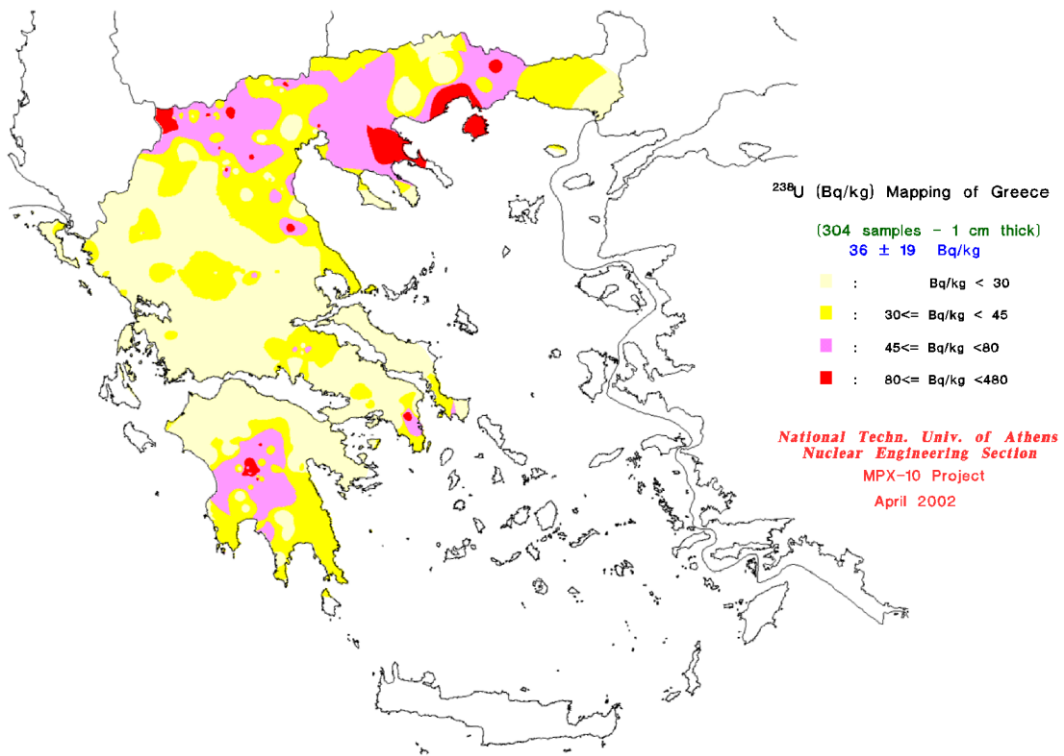
Σχήμα 2.4: Ραδιενέργεια του ^{226}Ra στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη (Anagnostakis 1996).



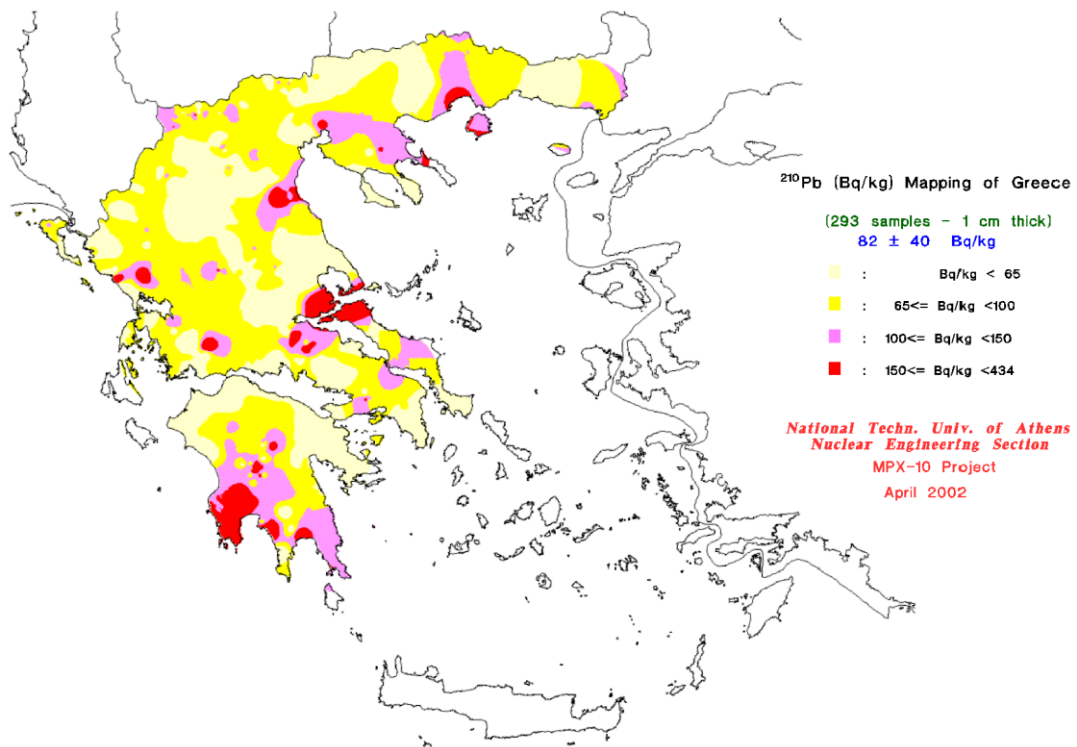
Σχήμα 2.5: Ραδιενέργεια του ^{232}Th στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη (Anagnostakis 1996).



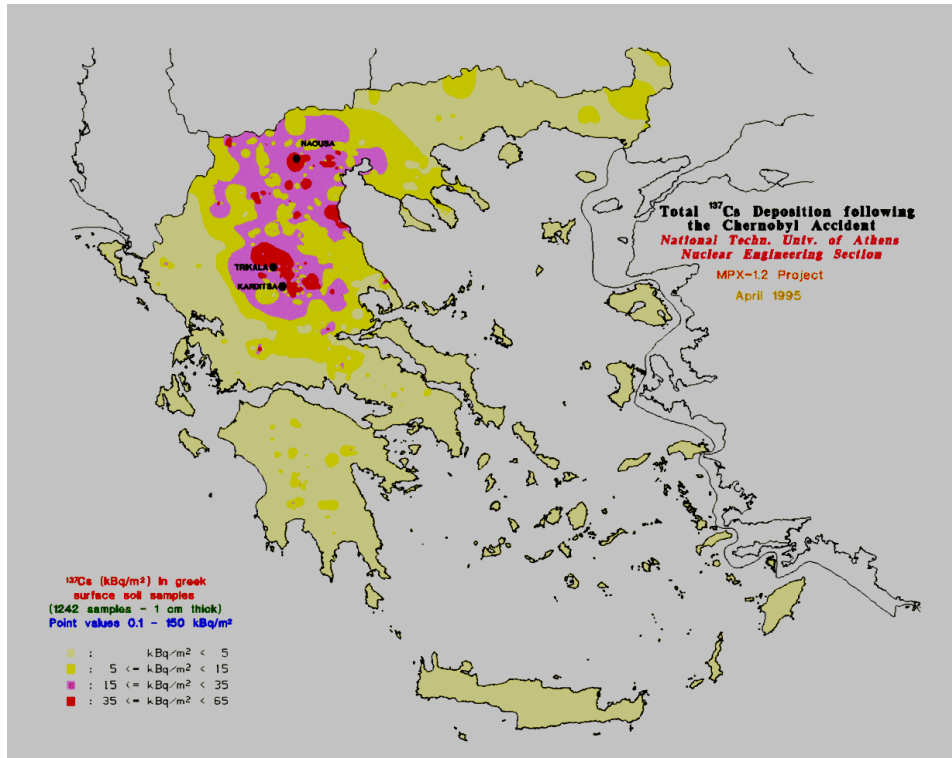
Σχήμα 2.6: Ραδιενέργεια του ^{40}K στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη (Anagnostakis 1996).



Σχήμα 2.7: Ραδιενέργεια του ²³⁸U στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη (Anagnostakis 2002).



Σχήμα 2.8: Ραδιενέργεια του ²¹⁰Pb στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη (Anagnostakis 2002).



Σχήμα 2.9: Ραδιενέργεια του ^{137}Cs στα ελληνικά επιφανειακά εδάφη μετά από το ατύχημα στο Chernobyl (Petrooulos 1996).

Για την περιοχή της Μεγαλόπολης στην οποία έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες λόγω των ατμοηλεκτρικών σταθμών καύσης λιγνίτη που λειτουργούν, πέραν της φυσικής ραδιενέργειας των επιφανειακών εδαφών, έχουν εκτιμηθεί και ενδεικτικές τιμές για τη συγκέντρωση του ^{238}U (^{234}Th), ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th (^{228}Th) και ^{40}K που περιέχονται στο καύσιμο και στην ιπτάμενη τέφρα αντίστοιχα, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 (Rouni 2001).

Φυσική ραδιενέργεια (Bq/kg)					
Ισότοπα	^{230}U (^{234}Th)	^{226}Ra	^{210}Pb	^{232}Th (^{228}Th)	^{40}K
Λιγνίτης	306±13	346±8	361±10	19±9	173±14
Ιπτάμενη τέφρα	964±7	904±9	1158±11	1158±11	454±11

Πίνακας 2.2: Φυσική ραδιενέργεια λιγνίτη και ιπτάμενης τέφρας στην περιοχή της Μεγαλόπολης (Rouni 2001).

2.5 Ρύπανση του εδάφους

Ως ρύπανση εδάφους, ορίζεται η εναπόθεση - συγκέντρωση διαφόρων ουσιών στο έδαφος, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στην αλλοίωση της σύστασής του και να διαταράξουν την ομαλή λειτουργία του οικοσυστήματος.

Οι ουσίες που προκαλούν τη ρύπανση του εδάφους, μπορεί να είναι απόρροια φυσικών διεργασιών, οπότε χαρακτηρίζονται ως φυσικοί ρύποι, ή ακόμα και ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ανθρωπογενείς ρύποι. Οι βασικότερες αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι οι ενδεικτικά οι εξής (Παπαστεφάνου 2010, Παλαμάρα 2012):

I. Μέσω φυσικών διεργασιών:

- Ανάβλυση πετρελαίου
- Έκρηξη ηφαιστείου
- Σεισμοί

II. Μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων:

- Χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία
- Βιομηχανικά στερεά ή υγρά απόβλητα
- Ατυχήματα κατά τη διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης διαφόρων τύπων αποβλήτων
- Ραδιοϊσότοπα λόγω ραδιολογικών ή πυρηνικών ατυχημάτων
- Οργανικές ουσίες και μέταλλα από οικιακά απόβλητα
- Βαρέα μέταλλα, τα οποία προέρχονται από την καύση στερεών και υγρών καυσίμων

Κεφάλαιο 3: Ιπτάμενη Τέφρα

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού, είναι η παρουσίαση της δημιουργίας και χρήσης των γαιανθράκων και κατ' επέκταση του λιγνίτη, η ανάλυση των γενικών χαρακτηριστικών της ιπτάμενης τέφρας, καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο παράγεται και χρησιμοποιείται.

3.1 Δημιουργία και κατηγοριοποίηση γαιανθράκων

Η λέξη γαιάνθρακας, προέρχεται από τα συνθετικά «γαία», που σημαίνει γη και «άνθρακας» και απαντάται στο υπέδαφος. Με τον όρο «γαιάνθρακας», εννοούμε τα οργανικά ιζήματα τα οποία δημιουργήθηκαν από υπολείμματα φυτικής ύλης (δέντρα, φυτά, θάμνους κλπ.), τα οποία υπέστησαν τη διαδικασία της ανθρακοποίησης, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό τους σε άνθρακα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κάτω από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Αρχικά, παρατηρείται η μετατροπή της φυτικής ύλης σε τύρφη, μέσω διαφόρων χημικών και βιολογικών μεταβολών. Κατά τις μεταβολές αυτές μειώνεται η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και υδρογόνο, τα οποία διαφεύγουν με μορφή αερίου (π.χ. μεθάνιο), αλλά αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα, ο οποίος παραμένει στο υπόλειμμα.

Αναλυτικότερα, κατά τη διαδικασία της ανθρακοποίησης, η αλλιώς κατά τη διαδικασία της ενανθράκωσης, μεγάλες ποσότητες φυτικών καταλοίπων, μετασχηματίζονται σε μορφές ορυκτού άνθρακα, απουσία διαφόρων παραγόντων οι οποίοι παρεμποδίζουν την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής. Τέτοιοι παράγοντες, οι οποίοι έχουν αρνητική επίδραση επάνω στη δράση διαφόρων μικροοργανισμών στους οποίους οφείλεται η διαδικασία της ανθρακοποίησης στα αρχικά της στάδια, είναι κυρίως το οξυγόνο της ατμόσφαιρας καθώς και οι ακραίες τιμές pH του περιβάλλοντος.

Η διαδικασία της ενανθράκωσης πραγματοποιείται σε δύο φάσεις:

- **Βιοχημική ενανθράκωση**, κατά την οποία μικροοργανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν το οξυγόνο διαφόρων οξυγονούχων ουσιών, μετατρέπουν τη

φυτική ύλη σε τύρφη και εν συνεχεία σε λιγνίτη. Εφόσον πραγματοποιηθεί ο πλήρης σχηματισμός σε λιγνίτη σταματά η δράση τους.

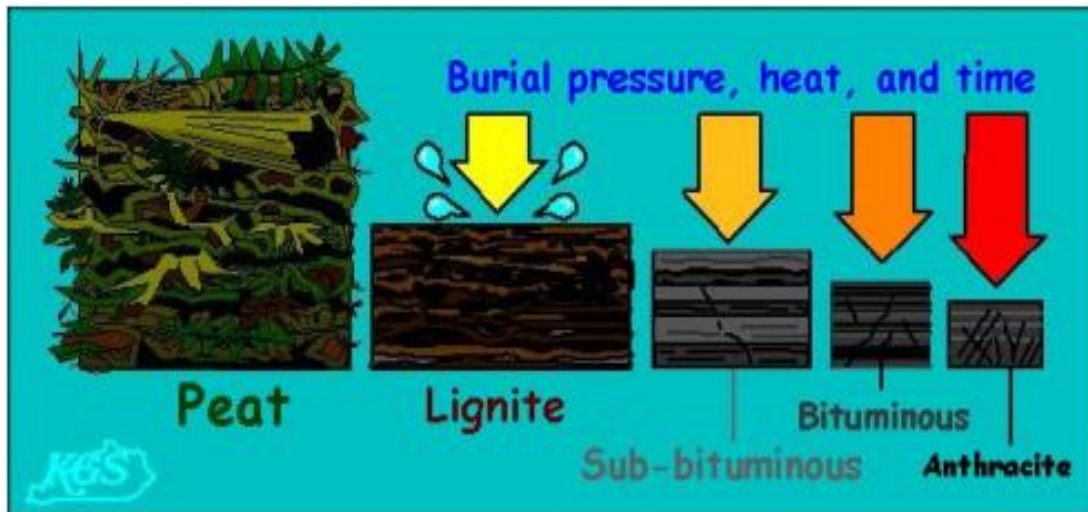
- **Δυναμοχημική ενανθράκωση**, που ακολουθεί τη βιοχημική και κατά την οποία, οι αρχικές μορφές άνθρακα μετατρέπονται σε ευγενέστερες μορφές όπως φαιός άνθρακας (brown coal), πισσούχος (bittuminous coal) και ανθρακίτης. Η διαδικασία αυτή, για να πραγματοποιηθεί πρέπει να επικρατούν κατάλληλες συνθήκες, υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Η θερμοκρασία μπορεί να κυμαίνεται από 10°C έως και 150°C. Ειδικότερα:
 - Από **10-40°C** έχουμε το σχηματισμό φαιού άνθρακα
 - Από **40-100°C** έχουμε το σχηματισμό πισσούχου άνθρακα
 - Από **100-150°C** έχουμε το σχηματισμό ανθρακίτη



Σχήμα 3.1: Τύρφη στο αρχικό στάδιο, ενώ ακόμα βρίσκεται στην επιφάνεια



Σχήμα 3.2: Μετατροπή τύρφης σε άμορφη μάζα με την πάροδο του χρόνου



Σχήμα 3.3: Στάδια μετατροπής της τύρφης σε ανθρακίτη

Η κατάταξη και κατηγοριοποίηση των γαιανθράκων, γίνεται με βάση το βαθμό ανθρακοποίησης. Όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία της ανθρακοποίησης, δηλαδή της μετατροπής, διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (της τάξης των 10^6 ετών) κάτω από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Ως αποτέλεσμα, δύσκολα συναντώνται δύο παρόμοιες μορφές κοιτασμάτων άνθρακα ανά τον κόσμο. Μέσω του βαθμού ανθρακοποίησης λοιπόν, οι γαιάνθρακες κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Τύρφη
- Λιγνίτης
- Ημιβιτουμενιούχος γαιάνθρακα
- Βιτουμενιούχος γαιάνθρακας
- Ανθρακίτης

3.2 Διαδικασία καύσης του άνθρακα και παραγωγή αποβλήτων

Η διαδικασία καύσης του άνθρακα, αποτελεί ανά τον κόσμο μία από τις σημαντικότερες και σπουδαιότερες πηγές παραγωγής ενέργειας. Θα πρέπει να αναφερθεί, πως μία μονάδα παραγωγής ενέργειας της τάξης των 1000MW καταναλώνει περίπου 12.000 tn/day άνθρακα, με αποτέλεσμα η παραγωγή αποβλήτων ανά έτος να κυμαίνεται στους 10^6 tn. (Llorens 2001).

Σύμφωνα με τις παλαιότερες μεθόδους καύσης άνθρακα, η διαδικασία ξεκινά με την κονιοποίηση του άνθρακα και στη συνέχεια ακολουθεί η καύση αυτού σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 1500°C και πάνω. Κατά τη διαδικασία της καύσης ένα ποσοστό περί τα 70-90% της ανόργανης ύλης που περιέχεται στο καύσιμο (Vassilev 2005). Όσον αφορά το μέγεθος και την ποιότητα των στερεών υπολειμμάτων που παράγονται κατά την καύση του άνθρακα, εξαρτώνται από την ποσότητα άνθρακα που χρησιμοποιείται κάθε φορά, καθώς και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η καύση.

Οι γαιάνθρακες, πέραν από τα βασικά συστατικά τα οποία εμπεριέχουν όπως άνθρακας, οξυγόνο, άζωτο, θείο, υδρογόνο, περιέχουν ακόμα και μία σειρά από ιχνοστοιχεία, όπως πυρίτιο, ασβέστιο, χλώριο, νάτριο, καθώς και μία σειρά από χημικές ενώσεις όπως, ανθρακικές, χλωριούχες, πυριτικές (χαλαζίας) κλπ. (Vassilev 2006).

Οι γαιάνθρακες, όπως και τα περισσότερα φυσικά υλικά, περιέχουν επίσης και ραδιενεργά στοιχεία όπως είναι το ουράνιο, το θόριο, καθώς επίσης και τα θυγατρικά τους. Κατά τη διάρκεια της καύσης, τόσο τα ραδιενεργά όσο και τα μη-ραδιενεργά ιχνοστοιχεία παραμένουν στα υπολείμματα της καύσης ή διαχέονται μέσω των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Ο τρόπος με τον οποίο θα κατανεμηθούν τα στοιχεία αυτά στα στερεά απόβλητα ή στα καυσαέρια, εξαρτάται από την πτητικότητά τους. Εν γένει, τα ραδιοϊσότοπα τα οποία βρίσκονται στην ανόργανη άκαυστη μάζα του άνθρακα, συναντώνται στην τέφρα βάσης και στην ιπτάμενη τέφρα. Εξαίρεση αποτελούν τα πτητικά συστατικά και τα αέρια, τα οποία διαχέονται στην ατμόσφαιρα, όπως παραδείγματος χάριν το ραδόνιο, το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέσω των καυσαερίων από την καμινάδα. Εν αντιθέσει όμως με τα ραδόνιο, τα μη πτητικά συστατικά όπως το θόριο, το ουράνιο και τα περισσότερα θυγατρικά τους, παραμένουν στα στερεά απόβλητα (Papastefanou 2008, Simopoulos 1989).

3.3 Παραγωγή τέφρας

Η ιπτάμενη τέφρα, είναι στερεό κοκκώδες υλικό, το οποίο παράγεται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της διαδικασίας της καύσης γαιανθράκων. Οι γαιάνθρακες, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν ορυκτά υλικά και περιέχουν διάφορα ιχνοστοιχεία, μέσα στα οποία συναντώνται και αυτά της

φυσικής ραδιενεργού σειράς του ^{238}U και του ^{232}Th , καθώς επίσης και το φυσικό ραδιενεργό ισότοπο του καλίου, ^{40}K .

Κατά την καύση του γαιάνθρακα, το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών συστατικών μετατρέπεται σε CO_2 και CO , ενώ τα ανόργανα τήκονται και ενοποιούνται, σχηματίζοντας διάφορα σωματίδια ποικίλων μεγεθών (τέφρα). Η μάζα της τέφρας, είναι πολύ μικρότερη από την αρχική μάζα του γαιάνθρακα πριν την καύση, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των ραδιενεργών ισοτόπων να είναι μεγαλύτερες (Παπαδόπουλος 2010).

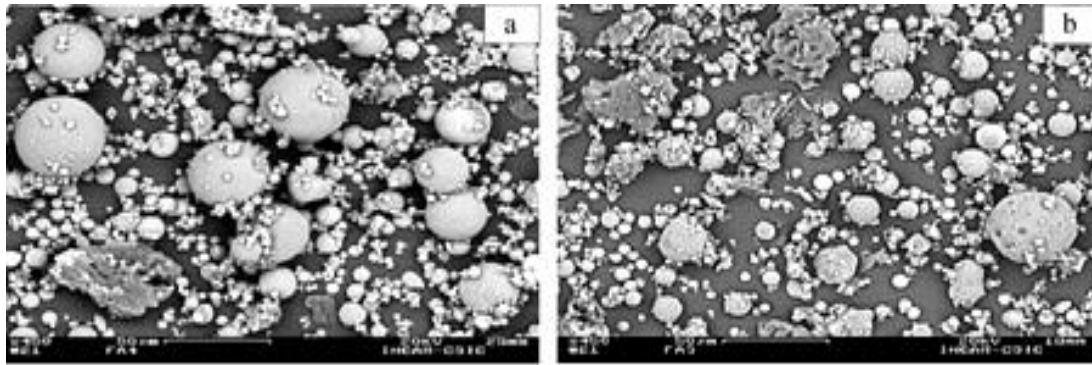
Το σχήμα των σωματιδίων είναι κυρίως σφαιρικό, ενώ κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας, τα σωματίδια αυτά υπόκεινται και σε άλλες περαιτέρω διεργασίες, όπως διόγκωση λόγω της απελευθέρωσης αερίων από το εσωτερικό, ή ακόμα και έκρηξη των διογκωμένων σωματιδίων και σχηματισμό άλλων, με μικρότερες διαστάσεις. Τα ανόργανα συστατικά, στη συνέχεια μεταφέρονται σε χώρους χαμηλότερων θερμοκρασιών, όπου ψύχονται και στερεοποιούνται (Vassilev 2005, Παπαδόπουλος 2010).

3.4 Γενικά χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας

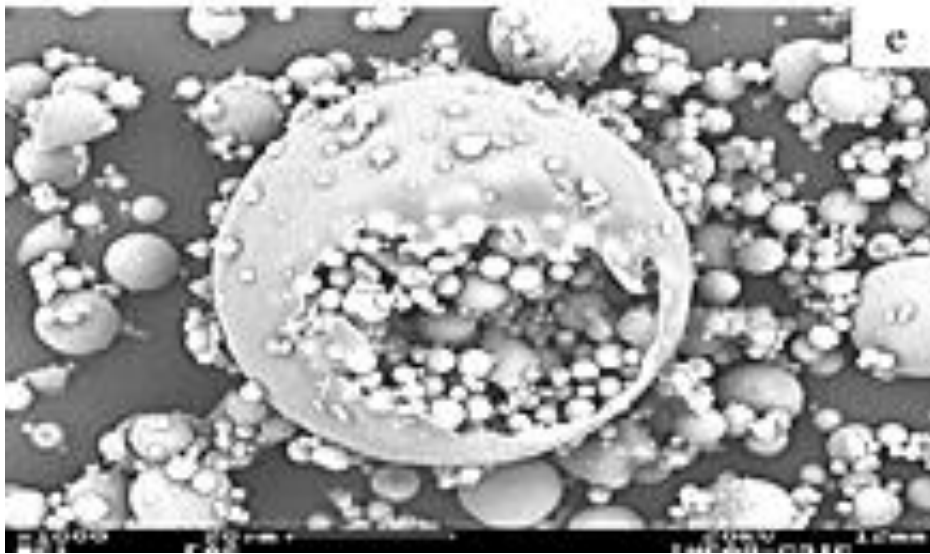
Οι ιδιότητες της ιπτάμενης τέφρας καθορίζονται από τη σύσταση του γαιάνθρακα που χρησιμοποιήθηκε στην καύση, τις συνθήκες καύσης, την ικανότητα συγκράτησης των φίλτρων, καθώς και από την αποθήκευσή της.

Το χρώμα της ιπτάμενης τέφρας, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία, εφόσον παρατηρείται να μεταβάλλεται από ανοιχτό γκρι έως μαύρο, γεγονός το οποίο οφείλεται στο ποσοστό άνθρακα και σιδήρου καθώς και στην υγρασία που εμπεριέχει. (Vassilev 2006). Το μέγεθος καθώς και το σχήμα των κόκκων της ιπτάμενης τέφρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προέλευση και την ομοιομορφία του άνθρακα.

Ένα μεγάλο ποσοστό των κόκκων που απαρτίζουν την ιπτάμενη τέφρα, δείχνει πως πρόκειται για ένα υαλώδες, στερεό ή κενό υλικό, με σφαιρικό σχήμα. Οι ιπτάμενες τέφρες, συνίστανται από απλές και πιο σύνθετες σφαίρες, οι οποίες περιέχουν ακόμα μικρότερους σφαιρικούς κόκκους στο εσωτερικό τους. (Kassoli – Fournaraki 1993, Vassilev 2006).



Σχήμα 3.4: Δείγματα ιπτάμενης τέφρας (Vassilev 2003)



Σχήμα 3.5: Ιπτάμενη τέφρα

3.5 Εμπλουτισμός ιπτάμενης τέφρας

Κατά την καύση του λιγνίτη, τα ιχνοστοιχεία που εμπεριέχονται σε αυτόν, κατανέμονται με διαφορετικό τρόπο στα σωματίδια της τέφρας. Η κατανομή των διαφόρων ιχνοστοιχείων, εξαρτάται από τη διάμετρο που έχουν οι κόκκοι της τέφρας, καθώς και από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου. Ο διαχωρισμός των ιχνοστοιχείων, πραγματοποιείται με την κατανομή αυτών σε τρεις ομάδες, με βάση τη συμπεριφορά τους κατά τη διαδικασία της καύσης. (Μανωλοπούλου 1990, Παπαδόπουλος 2010).

Ομάδα 1 : Την ομάδα αυτή, αποτελούν τα στοιχεία: Al, Ca, Cs, Fe, Hf, K, Na, Mg, Rb, Sc, Si, Th, Ti, καθώς και οι σπάνιες γαίες. Χαρακτηριστικό των στοιχείων αυτών, είναι οι σταθερές τους συγκεντρώσεις, ανεξάρτητες δηλαδή από τη

διάμετρο των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Τα στοιχεία αυτά, χαρακτηρίζονται ως λιθόφιλα, δεν ατμοποιούνται, ενώ ενώνονται με αργυλοπυριτικές ενώσεις δημιουργώντας έναν «πολύτο», ο οποίος εν συνεχεία μπορεί να μετατραπεί σε υγρή ή ιπτάμενη τέφρα.

Ομάδα 2 : Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα στοιχεία: As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se, Sb, W, Zn. Τα στοιχεία αυτά, τα οποία χαρακτηρίζονται ως χαλκόφιλα, ενώνονται με το θείο σχηματίζοντας χημικές ενώσεις. Για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερος πτητικά, ατμοποιούνται κατά τη διαδικασία της καύσης και εγκαταλείπουν το θάλαμο καύσης μαζί με τα καυσαέρια. Όσον αφορά τη συγκέντρωση των συγκεκριμένων στοιχείων στους κόκκους της τέφρας, αυξάνεται όσο μικραίνει η διάμετρος των κόκκων (εμπλουτισμός). Συμπερασματικά, οι μικρότεροι κόκκοι είναι περισσότερο εμπλουτισμένοι σε αυτά τα στοιχεία & ιχνοστοιχεία.

Ομάδα 3: Τα στοιχεία που απαρτίζουν αυτή την ομάδα είναι: Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V και U. Τα στοιχεία αυτά, παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις στα σωματίδια της τέφρας με μικρότερη διάμετρο, αλλά όχι τόσο μεγάλες όσο αυτά της ομάδας 2, ενώ το κάθε ένα μπορεί να συμπεριφέρεται είτε ως λιθόφιλο, είτε ως χαλκόφιλο.

Τα στοιχεία της 2^{ης} ομάδας και ορισμένα της 3^{ης}, ατμοποιούνται, λόγω την υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της καύσης. Εν συνεχεία, ακολουθώντας τα καυσαέρια πηγαίνουν στα ηλεκτροστατικά φίλτρα, όπου και ψύχονται, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται στα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας. Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων αυτών στην ιπτάμενη τέφρα, γίνεται μεγαλύτερη όσο η διάμετρος των κόκκων ελαττώνεται, με αποτέλεσμα τα λεπτόκοκκα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας να είναι περισσότερο εμπλουτισμένα από τα χονδρόκοκκα.

3.6 Ραδιολογικά χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας

Στους γαιάνθρακες, περιέχονται ραδιοϊσότοπα των ραδιενεργών σειρών του ²³⁸U και του ²³²Th, καθώς και το φυσικό ραδιοϊσότοπο ⁴⁰K, οι συγκεντρώσεις των οποίων διαφέρουν, ανάλογα με την ποιότητά τους. Μέσω του εμπλουτισμού των ιχνοστοιχείων κατά τη διάρκεια της καύσης, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.5, τα ραδιενεργά ισότοπα παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση στην ιπτάμενη

τέφρα, κυρίως στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ατμοποίησης των παραπάνω ισοτόπων λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της καύσης. Στη συνέχεια, ερχόμενα σε επαφή με τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας που έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία συμπυκνώνονται και επικάθονται σε αυτά. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια όμως, σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα, έχουν μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα μάζας) με αποτέλεσμα αφενός να ψύχονται γρηγορότερα και αφετέρου να καθιστούν πιθανότερη τη συμπύκνωση και εναπόθεση των ισοτόπων σε αυτά. (Πέππας 2008, Παλαμάρα 2010).

Στον Ελλαδικό χώρο έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ραδιενεργών ισοτόπων που απαντώνται στην ιπτάμενη τέφρα που παράγεται από τους λιγνιτικούς σταθμούς που λειτουργούν στις περιοχές Μεγαλόπολης και Πτολεμαΐδας. Ειδικότερα, στην περιοχή της Μεγαλόπολης λειτουργούν δύο σταθμοί καύσης λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σταθμός Α με ισχύ 600MW, αποτελείται από τρεις μονάδες και λειτουργεί από τις αρχές του 1970, ενώ ο σταθμός Β με ισχύ 300MW αποτελείται από μία μονάδα και λειτουργεί από τις αρχές του 1990 (Παλαμάρα 2010). Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην ιπτάμενη τέφρα της Μεγαλόπολης το 2004 από το ΕΤΠ-ΕΜΠ έδωσαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	^{238}U	^{226}Ra	^{210}Pb	^{232}Th	^{40}K
Ειδική ραδιενέργεια Bq/kg	964	904	1158	53	454

Πίνακας 3.3: Ραδιενέργεια ιπτάμενης τέφρας στην περιοχή της Μεγαλόπολης (Karangelos 2004)

3.7 Ταξινόμηση της ιπτάμενης τέφρας

Η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας ως παραπροϊόν της καύσης άνθρακα καθώς και η ορθή εκμετάλλευσή της αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Για το λόγο αυτό και καθώς η σύστασή της έχει τον πρωτεύοντα ρόλο, έχουν θεσπιστεί ορισμένα συστήματα ταξινόμησης, σύμφωνα με τα οποία οι ιπτάμενες τέφρες διαχωρίζονται ως εξής:

Με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN197-1 οι ιπτάμενες τέφρες, διακρίνονται ανάλογα με τη σύστασή τους σε:

- **Πυριτικές (V)**, οι οποίες περιέχουν λιγότερο από 10% οξείδιο του ασβεστίου (CaO)
- **Ασβεστολιθικές (W)**, οι οποίες περιέχουν από 10-35% οξείδιο του ασβεστίου (CaO)

Οι πυριτικές τέφρες, παρουσιάζουν ποζολανικές ιδιότητες, ενώ οι ασβεστολιθικές έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

Με βάση το Αμερικάνικο πρότυπο ASTM C 618 οι ιπτάμενες τέφρες, διακρίνονται ανάλογα με τη σύστασή τους σε:

- **Τέφρες τύπου N**, που περιλαμβάνουν ακατέργαστες ποζολάνες με τουλάχιστον 70% SiO₂, Al₂O₃ και Fe₂O₃
- **Τέφρες τύπου F** που παράγονται από την καύση ανθρακίτη ή βιτουμενιούχου κάρβουνου με τουλάχιστον 70% SiO₂, Al₂O₃ και Fe₂O₃
- **Τέφρες τύπου C**, όπου πρόκειται για εκείνες που παράγονται από την καύση λιγνίτη και υπό-βιτουμενιούχου κάρβουνου και περιέχουν από 50-70% SiO₂, Al₂O₃ και Fe₂O₃

Οι τέφρες τύπου F περιέχουν συνήθως λιγότερο από 5% CaO, ενώ οι τέφρες τύπου C περιέχουν μεγάλη ποσότητα CaO (10-35%) (ΙΤΕΣΚ 2013).

3.8 Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες

Η ετήσια παραγωγή ιπτάμενης τέφρας στην Ελλάδα, κυμαίνεται περίπου στους 10 εκατομμύρια τόνους. Το 70% αυτής προέρχεται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) της Πτολεμαΐδας ενώ το υπόλοιπο 30% από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) της Μεγαλόπολης (Κόλιας 2005). Ένα ποσοστό περίπου 12% της ετήσιας παραγωγής της ιπτάμενης τέφρας, χρησιμοποιείται από τσιμεντοβιομηχανίες με σκοπό την παραγωγή σύνθετου τσιμέντου (Σακελλαρίου 2003).

Οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εμφάνιση υψηλής περιεκτικότητας σε θειικά κατά περιόδους

- Η περιεκτικότητά τους σε CaO, όσον αφορά την περιοχή της Πτολεμαΐδας κυμαίνεται πάνω από 20% (περίπου 33%), ενώ στην περιοχή της Μεγαλόπολης το ποσοστό είναι περίπου 10-15%. Για το λόγο αυτό, η ιπτάμενη τέφρα της Μεγαλόπολης, ανήκει στην κατηγορία των ασβεστολιθικών τεφρών με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN197-1 ενώ σύμφωνα με το Αμερικάνικο πρότυπο ASTM C 618, ανήκει στην κατηγορία N. εφόσον το άθροισμα των οξειδίων του πυριτίου (SiO_2), του αργιλίου (Al_2O_3) και του σιδήρου (Fe_2O_3) που περιέχει, ξεπερνούν το 70% (Papanicolaou 2003)

Οι Ελληνικές τέφρες γενικότερα υπάγονται στην κατηγορία των ασβεστολιθικών τεφρών (W), με βάση το πρότυπο *EN197-1* και στις τέφρες τύπου C σύμφωνα με το *ASTM C 618* εφόσον περιέχουν αρκετά υψηλά ποσοστά CaO.

3.9 Αξιοποίηση και τρόποι χρήσης της ιπτάμενης τέφρας

Η διάθεση και αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας, έχει αποτελέσει ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα για τις εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα, εφόσον, όπως έχει προαναφερθεί, η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο μίγμα συστατικών, πολλά από τα οποία μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, διαπιστώνεται πως το ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας το οποίο χρησιμοποιείται και διατίθεται προς αξιοποίηση είναι συνήθως περί τα 20-40% της ποσότητας που παράγεται συνολικά (Iyer 2001, Choi 2002).

3.9.1 Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την παραγωγή τσιμέντου.

Η χρήση της ιπτάμενης τέφρας στην παραγωγή τσιμέντου ξεκίνησε γύρω στη δεκαετία του 1950-1960, σε χώρες που παρουσίαζαν ανάπτυξη την εποχή εκείνη και συνεχίζει να αυξάνεται. Ωστόσο, παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα, όσον αφορά τη χρήση της τέφρας στην παραγωγή τσιμέντου, κυρίως λόγω της ανομοιογένειας που υπάρχει τόσο στη σύστασή της (χημική και ορυκτολογική), όσο και στην περιεκτικότητά της σε διάφορες χημικές ενώσεις. Για τους παραπάνω λόγους, στις τσιμεντοβιομηχανίες έχει πλέον καθιερωθεί η πραγματοποίηση μίας σειράς ελέγχων

όσων αφορά τα θειικά (SO_3), τα ελεύθερα οξείδια του ασβεστίου (CaO_x), την κοκκομετρία και γενικότερα οποιουδήποτε παράγοντα μπορεί να επηρεάσει την αντοχή και τη δραστηκότητα του τσιμέντου.

Στην Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία, η χρήση της ιπτάμενης τέφρας είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη εδώ και πολλά χρόνια στην παραγωγή τσιμέντου τύπου Π-35 (τσιμέντο Portland με ποζολάνες).

3.9.2 Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την παραγωγή σκυροδέματος.

Η ιπτάμενη τέφρα, χρησιμοποιείται και για την παραγωγή σκυροδέματος, αντικαθιστώντας είτε κάποια αδρανή υλικά (υλικά τα οποία κατά την ανάμειξή τους με τσιμέντο δε συμμετέχουν ενεργά στην τήξη του κονιάματος), είτε τσιμέντο Portland, πράγμα το οποίο συνεπάγεται μεγάλο οικονομικό όφελος. Επίσης, χρησιμοποιείται και για παραγωγή σκυροδέματος μεγάλων διατομών. Με χρήση ιπτάμενης τέφρας έχουν κατασκευαστεί πολλά φράγματα, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και το φράγμα της Πλατανόβρυσης στον ποταμό Νέστο, για το οποίο συνολικά χρησιμοποιήθηκαν περίπου 110.000 τόνοι κατεργασμένης ιπτάμενης τέφρας από μονάδες της Πτολεμαΐδας.



Σχήμα 3.6: Φράγμα Πλατανόβρυσης

3.9.3 Χρήση ιπτάμενης τέφρας για την στερεοποίηση επικίνδυνων αποβλήτων

Η ιπτάμενη τέφρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απορρόφηση ανόργανων ουσιών που μπορεί να υπάρχουν στα απόβλητα που παράγονται από τις βιομηχανίες, λόγω της απορροφητικής της ικανότητας, καθώς επίσης και ως μέσο σταθεροποίησης-στερεοποίησης επικίνδυνων αποβλήτων, με αποτέλεσμα τη μετατροπή αυτών σε στερεή μάζα έτσι ώστε να καθίσταται ευκολότερη και ασφαλέστερη η μεταφορά και η αποθήκευσή τους.

Η ιπτάμενη τέφρα, λόγω των απορροφητικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει, την τελευταία δεκαετία έχει αποτελέσει ένα ιδιαίτερα οικονομικό μέσο για την απομάκρυνση των επικίνδυνων μετάλλων από υγρά βιομηχανικά απόβλητα (Πάνιας 2005).

3.9.4 Άλλες χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας

Μερικές ακόμα χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας είναι:

- i. Στη γεωργία ως βελτιωτικό εδάφους.
- ii. Για την ανάκτηση μετάλλων και διαφόρων στοιχείων που απαντώνται στην ιπτάμενη τέφρα.
- iii. Για την παραγωγή συνθετικών ζεόλιθων (αργιλοπυριτικά κρυσταλλικά στερεά, η χρήση των οποίων είναι ιδιαίτερα σημαντική στη βιομηχανία εφόσον χρησιμοποιούνται ως μέσο απορρύπανσης λόγω της μεγάλης προσροφητικής τους ικανότητας).

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία δειγμάτων χώματος από την περιοχή Μεγαλόπολης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία σειρά πειραμάτων, με σκοπό την ανίχνευση ραδιενεργών ισοτόπων σε δείγματα επιφανειακού χώματος και χώματος βάθους, τα οποία ελήφθησαν από την περιοχή της Μεγαλόπολης.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας στις διάφορες περιοχές της Μεγαλόπολης, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια προηγούμενης Μ.Ε. στον ΕΠΤ-ΕΜΠ όπου και περιγράφεται αναλυτικά (Παλαμάρα 2010).

Η επιλογή της περιοχής, έγινε βάση του ραδιολογικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει, εφόσον στην περιοχή παρατηρούνται αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, αλλά και λειτουργούν σε αυτήν δύο ατμοηλεκτρικοί σταθμοί καύσης λιγνίτη.

Μέσω των σταθμών αυτών, κατά τη διαδικασία της καύσης λιγνίτη, παράγεται ιπτάμενη τέφρα, ένα κλάσμα της οποίας διαφεύγει στην ατμόσφαιρα και αποτίθεται στο έδαφος.

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για τη μελέτη των δειγμάτων χώματος, δίνονται πληροφορίες για τους ανιχνευτές και τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων και γίνεται και αναφορά στις βασικές αρχές της γ -φασματοσκοπικής ανάλυσης.

4.1 Συλλογή και ονομασία δειγμάτων

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν συνολικά 6 δείγματα, τα οποία είχαν συλλεχθεί στα πλαίσια προηγούμενης Μ.Ε. στην περιοχή της Μεγαλόπολης (Παλαμάρα 2010). Για λόγους ομοιομορφίας, στην παρούσα εργασία θα διατηρείται η αρίθμηση των δειγμάτων της Δ.Ε. Παλαμάρα, σύμφωνα με την οποία τα δείγματα που εξετάζονται αντιστοιχούν στους κωδικούς 6 έως 9.

Πιο συγκεκριμένα, η 6^η σε αριθμό δειγματοληψία, έλαβε χώρα στην περιοχή «Κατσίμπαλης» Μεγαλόπολης, με συντεταγμένες:

- γεωγραφικό πλάτος 22.0924
- γεωγραφικό μήκος 37.4533

Η 7^η δειγματοληψία, πραγματοποιήθηκε στο δρόμο «Κατσίμπαλης-Καρύταινα» Μεγαλόπολης, με συντεταγμένες:

- γεωγραφικό πλάτος 22.0556
- γεωγραφικό μήκος 37.4825.

Η 8^η δειγματοληψία έλαβε χώρα στην περιοχή «Κουρουνιός» Μεγαλόπολης, με συντεταγμένες:

- γεωγραφικό πλάτος 22.0389
- γεωγραφικό μήκος 37.4177

Τέλος, η 9^η δειγματοληψία, έγινε στην περιοχή «Καρυές προς Καστανοχώρι» Μεγαλόπολης, με συντεταγμένες:

- γεωγραφικό πλάτος 22.0406
- γεωγραφικό μήκος 37.4177

Η ονομασία των δειγμάτων που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία, είχε αποφασιστεί να γίνει με τη χρήση δύο αριθμών, από τους οποίους, ο πρώτος θα δηλώνει τον αριθμό της δειγματοληψίας και ο δεύτερος τον αριθμό του κάθε δείγματος. Έτσι, για παράδειγμα, ο αριθμός 6-2, σημαίνει πως το δείγμα προέρχεται από την έκτη (6^η) σε σειρά δειγματοληψία και είναι το δεύτερο σε σειρά δείγμα.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.1) αναγράφονται αναλυτικά ο αριθμός της δειγματοληψίας, η περιοχή, η ημέρα και η ώρα που πραγματοποιήθηκε η συλλογή του κάθε δείγματος, ο αριθμός που χαρακτηρίζει κάθε δείγμα που μελετήθηκε και η μάζα του.

<i>A/A</i>	<i>Περιοχή</i>	<i>Ημερομηνία</i>	<i>Ώρα</i>	<i>Αριθμός Δείγματος</i>	<i>Μάζα Δείγματος (g)</i>
6	<i>Κατσίμπαλης</i>	<i>14/4/2010</i>	<i>11:25</i>	6-2	8360
7	<i>Δρόμος Κατσίμπαλη- Καρύταινα</i>	<i>14/4/2010</i>	<i>13:00</i>	7-1	8300
8	<i>Κουρουνιός</i>	<i>14/4/2010</i>	<i>15:00</i>	8-1 8-2	11500 13700
9	<i>Δρόμος Καρνές προς Καστανοχώρι</i>	<i>14/4/2010</i>	<i>16:30</i>	9-1 9-2	12500 14100

Πίνακας 4.4: Στοιχεία Δειγματοληψιών

Στην παρούσα εργασία, προετοιμάσθηκαν και αναλύθηκαν εξολοκλήρου τα δείγματα 7-1, 6-2, 8-2 και 9-2. Τα επιφανειακά Δείγματα 8-1 και 9-1 είχαν αναλυθεί σε προηγούμενη ΔΕ, χωρίς όμως να έχει προηγουμένως εξασφαλισθεί ραδιενεργός ισορροπία. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε νέα γ-φασματοσκοπική ανάλυση των δειγμάτων αυτών, εφόσον είχε πλέον αποκατασταθεί ραδιενεργός ισορροπία.

4.2 Εξοπλισμός προετοιμασίας δειγμάτων

4.2.1 Συσκευή κοσκίνισματος AS-200 CONTROL

Για την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή AS-200 Control, η οποία αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα:

- Συσκευή δόνησης με ενσωματωμένο ηλεκτρονικό πίνακα
- Δύο μεταλλικές ράβδους στήριξης των κόσκινων
- Καπάκι το οποίο ασφαλίζει και συγκρατεί την όλη διάταξη κατά τη διάρκεια του κοσκίνισματος

Στη συγκεκριμένη συσκευή, μπορούν να τοποθετηθούν το πολύ οκτώ κόσκινα και ένας συλλέκτης βάσης ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος της στοίβας των κόσκινων.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν επτά κόσκινα, τα οποία είχαν διαμέτρους οπών 2mm, 1mm, 500μm, 250μm, 125μm, 63μm και 45μm και ο συλλέκτης βάσης.

Η λειτουργία της συσκευής ρυθμίζεται από έναν πίνακα ελέγχου ο οποίος βρίσκεται στο πρόσθιο τμήμα της. Με τη βοήθεια του πίνακα αυτού ρυθμίζονται επίσης:

- ο επιθυμητός χρόνος κοσκίνισματος
- το πλάτος κοσκίνισματος καθώς και
- η λειτουργία κοσκίνισματος με διακοπές



Σχήμα 4.1: Συσκευή AS 200 Control

Η συσκευή AS-200 Control συνοδεύεται από το λογισμικό EasySieve, το οποίο μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή επιτρέπει τη ρύθμιση των λειτουργιών της συσκευής κατά τη διαδικασία του κοσκίνισματος, την αποθήκευση των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Μετά το πέρας της διαδικασίας τα κόσκινα μαζί με το χώμα ζυγίζονται μέσω ηλεκτρονικής ζυγαριάς η οποία είναι συνδεδεμένη με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

4.2.2 Συσκευή Θραύσης Retsch BB51

Η συσκευή Retsch BB51, χρησιμοποιήθηκε για το σπάσιμο του χονδρόκοκκου κλάσματος, δηλαδή του κλάσματος άνω των 2mm. Είναι μία συσκευή

η οποία μπορεί να τεμαχίσει οποιοδήποτε σκληρό υλικό, με σκληρότητα μεγαλύτερη από 3 στην κλίμακα Mohs. Σε περίπτωση που το υλικό προς θραύση έχει σκληρότητα <3, υπάρχει περίπτωση δημιουργίας συσσωματωμάτων με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η λειτουργία της συσκευής. (Πρέτζα 2009).

Η συσκευή αποτελείται από τις συνιστώσες:

- Χώρος άλεσης, υπό μορφή χοάνης, ο οποίος πλησιάζοντας το άκρο εξόδου στενεύει. Ο χώρος άλεσης, περιβάλλεται από έναν σταθερό μεταλλικό κέλυφος.
- Δύο βραχίονες θραύσης, ένας σταθερός και ένας κινητός, πάνω στους οποίους βρίσκονται τοποθετημένες σιαγόνες θραύσης που πραγματοποιούν τη σύνθλιψη του υλικού.
- Συρταρωτό δοχείο, χωρητικότητας περίπου 1000ml, στο οποίο συγκεντρώνεται το επεξεργασμένο υλικό.
- Οθόνη ένδειξης του ρυθμιζόμενου πλάτους σχισμής

Για τη λειτουργία της συσκευής θραύσης ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Απομακρύνονται οι σιαγόνες του σπαστήρα, γυρνώντας αριστερόστροφα, κατά δύο περιστροφές το χειροτροχό.
- Ξεκινά η συσκευή πατώντας το πλήκτρο Start
- Εν συνεχεία, περιστρέφεται ο χειροτροχός προς τα δεξιά μέχρις ότου οι σιαγόνες έλθουν σε επαφή.
- Η λειτουργία της συσκευής τερματίζεται πατώντας το πλήκτρο Stop, καθώς και το πλήκτρο μηδενισμού της ένδειξης της οθόνης, έτσι ώστε η ένδειξη της οθόνης να ταυτίζεται με το άνοιγμα των σιαγόνων του σπαστήρα.



Σχήμα 4.2: Συσκευή θραύσης Retsch BB51

4.3 Διαδικασία προετοιμασίας δειγμάτων

Πριν από την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων προηγήθηκε η παρακάτω διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων:

4.3.1 Διαδικασία ξήρανσης (αεροξήρανση)

Το δείγμα αφού ανοίχτηκε, τοποθετήθηκε (απλώθηκε) πάνω σε ένα μεγάλο χαρτόνι, με σκοπό να αφηθεί από δύο ημέρες έως μία εβδομάδα να *ξηρανθεί* σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η διαδικασία αυτή, γνωστή και ως *διαδικασία ξήρανσης* (αεροξήρανση), είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί εφόσον η πραγματοποίηση της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης και ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων των ισοτόπων, γίνεται *ανά μονάδα μάζας ξηρού υλικού*.

4.3.2 Ομογενοποίηση δείγματος

Ένα ομοιογενές δείγμα, παρουσιάζει σε όλη του τη μάζα τις ίδιες ιδιότητες καθώς και τα ίδια χαρακτηριστικά. Σαν αποτέλεσμα, κατά την επιλογή ενός υποδείγματος, δηλαδή μίας τυχαίας ποσότητας από ολόκληρο το δείγμα επιλέγεται μία αντιπροσωπευτική ποσότητα.

Εν αντιθέσει, εάν το δείγμα είναι ανομοιογενές, θα παρουσιάζει αρκετές διαφορές όσων αφορά τα χαρακτηριστικά του, με αποτέλεσμα να μην είναι αντιπροσωπευτικό.

Κατά τη διαδικασία της ομογενοποίησης, κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε ένα δοχείο επαρκούς όγκου περίπου 20L και αναδεύτηκε χειροκίνητα έως ότου γίνει ομογενές.

4.3.3 Αφαίρεση ξένων σωματιδίων

Μέσα σε κάθε δείγμα χώματος είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν ξένα σωματίδια (πχ. πέτρες, ξύλα, κλαριά), τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν.

4.3.4 Διαδικασία κοσκινίσματος

Κατά τη διαδικασία του κοσκινίσματος με τη χρήση της συσκευής AS-200 Control, το δείγμα χώματος τοποθετείται σε ένα κόσκινο, το οποίο αποτελείται από οπές σταθερού μεγέθους και με τη βοήθεια δόνησης τα σωματίδια με μικρότερο μέγεθος απ' αυτό των οπών, διαπερνούν το αρχικό κόσκινο με αποτέλεσμα το διαχωρισμό του χώματος σε διαφορετικά κλάσματα, ανάλογα με το μέγεθος του κόκκου.

Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός αυτός, τα κόσκινα, τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο στοιβαγμένα, με το κόσκινο που έχει τις μεγαλύτερες οπές να βρίσκεται στην κορυφή. Εν συνεχεία, ολόκληρο το σύστημα δονείται, έως ότου, μετά το πέρας της διαδικασίας, σε κάθε κόσκινο να βρίσκονται σωματίδια τα οποία να μπορούν να διαπεράσουν το αρχικό κόσκινο, αλλά όχι και το τελικό. Στην παρούσα εργασία, για κάθε δείγμα χώματος ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία κοσκινίσματος:

- Ζυγίστηκε αρχικά κάθε κόσκινο προκειμένου να είναι γνωστό ακριβώς το καθαρό του βάρος.
- Ζυγίστηκε η ποσότητα χώματος η οποία επρόκειτο να κοσκινιστεί.
- Πραγματοποιήθηκε μία σειρά δοκιμαστικών κοσκινισμάτων διάρκειας 20 λεπτών έκαστη, προκειμένου να διαπιστωθεί η κατάλληλη διάρκεια κοσκινίσματος για κάθε παρτίδα.
- Η όλη διαδικασία των δοκιμαστικών κοσκινισμάτων, ολοκληρώνεται σε ~100λεπτά, οπότε η μεταβολής της μάζας υλικού στα κόσκινα σε δύο διαδοχικά κοσκινίσματα μεταβάλλεται λιγότερο 0.5%.

Μετά την ολοκλήρωση του κοσκινίσματος το δείγμα χώματος από κάθε κόσκινο συλλέχθηκε προσεκτικά και αποθηκεύτηκε σε ειδικές σακούλες. Στο τέλος της όλης διαδικασίας, ακολούθησε ο καθαρισμός των κόσκινων, με χρήση συσκευής υπερήχων.

4.3.5 Συσκευασία χονδρόκοκκου κλάσματος (>2mm)

Για τη συσκευασία του χονδρόκοκκου κλάσματος (>2mm) χρησιμοποιήθηκε η συσκευή θραύσης Retsch BB51, έτσι ώστε να μετατραπεί το υλικό σε σκόνη πριν τη συσκευασία του.

4.3.6 Συσκευασία δειγμάτων

Εφόσον ολοκληρώθηκε η διαδικασία του κοσκινίσματος, το δείγμα χώματος, όντας πλέον χωρισμένο σε κλάσματα, συσκευάστηκε σε ειδικά πλαστικά κυλινδρικά δοχεία, συγκεκριμένων διαστάσεων ανάλογα με την επιθυμητή γεωμετρία δείγματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής γεωμετρίες:

- **Γεωμετρία 2.** Στη συγκεκριμένη γεωμετρία, το δείγμα γεμίζει εξολοκλήρου κυλινδρικό πλαστικό δοχείο, με ύψος 69mm και όγκο 282ml.
- **Γεωμετρία 5.** Στη γεωμετρία αυτή, τοποθετείται στο παραπάνω δοχείο τόσο δείγμα ώστε να καλύπτει ύψος ίσο με 22mm του δοχείου.

4.3.7 Σφράγιση δειγμάτων

Τα δείγματα, αφού τοποθετηθούν στα δοχεία σφραγίζονται αεροστεγώς ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή των αερίων ισοτόπων του ραδονίου. Με τον τρόπο αυτό, πραγματοποιείται η ανάλυση του ραδίου (^{226}Ra) και του θορίου (^{232}Th).

Η διαδικασία που ακολουθείται διαφέρει ανάλογα με τη γεωμετρία.

Για γεωμετρία 2, στην οποία το δείγμα γεμίζει ολόκληρο το πλαστικό δοχείο, αρκεί η κάλυψη ολόκληρου του δείγματος (πλαστικό κυλινδρικό κουτί), σε κάθε του επιφάνεια με ένα στρώμα ρητίνης, η οποία εμποδίζει την εκροή του ραδονίου.

Για τη γεωμετρία 5 αντίθετα, δεν αρκεί μόνο η κάλυψη του πλαστικού δοχείου με ρητίνη, διότι πάνω από το δείγμα, υπάρχει κενός χώρος, πράγμα το οποίο

συνεπάγεται ανομοιογένεια στην κατανομή του ραδονίου (^{222}Rn). Για το λόγο αυτό, η επιφάνεια του χώματος, καλύπτεται με ένα λεπτό πλαστικό δίσκο, ο οποίος έχει διάμετρο ίση με αυτή του πλαστικού δοχείου, ο οποίος σφραγίζεται στα τοιχώματα και την επιφάνεια με σιλικόνη. Εν συνεχεία το δείγμα καλύπτεται με λεπτό στρώμα ρητίνης.

Τα δείγματα, εφόσον σφραγιστούν, αφήνονται για χρονικό διάστημα περίπου 30 ημερών, ώστε να έλθουν σε ραδιενεργό ισορροπία το ^{226}Ra με το ^{222}Rn και τα βραχύβια θυγατρικά του, και εν συνεχεία τοποθετούνται στους ανιχνευτές για να αναλυθούν με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας.

4.4 Η μέθοδος γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης

Η μέθοδος της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης, χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την επεξεργασία του φάσματος των φωτονίων που εκπέμπονται κατά τη διαδικασία διάσπασης ραδιενεργών πυρήνων.

Αποτελεί μία μη καταστροφική μέθοδο του προσδιορισμού ραδιενεργών ισοτόπων:

- **ποιοτικά**, εφόσον επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός του είδους των πυρήνων που διασπώνται, δηλαδή ουσιαστικά ο προσδιορισμός του αντίστοιχου ραδιοϊσοτόπου και
- **ποσοτικά**, μέσω του προσδιορισμού του πλήθους των πυρήνων που διασπώνται ανά μονάδα χρόνου, για κάθε είδος πυρήνα, δηλαδή της ραδιενέργειας που περιέχεται στο αντίστοιχο δείγμα.

Η γ-φασματοσκοπική ανάλυση, αποτελεί μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την ανίχνευση και προσδιορισμό ραδιενεργών ισοτόπων, εφόσον τα περισσότερα ραδιενεργά ισότοπα εκπέμπουν ακτίνες-γ. Τα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζει η συγκεκριμένη μέθοδος σε σχέση με άλλες (α-φασματοσκοπία) είναι τα ακόλουθα:

- Τα περισσότερα ραδιενεργά ισότοπα που συνήθως ενδιαφέρουν εκπέμπουν ακτίνες-γ.

- Είναι μη καταστροφική μέθοδος.
- Τα δείγματα δε χρειάζονται ιδιαίτερη προετοιμασία π.χ. ραδιοχημική επεξεργασία όπως συμβαίνει στην α- φασματοσκοπία. Αρκεί τις περισσότερες φορές απλώς να συσκευαστεί το δείγμα σε δοχεία καθορισμένης γεωμετρίας και συγκεκριμένων διαστάσεων.
- Μπορεί και αναλύει ταυτόχρονα όλα τα γ-ραδιενεργά ισότοπα που μπορεί να εμπεριέχονται σε ένα δείγμα.

4.4.1 Ισότοπα που μελετήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας

Στο έδαφος, συναντάται μεγάλο πλήθος ραδιενεργών ισωτόπων, τα οποία είναι είτε φυσικά, αν προέρχονται από το ίδιο το έδαφος, είτε τεχνητά, αν αποτελούν αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας (^{137}Cs). Μέσω της ύπαρξης ραδιενεργού ισορροπίας, μπορούν να ανιχνευτούν ραδιοϊσότοπα όπως το ^{232}Th και το ^{226}Ra , τα οποία προσδιορίζονται από τα θυγατρικά τους σε ισορροπία.

Το ^{232}Th , δεν εκπέμπει φωτόνια τέτοια ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί. Ο προσδιορισμός του επιτυγχάνεται συνήθως μέσω των φωτονίων που εκπέμπουν τα θυγατρικά του. Από την εικόνα 2.1 του 2^{ου} κεφαλαίου όπου απεικονίζεται η ραδιενεργός σειρά του ^{232}Th , παρατηρείται πως το ^{228}Ra παρουσιάζει πολύ μεγάλο χρόνο ημιζωής ($T_{1/2}=5.75\text{y}$), με αποτέλεσμα η πραγματοποίηση ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ ^{228}Ra και ^{232}Th να είναι πρακτικά δύσκολη. Αντίστοιχα, το ^{228}Th , που αποτελεί θυγατρικό ισότοπο του ^{228}Ac , έχει και αυτό μεγάλο χρόνο ημιζωής $T_{1/2}=1.9\text{y}$, ώστε να αποκατασταθεί ισορροπία ανάμεσα σε αυτό και τα πατρικά του. Το ^{228}Th , έρχεται γρήγορα όμως σε ραδιενεργό ισορροπία με τα θυγατρικά του ισότοπα (^{224}Ra με $T_{1/2}= 3.66\text{d}$, ^{220}Rn με $T_{1/2}=55.6\text{s}$, ^{216}Po με $T_{1/2}= 0.15\text{s}$, ^{212}Pb με $T_{1/2}=10.6\text{h}$, ^{212}Bi με $T_{1/2}= 60.6\text{m}$, ^{208}Tl με $T_{1/2}=3.05\text{m}$, ^{216}Po με $T_{1/2}= 0.3\times 10^{-6}\text{s}$ και ^{208}Pb) και στη συνέχεια μπορεί να προσδιοριστεί από αυτά εφόσον εξασφαλισθεί η μη διαφυγή του αερίου ^{220}Rn . Έτσι λοιπόν, το ^{228}Ra , μπορεί να προσδιοριστεί από τα φωτόνια που εκπέμπει το θυγατρικό του ^{228}Ac στα 338.40 keV και 911.07 keV, ενώ το ^{228}Th , από τα φωτόνια που εκπέμπει ο ^{212}Pb στα 238.63 keV, καθώς και το ^{208}Tl στα 583.14 keV.

Το ^{226}Ra , το οποίο ανήκει στη ραδιενεργό σειρά του ^{238}U (εικόνα 2.1, 2^ο Κεφάλαιο), μπορεί να προσδιοριστεί από τα θυγατρικά του ^{222}Rn , δηλαδή τον ^{214}Pb , που εκπέμπει φωτόνια ενέργειας 295.22 keV και 351.99 keV και έχει $T_{1/2}=20.9\text{m}$ και το ^{214}Bi , το οποίο εκπέμπει στα 609.32 keV, 1120.28 keV και 1764.51 keV και έχει $T_{1/2}=19.7\text{m}$.

Ο ^{210}Pb , καθώς και το ^{234}Th , ανήκουν στη ραδιενεργό σειρά του ^{238}U . Ο ^{210}Pb προέρχεται από τη διάσπαση του ^{222}Rn , εκπέμπει χαμηλής ενέργειας φωτόνια, 46.52keV. Χαμηλής ενέργειας φωτόνια (63.29 keV) εκπέμπει και το ^{234}Th για το λόγο αυτό, ο προσδιορισμός τους επιτυγχάνεται συνήθως μόνο με ανιχνευτή χαμηλών ενεργειών.

Το ^{137}Cs , αποτελεί ανθρωπογενές ραδιενεργό ισότοπο, προϊόν σχάσεως, το οποίο εκπέμπει στα 661.62 keV το οποίο εμφανίστηκε στην ατμόσφαιρα κυρίως μετά τις πυρηνικές δοκιμές και κυρίως το πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl, οπότε και αποτέθηκε στο έδαφος. Για το λόγο αυτό, η κατανομή του στο έδαφος είναι ανομοιόμορφη.

Το ^{40}K είναι ένα φυσικό ραδιενεργό ισότοπο του στοιχείου κάλιο, και εκπέμπει φωτόνια ενέργειας 1460.75 keV. Το ^{40}K αποτελεί ένα σημαντικό ισότοπο για τους έμβιους οργανισμούς, ενώ απαντάται ως συστατικό σε πολλά ορυκτά του εδάφους. Η κατανομή του στο έδαφος θεωρείται ομοιόμορφη και ανεξάρτητη του βάθους, Για το λόγο αυτό, δεν αναμένεται μεγάλη διακύμανση της συγκέντρωσης ραδιενέργειας στα διάφορα κλάσματα του χώματος.

4.4.2 Ανιχνευτής HPGe (High Purity Germanium)

Ο ανιχνευτής HPGe του ΕΠΤ-ΕΜΠ είναι κατασκευασμένος από υψηλής καθαρότητας γερμάνιο (Ge), ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος σε κρυοστάτη κατασκευασμένο από αλουμίνιο και για το λόγο αυτό δεν είναι κατάλληλος για ανίχνευση φωτονίων χαμηλών ενεργειών.

Ο ανιχνευτής, έχει διάμετρο 55.3mm και ύψος 65mm, περιβάλλεται από ατσάλινη θωράκιση, ενώ έχει σχετική απόδοση 33.8% και διακριτική ικανότητα 1.78 keV, για φωτόνια ενέργειας 1332.50 keV. (Σάββα 2009)

4.4.3 Ανιχνευτής LEGe (Low Energy Germanium)

Ο ανιχνευτής LEGe του ΕΠΤ-ΕΜΠ είναι κυλινδρικός, με διάμετρο 50.5mm και ύψος 20mm και είναι κατασκευασμένος από γερμάνιο υψηλής καθαρότητας. Καθώς ο κρυστάτης του ανιχνευτή έχει παράθυρο από Be (υλικό χαμηλού Z), ο ανιχνευτής είναι κατάλληλος για ανίχνευση φωτονίων χαμηλής ενέργειας ($E < 200$ keV). Ο ανιχνευτής περιβάλλεται από ατσάλινη θωράκιση ενώ η χρήση του καλύπτει δύο διαφορετικές ρυθμίσεις ενίσχυσης:

- στη χαμηλή ενίσχυση, καλύπτει την περιοχή από 0-2000keV.
- στην υψηλή ενίσχυση, το φάσμα περιορίζεται από 0-200keV. (Σάββα 2009)

Για τις αναλύσεις που έγιναν στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο παραπάνω ανιχνευτές. Ο ανιχνευτής HPGe χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση ραδιοϊσοτόπων που εκπέμπουν φωτόνια υψηλής ενέργειας (^{137}Cs , ^{40}K , ^{228}Ac), ενώ ο ανιχνευτής LEGe για ανίχνευση ραδιοϊσοτόπων που εκπέμπουν φωτόνια χαμηλών ενεργειών (^{210}Pb , ^{234}Th).

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση δειγμάτων εδάφους από την περιοχή της Μεγαλόπολης

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η ανάλυση που έχει με στόχο τον προσδιορισμό των ραδιοϊσοτόπων που ανιχνεύονται στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα δειγμάτων χώματος που συλλέχθηκαν στην περιοχή της Μεγαλόπολης.

Τα δείγματα τα οποία μελετήθηκαν, είναι δείγματα τόσο επιφανειακού χώματος (με κωδικούς 6.2, 7.1, 8.1, 9.1) όσο και χώματος βάθους (με κωδικούς 8.2, 9.2). Στη συνέχεια του κεφαλαίου, παρατίθεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δειγμάτων, τα πειραματικά αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν.

5.2 Πειραματική διαδικασία

Στην παρούσα εργασία, όλα τα δείγματα επιφανειακού χώματος και χώματος βάθους, αναλύθηκαν με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας. Η μεθοδολογία για την επεξεργασία των δειγμάτων παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα παρακάτω στοιχεία για τα δείγματα τα οποία αναλύθηκαν:

- Ο κωδικός του κάθε δείγματος
- Η γεωμετρία στην οποία συσκευάστηκε το κάθε δείγμα
- Η (%) κατά βάρος υγρασία
- Η συνολική μάζα όπως μετρήθηκε πριν τα υποδείγματα σφραγιστούν με ρητίνη
- Η ξηρή μάζα.
- Το ποσοστό μάζας του συνολικού δείγματος που αντιστοιχεί σε κάθε κλάσμα.

Αρχικό Δείγμα	Κωδικός υποδείγματος	Διάμετρος σωματιδίων (μm)	Υγρασία (%)	Συνολική μάζα (g)	Ξηρή μάζα (g)	Ποσοστό Κλάσματος (%)	Γεωμετρία
6-2	MS563	Συνολικό	3.0	230.17	223.26		2
	MS564	<45	4.5	77.20	73.73	11	5
	MS565	45-63	4.0	75.00	72.00	6	5
	MS566	63-125	3.7	77.80	74.92	12	5
	MS567	125-250	4.0	76.80	73.73	16	5
	MS568	250-500	3.7	69.00	66.45	13	5
	MS569	500-1000	3.9	66.00	63.42	11	5
	MS570	1000-2000	3.5	57.40	55.39	10	5
MS571	>2000	1.4	123.70	121.97	21	5	
7-1	MS554	Συνολικό	5.0	265.76	252.47		2
	MS555	<45	5.2	66.36	62.91	2	5
	MS556	45-63	6.0	65.45	61.52	3	5
	MS557	63-125	4.6	81.54	77.79	4	5
	MS558	125-250	5.2	65.08	61.69	4	5
	MS559	250-500	6.5	55.37	51.77	5	5
	MS560	500-1000	6.0	60.74	57.09	7	5
	MS561	1000-2000	5.0	79.70	75.72	15	5
MS562	>2000	5.0	112.07	106.47	60	5	
8-1	MS534	Συνολικό	4.0	351.86	337.79		2
	MS535	<45	4.1	74.14	71.10	2	5
	MS536	45-63	4.1	82.27	78.90	2	5
	MS537	63-125	4.2	84.07	80.54	3	5
	MS538	125-250	4.1	81.71	78.36	5	5
	MS539	250-500	4.1	7.40	69.43	6	5
	MS540	500-1000	4.1	81.29	77.96	10	5
	MS541	1000-2000	3.9	85.77	82.42	19	5
MS542	>2000	3.0	101.32	98.28	53	5	
8-2	MS572	<45	4.5	73.20	69.91	2	5
	MS573	45-63	4.6	85.50	81.57	2	5
	MS574	63-125	4.2	101.40	97.14	3	5
	MS575	125-250	3.5	96.40	93.03	4	5
	MS576	250-500	3.7	98.60	94.95	5	5
	MS577	500-1000	3.9	107.20	103.02	9	5
	MS578	1000-2000	4.1	112.70	108.08	18	5
	MS579	>2000	3.4	140.30	135.53	57	5
9-1	MS544	Συνολικό	1.5	117.47	115.71		5
	MS545	<45	2.0	90.12	88.32	2	5
	MS546	45-63	2.0	113.72	111.50	2	5
	MS547	63-125	1.40	113.65	112.06	3	5
	MS548	125-250	1.60	114.45	112.62	5	5
	MS549	250-500	2.0	110.42	108.21	6	5
	MS550	500-1000	2.1	96.77	94.74	10	5
	MS551	1000-2000	2.0	91.54	89.71	19	5
MS552	>2000	0.5	129.86	129.21	53	5	
9-2	MS585	Συνολικό	2.8	376.31	365.80		2
	MS607	<45	3.0	101.70	98.65	4	5
	MS608	45-63	2.5	105.30	102.67	5	5
	MS609	63-125	2.5	103.30	100.72	7	5
	MS610	125-250	2.3	119.30	116.56	14	5
	MS611	250-500	2.6	125.10	121.85	16	5
	MS612	500-1000	2.7	125.60	122.21	22	5
	MS613	1000-2000	2.8	101.30	98.46	19	5
MS614	>2000	1.1	136.50	134.99	12	5	

Πίνακας 5.5: Δείγματα χόματος που αναλύθηκαν

5.3 Επεξεργασία και ανάλυση δειγμάτων

5.3.1 Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 6-2

Το δείγμα χώματος συλλέχθηκε στην περιοχή Κατσίμπαλης και ζύγιζε συνολικά 7332 g. Αφού αφέθηκε να ξηρανθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ομογενοποιήθηκε και κοσκινίστηκε με τη χρήση της συσκευής AS-200 Control, για 99' με πλάτος δόνησης 2 mm. Μετά το πέρας της διαδικασίας, συσκευάστηκε στα υποδείγματα (MS563- MS571), τα οποία τοποθετήθηκαν μέσα σε δοχεία. Τα δοχεία βάφτηκαν εσωτερικά και εξωτερικά με ρητίνη και αφέθηκαν να έλθουν σε ραδιενεργό ισορροπία. Τέλος, τοποθετήθηκαν στους ανιχνευτές HPGe και LEGe όπου και αναλύθηκαν για 172800sec.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 5.2-5.9.

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS563</i>	<i>MS564</i>	<i>MS565</i>	<i>MS566</i>	<i>MS567</i>	<i>MS568</i>	<i>MS569</i>	<i>MS570</i>	<i>MS571</i>
²²⁸ Ac	338.40 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	26.1	36.2	35.6	29.8	28.6	30.3	28.4	28.0	16.9
		<i>1.65σ %</i>	9.5	12.4	12.6	13.5	17.4	13.9	14.8	23.7	36.5
	911.07 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	24.7	36.2	30.8	29.1	26.8	15.8	29.6	26.1	16.4
		<i>1.65σ %</i>	11.0	11.2	12.7	13.0	14.2	15.5	13.9	11.8	9.6
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	25.5	36.2	32.9	29.4	27.5	27.9	29.0	26.5	16.5
		<i>1.65σ %</i>	7.2	8.3	8.9	9.4	11.0	10.4	10.1	10.5	9.3
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	29.1	40.9	35.1	31.9	30.4	31.2	31.0	28.5	17.8
		<i>1.65σ %</i>	6.1	6.4	7.3	7.7	7.6	8.1	8.5	7.6	6.2
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	28.3	35.9	29.4	29.3	27.9	28.2	27.5	25.5	15.4
		<i>1.65σ %</i>	8.6	10.0	12.2	11.4	12.0	12.6	13.2	10.9	9.2
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	28.8	39.2	33.2	30.9	29.6	30.2	29.8	27.4	16.9
		<i>1.65σ %</i>	4.9	5.4	6.2	6.4	6.4	6.8	7.2	6.2	5.1
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	27.6	38.2	33.1	30.5	29.0	29.4	29.5	27.1	16.8
		<i>1.65σ %</i>	4.1	4.5	5.1	5.3	5.5	5.7	5.8	5.4	4.5

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή HPGe

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS563</i>	<i>MS564</i>	<i>MS565</i>	<i>MS566</i>	<i>MS567</i>	<i>MS568</i>	<i>MS569</i>	<i>MS570</i>	<i>MS571</i>
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	28.7	38.4	33.0	30.7	28.9	29.0	27.8	27.6	17.6
		<i>1.65σ %</i>	8.4	7.9	8.1	8.7	8.5	9.1	9.3	9.5	7.9
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	29.3	35.1	32.2	28.9	29.3	27.9	28.4	27.2	16.4
		<i>1.65σ %</i>	7.7	8.9	9.4	10.1	9.6	10.9	10.8	12.4	10.1
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	29.0	36.8	32.7	29.9	29.0	28.6	28.0	27.4	17.1
		<i>1.65σ %</i>	5.7	5.9	6.1	6.6	6.5	6.9	7.1	7.5	6.3
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	29.0	36.8	32.7	29.9	29.0	28.5	28.0	27.4	17.1
		<i>1.65σ %</i>	5.7	5.9	6.2	6.4	6.4	6.9	7.1	7.5	6.3

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>Αιγνευτή ΗΡGe</i>		<i>Αιγνευτή ΛΕGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS563</i>	383.9	2.36	390.8	3.76
<i>MS564</i>	515.9	2.62	510.1	4.01
<i>MS565</i>	436.9	2.95	443.2	4.48
<i>MS566</i>	406.5	3.03	376.4	4.83
<i>MS567</i>	398.8	3.08	372.2	4.96
<i>MS568</i>	415.5	3.20	425.6	4.75
<i>MS569</i>	442.3	3.08	412.8	5.03
<i>MS570</i>	423.9	2.89	411.9	5.53
<i>MS571</i>	302.4	2.25	295.7	4.10

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 6-2

	<i>Αιγνευτή ΗΡGe</i>		<i>Αιγνευτή ΛΕGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS563</i>	162.9	0.90	166.0	1.20
<i>MS564</i>	242.7	1.00	235.7	1.20
<i>MS565</i>	230.6	1.00	224.3	1.30
<i>MS566</i>	206.6	1.10	199.3	1.30
<i>MS567</i>	189.6	1.10	185.7	1.40
<i>MS568</i>	178.7	1.30	175.5	1.50
<i>MS569</i>	169.6	1.40	164.9	1.60
<i>MS570</i>	108.4	1.70	105.3	2.30
<i>MS571</i>	26.1	2.70	25.2	3.50

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 6-2

	<i>Ενέργεια</i>		<i>MS563</i>	<i>MS564</i>	<i>MS565</i>	<i>MS566</i>	<i>MS567</i>	<i>MS568</i>	<i>MS569</i>	<i>MS570</i>	<i>MS571</i>
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	53.7	52.3	52.4	47.0	41.1	45.0	43.6	36.3	17.6
		<i>1.65σ %</i>	22.94	14.71	15.44	12.84	14.37	14.00	14.90	11.91	11.72
	<i>351.99 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	52.7	53.8	54.3	49.2	49.0	49.0	49.3	39.3	21.3
		<i>1.65σ %</i>	8.45	11.29	11.33	11.94	16.39	12.61	13.03	5.97	5.22
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	52.8	53.3	53.6	48.1	43.9	47.0	46.5	38.6	20.4
		<i>1.65σ %</i>	7.93	8.95	9.14	8.75	10.84	9.38	9.83	5.34	4.78
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	49.3	49.9	48.4	47.4	42.4	43.2	45.3	34.4	18.9
		<i>1.65σ %</i>	3.75	5.31	5.48	5.27	5.85	6.13	6.00	6.18	5.48
	<i>1120.28 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	53.9	15.8	50.9	51.5	45.1	43.6	47.1	37.6	19.0
		<i>1.65σ %</i>	10.39	55.32	16.13	15.03	17.07	19.13	18.21	18.32	17.80
	<i>1764.51 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	54.3	55.3	57.8	51.2	44.9	52.5	54.2	39.6	23.5
		<i>1.65σ %</i>	7.03	9.87	9.59	10.56	11.89	10.25	11.38	11.32	9.68
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	50.5	50.9	50.2	48.3	43.0	44.9	46.8	35.5	19.6
		<i>1.65σ %</i>	3.16	4.49	4.57	4.50	5.02	5.09	5.10	5.21	4.62
²²⁶ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	50.8	51.4	50.8	48.3	43.2	45.4	46.7	36.9	20.0
		<i>1.65σ %</i>	2.93	4.01	4.09	4.00	4.56	4.47	4.53	3.73	3.32

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή HPGe

	<i>Ενέργεια</i>		<i>MS563</i>	<i>MS564</i>	<i>MS565</i>	<i>MS566</i>	<i>MS567</i>	<i>MS568</i>	<i>MS569</i>	<i>MS563</i>	<i>MS564</i>
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	56.4	54.0	51.9	48.9	45.4	47.7	46.7	56.4	54.0
		<i>1.65σ%</i>	7.65	10.13	11.23	10.82	6.35	11.86	6.80	7.65	10.13
	<i>351.99 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	55.8	52.5	52.1	50.3	46.7	46.6	47.1	55.8	52.5
		<i>1.65σ%</i>	2.89	3.89	3.95	3.86	4.08	4.34	4.42	2.89	3.89
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	55.9	52.7	52.1	50.2	46.3	46.7	46.9	55.9	52.7
		<i>1.65σ%</i>	2.70	3.64	3.73	3.64	3.44	4.08	3.71	2.70	3.64
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	52.6	48.8	47.9	44.8	42.7	41.8	43.5	52.6	48.8
		<i>1.65σ%</i>	3.53	4.73	4.94	4.99	5.08	5.63	5.57	3.53	4.73
	<i>1120.28 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	52.6	48.8	47.9	44.8	42.5	41.8	43.4	52.6	48.9
		<i>1.65σ%</i>	13.53	20.15	18.46	19.30	25.17	25.55	26.86	13.53	20.15
	<i>1764.51 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	52.3	44.3	58.0	44.9	41.6	42.9	43.2	52.3	44.3
		<i>1.65σ%</i>	11.49	18.72	15.01	18.07	18.69	19.47	20.63	11.49	18.72
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	52.6	48.5	48.6	44.8	42.5	41.9	43.5	52.6	48.5
		<i>1.65σ%</i>	3.27	4.47	4.55	4.67	4.82	5.29	5.27	3.27	4.47
²²⁶ Ra		<i>Bq/kg</i>	54.4	50.8	50.6	47.9	44.9	44.7	45.7	54.4	50.8
		<i>1.65σ%</i>	2.08	2.82	2.89	2.87	2.80	3.23	3.03	2.08	2.82

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή LEGE

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS563</i>	61.9	5.59
<i>MS564</i>	81.5	5.02
<i>MS565</i>	77.4	5.10
<i>MS566</i>	66.0	5.30
<i>MS567</i>	60.0	5.42
<i>MS568</i>	59.8	5.45
<i>MS569</i>	51.7	5.74
<i>MS570</i>	42.4	5.96
<i>MS571</i>	24.3	6.46

Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα αναλύσεων ^{234}Th του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS563</i>	373.3	2.11
<i>MS564</i>	476.0	2.01
<i>MS565</i>	460.7	2.05
<i>MS566</i>	449.7	2.04
<i>MS567</i>	404.6	2.20
<i>MS568</i>	371.8	2.37
<i>MS569</i>	323.2	2.67
<i>MS570</i>	211.8	3.65
<i>MS571</i>	64.4	6.16

Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα ^{210}Pb του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή LEGe

5.3.2 Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 7-1

Το δείγμα συλλέχθηκε στην περιοχή «Κατσίμπαλη –Καρύταινα» και συνολικά ήταν 6254 g. Το δείγμα αφέθηκε να ξηραθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εν συνεχεία ομογενοποιήθηκε και κοσκινίστηκε με τη συσκευή AS-200 Control, με πλάτος δόνησης 2 mm και διάρκεια 99'. Μετά το πέρας της διαδικασίας, από κάθε κλάσμα συσκευάστηκε ένα υπόδειγμα με κωδικούς (MS554-MS562). Τέλος, τα υποδείγματα σφραγίστηκαν με ρητίνη εσωτερικά και εξωτερικά ώστε να επέλθει ραδιενεργός ισοροπία και αναλύθηκαν στους ανιχνευτές HPGe και LEGe για 172800sec. Τα αποτελέσματα της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης παρατίθενται στους Πίνακες 10 –17.

Στους πίνακες αυτούς, όπως και σε όλους τους αντίστοιχους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τόσο τα ραδιοϊσότοπα που προσδιορίστηκαν άμεσα από τα φωτόνια που εκπέμπουν (^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{234}Th , ^{210}Pb) όσο και κατά πατρικά ραδιοϊσότοπα σε ισοροπία, η ραδιενέργεια των οποίων προέκυψε από τους αντίστοιχους μέσους όρους (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th).

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS554</i>	<i>MS555</i>	<i>MS556</i>	<i>MS557</i>	<i>MS558</i>	<i>MS559</i>	<i>MS560</i>	<i>MS561</i>	<i>MS562</i>
²²⁸ Ac	338.40 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	40.2	46.7	47.8	41.1	37.6	42.3	43.0	41.9	41.3
		<i>1.65σ %</i>	17.90	24.96	13.29	14.93	22.30	22.43	21.35	17.61	14.72
	911.07 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	38.2	48.5	47.5	39.4	35.8	37.6	40.1	38.2	39.9
		<i>1.65σ %</i>	4.99	6.81	6.95	10.00	12.58	13.89	11.97	10.74	7.93
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	38.3	48.3	47.6	39.9	36.2	38.7	40.7	39.1	40.2
		<i>1.65σ %</i>	4.80	6.57	6.19	8.31	10.96	11.82	10.45	9.17	6.98
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	42.8	47.8	48.9	40.1	42.3	44.2	44.3	44.7	43.5
		<i>1.65σ %</i>	3.37	4.67	4.71	5.74	6.61	7.23	6.83	5.36	4.31
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	37.4	45.4	43.5	40.2	37.2	38.5	37.7	38.9	39.4
		<i>1.65σ %</i>	4.56	6.41	6.70	7.97	9.93	11.03	10.25	8.39	6.43
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	40.5	46.9	46.8	40.2	4.4	42.2	41.8	42.7	42.1
		<i>1.65σ %</i>	2.72	3.78	3.86	4.66	5.51	6.06	5.70	4.53	3.58
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	39.9	47.2	47.0	40.1	39.4	41.3	41.5	41.9	41.7
		<i>1.65σ %</i>	2.36	3.27	3.27	4.06	4.93	5.40	5.01	4.06	3.19

Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 7-1 στον ανιχνευτή HPGe

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS554</i>	<i>MS555</i>	<i>MS556</i>	<i>MS557</i>	<i>MS558</i>	<i>MS559</i>	<i>MS560</i>	<i>MS561</i>	<i>MS562</i>
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	41.6	46.8	47.6	42.8	38.9	42.6	42.6	42.9	43.4
		<i>1.65σ %</i>	6.69	6.48	7.13	6.71	7.30	7.82	6.94	6.67	6.31
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	40.9	43.6	46.3	40.1	38.1	40.6	42.1	39.2	42.1
		<i>1.65σ %</i>	5.24	7.67	7.18	6.90	8.52	9.20	8.34	7.40	5.58
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	41.2	45.4	46.9	41.4	38.5	41.7	42.4	41.7	42.7
		<i>1.65σ %</i>	4.13	4.95	5.06	4.81	5.54	5.96	5.33	4.96	4.18
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	41.10	45.4	46.9	41.4	38.5	41.7	42.4	41.1	42.7
		<i>1.65σ %</i>	4.13	4.95	5.06	4.81	5.54	5.96	5.33	4.96	4.18

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 7-1 στον ανιχνευτή LEGE

	<i>Ανιχνευτής HPGe</i>		<i>Ανιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS554</i>	435.0	1.73	433.7	3.22
<i>MS555</i>	526.2	2.46	485.6	4.61
<i>MS556</i>	523.4	2.47	504.9	4.46
<i>MS557</i>	471.0	2.71	447.2	4.20
<i>MS558</i>	452.5	3.09	428.8	4.89
<i>MS559</i>	470.5	3.39	466.7	5.19
<i>MS560</i>	476.9	3.12	446.2	5.14
<i>MS561</i>	475.8	2.74	459.9	4.17
<i>MS562</i>	472.1	2.22	447.4	3.52

Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 7-1

	<i>Ανιχνευτής HPGe</i>		<i>Ανιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS554</i>	20.7	3.40	20.1	4.60
<i>MS555</i>	25.8	4.70	21.9	6.30
<i>MS556</i>	25.1	5.10	24.7	5.90
<i>MS557</i>	23.3	6.00	20.9	5.70
<i>MS558</i>	23.3	7.00	19.4	6.90
<i>MS559</i>	22.9	8.20	21.1	7.40
<i>MS560</i>	23.9	7.30	21.2	6.70
<i>MS561</i>	23.6	6.20	23.4	5.50
<i>MS562</i>	23.1	4.90	22.9	4.30

Πίνακας 5.17: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 7-1

<i>Ενέργεια</i>		<i>MS554</i>	<i>MS555</i>	<i>MS556</i>	<i>MS557</i>	<i>MS558</i>	<i>MS559</i>	<i>MS560</i>	<i>MS561</i>	<i>MS562</i>	
²¹⁴ Pb	295.92 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	40.1	29.9	36.0	28.7	27.4	24.2	23.6	28.5	28.8
		<i>1.65σ %</i>	8.28	16.86	14.14	37.01	23.20	26.83	25.60	17.70	15.40
	351.99 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	41.5	32.5	32.4	29.7	28.7	31.7	32.3	31.6	27.9
		<i>1.65σ %</i>	3.10	6.22	6.05	13.62	21.79	21.98	20.81	17.24	14.39
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	41.3	32.1	34.7	29.6	28.0	27.7	27.5	29.9	28.3
		<i>1.65σ %</i>	2.90	5.84	5.56	12.78	15.89	17.16	16.34	12.37	10.51
²¹⁴ Bi	609.32 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	38.5	29.1	31.6	26.6	25.4	25.8	27.2	28.9	25.5
		<i>1.65σ %</i>	3.18	6.46	6.03	7.94	9.47	10.45	9.59	7.46	6.66
	1120.28 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	38.9	31.1	31.7	31.9	28.7	22.0	28.3	26.3	26.0
		<i>1.65σ %</i>	10.23	19.65	19.75	21.56	26.58	37.86	29.5	27.49	22.51
	1764.51 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	40.1	32.6	31.9	33.1	31.3	29.2	32.31	35.9	31.4
		<i>1.65σ %</i>	6.96	12.09	12.19	13.15	14.92	16.56	15.5	12.57	11.56
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	38.8	29.8	31.6	28.1	26.8	26.3	28.3	30.0	26.5
		<i>1.65σ %</i>	2.79	5.48	5.21	6.51	7.69	8.63	7.88	6.27	5.61
	²²⁶ Ra	<i>R (Bq/kg)</i>	39.9	30.8	32.9	28.4	27.0	26.5	28.1	30.0	26.8
		<i>1.65σ %</i>	2.01	4.00	3.81	5.80	6.92	7.71	7.10	5.60	4.95

Πίνακας 5.18: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 7-1 στον ανιχνευτή HPGe

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS554</i>	<i>MS555</i>	<i>MS556</i>	<i>MS557</i>	<i>MS558</i>	<i>MS559</i>	<i>MS560</i>	<i>MS561</i>	<i>MS562</i>
²¹⁴ Pb	295.92 keV	<i>Bq/kg</i>	44.0	32.7	34.2	30.8	26.8	31.4	30.6	31.9	29.0
		<i>1.65σ%</i>	7.47	13.97	13.48	12.97	16.02	15.88	16.08	12.52	10.78
	351.99 keV	<i>Bq/kg</i>	44.5	32.2	32.2	31.7	28.3	30.5	31.5	32.9	29.2
		<i>1.65σ%</i>	2.90	5.43	5.55	4.79	5.94	6.38	5.79	4.72	4.18
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	44.4	32.2	32.4	31.6	28.1	30.7	31.4	32.8	29.2
		<i>1.65σ%</i>	2.70	5.06	5.13	4.50	5.57	5.92	5.45	4.42	3.89
²¹⁴ Bi	609.32 keV	<i>Bq/kg</i>	41.1	29.9	30.7	28.9	26.2	25.9	31.2	29.3	26.6
		<i>1.65σ%</i>	3.79	7.32	7.25	6.40	8.02	9.26	7.57	6.53	5.74
	1120.28 keV	<i>Bq/kg</i>	41.1	29.9	30.7	28.9	26.2	25.9	31.2	29.3	26.6
		<i>1.65σ%</i>	16.69	33.60	41.27	26.60	38.90	46.82	32.78	28.04	28.21
	1764.51 keV	<i>Bq/kg</i>	39.4	27.7	27.0	25.5	23.7	28.9	29.4	34.0	22.3
		<i>1.65σ%</i>	15.55	26.91	28.52	26.23	29.68	28.02	26.10	19.66	25.19
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	41.0	29.8	30.5	28.7	26.0	26.2	31.1	29.6	26.3
		<i>1.65σ%</i>	3.60	6.91	6.93	6.05	7.59	8.65	7.10	6.05	5.49
²²⁶ Ra		<i>Bq/kg</i>	43.1	31.3	31.7	30.4	27.3	28.9	31.3	31.5	28.1
		<i>1.65σ%</i>	2.16	4.09	4.13	3.61	4.49	4.90	4.32	3.57	3.18

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 7-1 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS554</i>	45.9	6.34
<i>MS555</i>	46.2	5.90
<i>MS556</i>	49.7	5.82
<i>MS557</i>	43.9	5.88
<i>MS558</i>	43.7	5.73
<i>MS559</i>	46.5	5.77
<i>MS560</i>	39.3	6.08
<i>MS561</i>	44.3	5.89
<i>MS562</i>	44.8	5.94

Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα αναλύσεων ²³⁴Th του δείγματος 7-1 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS554</i>	77.5	6.39
<i>MS555</i>	147.9	4.46
<i>MS556</i>	139.2	4.74
<i>MS557</i>	141.7	4.24
<i>MS558</i>	155.1	4.27
<i>MS559</i>	172.5	4.32
<i>MS560</i>	139.3	4.79
<i>MS561</i>	96.5	5.72
<i>MS562</i>	71.2	6.60

Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα αναλύσεων του ²¹⁰Pb για το δείγμα 7-1 στον ανιχνευτή LEGe

5.3.3 Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 8-1

Το δείγμα συλλέχθηκε στην περιοχή «Κουρουνιός». Η επεξεργασία και συσκευασία του δείγματος έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της Δ.Ε. Παλαμάρα, οπότε και πραγματοποιήθηκαν αρχικές γ-φασματοσκοπικές αναλύσεις, χωρίς να έχει εξασφαλιστεί η ραδιενεργός ισορροπία για τη σειρά του ²²⁶Ra. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα Μ.Ε. πραγματοποιήθηκαν εκ νέου γ-φασματοσκοπικές αναλύσεις.

Τα υποδείγματα αναλύθηκαν στους ανιχνευτές HPGe και LEGe για 172800sec και τα αποτελέσματα της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης παρατίθενται στους Πίνακες 18 – 21.

	<i>Ενέργεια</i>		<i>MS535</i>	<i>MS536</i>	<i>MS537</i>	<i>MS538</i>	<i>MS539</i>	<i>MS540</i>	<i>MS541</i>	<i>MS542</i>	<i>MS534</i>
²²⁸ Ac	<i>338.40 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	37.9	30.7	33.9	33.8	28.1	27.9	28.9	25.8	26.0
		<i>1.65σ %</i>	27.77	17.22	15.10	30.49	37.63	35.10	16.42	15.04	21.10
	<i>911.07 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	35.1	33.9	32.0	29.9	29.6	29.5	28.8	24.9	25.9
		<i>1.65σ %</i>	8.36	7.73	7.79	8.32	9.25	8.78	8.55	8.19	5.51
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	35.3	33.6	32.4	30.2	29.5	29.4	28.8	25.1	25.9
		<i>1.65σ %</i>	8.01	7.06	6.93	8.03	8.99	8.52	7.58	7.19	5.33
²¹² Pb	<i>238.63 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	40.7	36.8	35.1	32.8	32.2	31.1	31.1	26.8	27.3
		<i>1.65σ %</i>	4.95	5.01	4.90	5.49	6.01	5.47	5.42	5.27	3.92
²⁰⁸ Tl	<i>583.14 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	33.3	31.4	30.9	30.4	29.2	27.5	26.6	24.3	24.8
		<i>1.65σ %</i>	7.91	7.61	7.41	7.53	8.37	8.23	8.03	7.50	5.08
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	37.9	34.8	33.6	31.9	31.1	29.8	29.3	25.9	22.2
		<i>1.65σ %</i>	4.21	4.20	4.10	4.44	4.88	4.56	4.50	4.32	3.11
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	37.3	34.4	33.3	31.5	30.7	29.7	29.2	25.6	26.1
		<i>1.65σ %</i>	3.73	3.61	3.53	3.89	4.29	4.02	3.87	3.70	2.68

Πίνακας 5.22: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 8-1 στον ανιχνευτή HPGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS535</i>	564.9	2.12
<i>MS536</i>	531.6	2.04
<i>MS537</i>	493.6	2.08
<i>MS538</i>	494.3	2.16
<i>MS539</i>	526.7	2.14
<i>MS540</i>	525.5	2.03
<i>MS541</i>	539.2	1.98
<i>MS542</i>	437.5	2.00
<i>MS534</i>	489.5	1.38

Πίνακας 5.23: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 8-1 στον ανιχνευτή HPGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS535</i>	76.8	1.80
<i>MS536</i>	71.8	1.80
<i>MS537</i>	66.4	1.90
<i>MS538</i>	63.2	1.90
<i>MS539</i>	60.1	2.20
<i>MS540</i>	47.9	2.40
<i>MS541</i>	32.9	3.10
<i>MS542</i>	9.1	7.70
<i>MS534</i>	35.8	1.70

Πίνακας 5.24: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 8-1 στον ανιχνευτή HPGe

<i>Ενέργεια</i>		<i>MS535</i>	<i>MS536</i>	<i>MS537</i>	<i>MS538</i>	<i>MS539</i>	<i>MS540</i>	<i>MS541</i>	<i>MS542</i>	<i>MS534</i>	
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	37.1	34.1	29.7	26.4	25.9	21.1	19.9	17.9	17.3
		<i>1.65σ %</i>	14.01	13.52	14.12	16.49	18.04	17.84	18.42	18.19	12.51
	<i>351.99 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	35.6	32.8	30.4	24.8	23.6	22.1	20.9	19.2	17.9
		<i>1.65σ %</i>	5.51	5.42	5.63	6.76	7.67	7.27	7.14	6.62	5.01
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	35.8	32.9	30.3	25.0	23.9	21.9	20.7	18.9	17.8
		<i>1.65σ %</i>	5.13	5.03	5.23	6.26	7.06	6.73	6.66	6.23	4.65
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	30.7	28.8	27.1	22.4	22.1	20.8	19.3	16.9	16.2
		<i>1.65σ %</i>	5.91	5.68	5.78	7.03	7.27	7.14	7.19	7.01	5.08
	<i>1120.28 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	32.2	35.9	30.4	28.7	22.5	21.0	20.5	17.6	18.4
		<i>1.65σ %</i>	18.66	15.51	17.69	18.28	23.17	22.97	23.04	23.02	15.35
	<i>1764.51 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	38.7	36.4	34.0	25.4	24.4	20.9	20.3	19.6	17.7
		<i>1.65σ %</i>	10.54	9.62	9.77	12.28	12.84	13.82	13.61	12.58	9.66
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	32.0	30.6	28.5	23.4	22.6	20.9	19.6	17.4	16.6
		<i>1.65σ %</i>	4.99	4.69	4.81	5.81	6.11	6.11	6.13	5.93	4.32
	²²⁶ Ra	<i>R (Bq/kg)</i>	33.7	31.6	29.3	24.1	23.1	21.3	20.1	18.1	17.1
		<i>1.65σ %</i>	3.58	3.43	3.54	4.26	4.62	4.53	4.51	4.30	3.17

Πίνακας 5.25: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 8-1 στον ανιχνευτή HPGe

5.3.4 Επεξεργασία επιφανειακού δείγματος 9-1

Το δείγμα χώματος συλλέχθηκε στην περιοχή «Καρυές προς Καστανοχώρι» της Μεγαλόπολης. Όπως και στην περίπτωση του δείγματος 8-1, έχουν στο παρελθόν πραγματοποιηθεί αναλύσεις χωρίς την ύπαρξη ραδιενεργού ισορροπίας στη σειρά του ^{226}Ra . Στην παρούσα εργασία, τα δείγματα αναλύθηκαν μετά το πέρας του απαραίτητου χρονικού διαστήματος ώστε να επέλθει ραδιενεργός ισορροπία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στους Πίνακες 22-25.

<i>Ενέργεια</i>		<i>MS544</i>	<i>MS545</i>	<i>MS546</i>	<i>MS547</i>	<i>MS548</i>	<i>MS549</i>	<i>MS550</i>	<i>MS551</i>	<i>MS552</i>	
²²⁸ Ac	338.40 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	29.1	49.1	32.5	28.9	29.2	32.5	33.2	30.6	19.1
		<i>1.65σ %</i>	12.58	20.78	23.64	25.65	25.56	23.94	25.93	13.92	15.61
	911.07 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	31.1	46.8	32.1	28.9	32.0	31.8	32.9	29.8	18.3
		<i>1.65σ %</i>	6.25	5.71	6.34	6.85	6.36	6.50	7.08	7.37	8.63
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	30.7	46.9	32.1	28.9	31.8	31.9	32.9	29.9	18.5
		<i>1.65σ %</i>	5.60	5.51	6.13	6.53	6.17	6.28	6.83	6.51	7.55
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	31.5	49.3	34.1	29.5	32.9	34.5	35.3	30.2	18.8
		<i>1.65σ %</i>	4.42	3.65	4.30	4.51	4.24	4.21	4.14	4.98	5.70
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	28.9	43.5	31.0	26.1	29.3	30.8	31.4	26.8	17.1
		<i>1.65σ %</i>	5.96	5.55	5.85	6.54	6.04	5.99	6.52	7.47	7.94
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	30.5	47.2	32.8	28.2	31.5	33.1	33.9	28.8	18.1
		<i>1.65σ %</i>	3.56	3.05	3.47	3.72	3.48	3.45	3.50	4.15	4.64
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	30.6	47.1	32.7	28.4	31.6	32.8	33.7	29.1	18.2
		<i>1.65σ %</i>	3.00	2.67	3.02	3.23	3.03	3.02	3.12	3.50	3.95

Πίνακας 5.26: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 9-1 στον ανιχνευτή HPGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS544</i>	383.9	1.96
<i>MS545</i>	481.6	1.96
<i>MS546</i>	362.7	2.08
<i>MS547</i>	324.5	2.10
<i>MS548</i>	372.3	2.24
<i>MS549</i>	430.9	2.07
<i>MS550</i>	440.8	1.92
<i>MS551</i>	404.9	2.02
<i>MS552</i>	293.5	2.19

Πίνακας 5.27: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 9-1 για τον ανιχνευτή HPGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS544</i>	23.7	3.20%
<i>MS545</i>	49.2	2.30%
<i>MS546</i>	35.3	2.40%
<i>MS547</i>	28.8	2.80%
<i>MS548</i>	32.3	2.60%
<i>MS549</i>	30.0	2.80%
<i>MS550</i>	24.9	3.50%
<i>MS551</i>	12.6	6.30%
<i>MS552</i>	2.3	2.17%

Πίνακας 5.28: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 9-1 για τον ανιχνευτή HPGe

	<i>Ενέργεια</i>		<i>MS544</i>	<i>MS545</i>	<i>MS546</i>	<i>MS547</i>	<i>MS548</i>	<i>MS549</i>	<i>MS550</i>	<i>MS551</i>	<i>MS552</i>
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	25.8	46.2	29.8	21.6	23.9	25.9	25.6	20.6	15.2
		<i>1.65σ %</i>	12.12	9.09	11.65	14.78	12.76	12.22	13.31	17.93	17.24
	<i>351.99 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	26.3	46.2	30.9	23.7	24.7	25.8	26.2	21.9	16.6
		<i>1.65σ %</i>	4.79	3.79	4.34	5.19	5.11	5.08	5.44	6.26	5.81
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	26.2	46.2	30.8	23.4	24.6	25.8	26.1	21.8	16.4
		<i>1.65σ %</i>	4.46	3.49	4.07	4.90	4.74	4.69	5.03	5.91	5.51
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	23.1	42.9	28.0	20.9	22.9	22.7	21.8	19.0	14.3
		<i>1.65σ %</i>	5.12	3.92	4.54	5.48	5.10	5.37	6.23	6.88	6.45
	<i>1120.28 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	26.9	45.2	30.4	20.4	22.6	24.9	23.4	20.1	16.0
		<i>1.65σ %</i>	15.13	12.29	13.99	18.24	17.36	17.01	19.07	21.98	19.94
	<i>1764.51 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	29.1	48.2	32.2	23.9	25.1	30.5	28.6	21.4	15.5
		<i>1.65σ %</i>	9.28	8.28	9.33	10.30	10.39	9.18	10.53	12.38	11.92
<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	24.3	43.8	28.8	21.4	23.3	24.0	23.0	19.5	14.6	
	<i>1.65σ %</i>	4.32	3.41	3.93	4.68	4.43	4.50	5.19	5.80	5.46	
²²⁶ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	25.1	44.9	29.7	22.3	23.8	24.8	24.4	20.5	15.4
		<i>1.65σ %</i>	3.10	2.44	2.83	3.39	3.24	3.25	3.62	4.15	3.88

Πίνακας 5.29: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 9-1 στον ανιχνευτή HPGe

5.3.5 Επεξεργασία δείγματος βάθους 8-2

Το δείγμα συλλέχθηκε στην περιοχή Κουρουνιός της Μεγαλόπολης. Το συνολικό δείγμα ήταν 12007g. Αφού ολοκληρώθηκε η αεροξήρανσή του, και πριν τη διαδικασία της ομογενοποίησης, αφαιρέσαμε από αυτό μεγάλες πέτρες που υπήρχαν και τις τοποθετήσαμε σε ειδική πλαστική σακούλα (>2mm).

Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε η διαδικασία της ομογενοποίησης και του κοσκινίσματος με τη βοήθεια της συσκευής AS-200 Control, για 99' με πλάτος δόνησης 2mm. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ζυγίσαμε τα δείγματα, μετρήσαμε την υγρασία τους και τέλος τα συσκευάσαμε σε υποδείγματα (MS572-MS579). Τα συσκευασμένα δείγματα σφραγίστηκαν εσωτερικά και εξωτερικά με σιλικόνη ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή των αερίων ισοτόπων του ραδονίου και αφέθηκαν να έλθουν σε ραδιενεργό ισορροπία. Στη συνέχεια, τα τοποθετήσαμε στους ανιχνευτές 2 και 3 για 172800 sec το κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 26-33.

		<i>Ενέργεια</i>		<i>MS572</i>	<i>MS573</i>	<i>MS574</i>	<i>MS575</i>	<i>MS576</i>	<i>MS577</i>	<i>MS578</i>	<i>MS579</i>
²²⁸ Ac	338.40 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		41.7	35.4	31.9	32.6	30.6	29.7	26.5	23.8
		<i>1.65σ %</i>		28.24	29.41	26.69	27.22	14.47	27.62	29.43	25.54
	911.07 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		39.2	37.4	33.5	33.3	32.1	30.4	27.9	23.2
		<i>1.65σ %</i>		7.61	7.10	6.94	6.82	7.01	7.02	7.35	6.99
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>		39.3	37.3	33.4	33.2	31.8	30.4	27.8	23.2
		<i>1.65σ %</i>		7.35	6.90	6.72	6.62	6.31	6.80	7.13	6.74
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		43.3	39.9	34.9	34.1	33.5	32.4	30.7	24.6
		<i>1.65σ %</i>		4.85	4.46	4.52	4.60	4.66	4.45	4.60	4.72
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		38.8	36.6	33.2	28.8	30.6	28.1	27.2	22.4
		<i>1.65σ %</i>		6.91	6.42	6.10	7.16	6.75	6.76	6.48	6.33
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>		41.6	38.8	34.3	32.2	32.4	30.8	29.3	23.7
		<i>1.65σ %</i>		3.98	3.67	3.63	3.88	3.84	3.73	3.76	3.79
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>		41.0	38.4	34.1	32.4	32.2	30.7	29.0	23.6
		<i>1.65σ %</i>		3.50	3.24	3.20	3.35	3.28	3.27	3.33	3.30

Πίνακας 5.30: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 8-2 στον ανιχνευτή HPGe

		<i>Ενέργεια</i>		<i>MS572</i>	<i>MS573</i>	<i>MS574</i>	<i>MS575</i>	<i>MS576</i>	<i>MS577</i>	<i>MS578</i>	<i>MS579</i>
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		40.8	39.8	35.4	33.2	32.5	31.5	29.7	24.9
		<i>1.65σ %</i>		7.08	6.61	6.39	7.31	6.42	6.55	6.58	6.92
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>		40.3	37.0	31.4	30.5	31.6	32.0	28.6	22.2
		<i>1.65σ %</i>		7.52	7.46	7.60	7.89	7.37	6.89	7.48	7.43
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>		40.5	38.5	33.5	31.9	38.1	31.7	29.2	23.6
		<i>1.65σ %</i>		5.16	4.95	4.90	5.37	4.84	4.75	4.94	4.95
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>		40.5	38.5	33.5	33.9	32.1	31.7	29.2	23.6
		<i>1.65σ %</i>		5.16	4.95	4.90	5.37	4.84	4.75	4.94	4.95

Πίνακας 5.31: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 8-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>Αιχνευτής HPGe</i>		<i>Αιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS572</i>	654.8	1.99	635.1	3.61
<i>MS573</i>	630.6	1.92	590.9	3.48
<i>MS574</i>	573.1	1.84	518.6	3.43
<i>MS575</i>	556.9	1.91	526.1	3.50
<i>MS576</i>	593.4	1.83	573.6	3.24
<i>MS577</i>	594.8	1.72	566.9	3.19
<i>MS578</i>	553.2	1.74	553.1	3.08
<i>MS579</i>	465.0	1.68	448.5	3.05

Πίνακας 5.32: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 8-2

	<i>Αιχνευτής HPGe</i>		<i>Αιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS572</i>	75.4	1.90	7.8	2.50
<i>MS573</i>	69.9	1.80	67.3	2.40
<i>MS574</i>	61.9	1.80	59.7	2.40
<i>MS575</i>	57.2	1.90	55.2	2.60
<i>MS576</i>	57.6	1.90	56.5	2.50
<i>MS577</i>	47.6	2.10	45.8	2.70
<i>MS578</i>	33.3	2.60	33.8	3.20
<i>MS579</i>	7.9	7.10	7.7	8.00

Πίνακας 5.33: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 8-2

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS572</i>	<i>MS573</i>	<i>MS574</i>	<i>MS575</i>	<i>MS576</i>	<i>MS577</i>	<i>MS578</i>	<i>MS579</i>	
²¹⁴ Pb	295.92 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	28.8	26.2	22.9	21.2	16.5	18.9	17.3	13.0	
		<i>1.65σ %</i>	16.40	16.03	16.16	16.88	16.03	17.51	17.79	18.66	
	351.99 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	28.6	28.0	24.8	22.8	22.1	19.7	18.3	13.8	
		<i>1.65σ %</i>	6.62	5.97	5.83	6.35	6.47	6.68	6.68	6.87	
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	28.6	27.8	24.6	22.6	20.9	19.6	18.2	13.7	
		<i>1.65σ %</i>	6.14	5.60	5.49	5.95	6.04	6.24	6.25	6.45	
²¹⁴ Bi	609.32 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	26.6	26.2	21.9	19.4	20.1	18.8	15.9	13.7	
		<i>1.65σ %</i>	6.56	5.94	6.11	6.83	6.58	6.44	7.27	6.50	
	1120.28 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	26.6	21.1	23.9	23.8	20.9	18.3	17.9	15.4	
		<i>1.65σ %</i>	21.46	24.05	19.13	19.32	21.76	22.59	21.82	21.13	
	1764.51 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	30.6	28.6	26.4	23.4	25.8	23.3	17.7	14.9	
		<i>1.65σ %</i>	11.99	11.12	11.07	11.53	11.50	10.95	13.11	11.95	
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	27.3	26.2	22.8	20.4	21.0	19.5	16.4	14.0	
		<i>1.65σ %</i>	5.57	5.13	5.16	5.64	5.55	5.41	6.11	5.52	
	²²⁶ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	27.9	26.9	23.6	21.3	20.9	19.6	17.2	13.9
			<i>1.65σ %</i>	4.12	3.78	3.76	4.10	12.43	10.97	4.38	4.19

Πίνακας 5.34: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 8-2 στον ανιχνευτή HPGe

	<i>Ενέργεια</i>		<i>MS572</i>	<i>MS573</i>	<i>MS574</i>	<i>MS575</i>	<i>MS576</i>	<i>MS577</i>	<i>MS578</i>	<i>MS579</i>
²¹⁴ Pb	295.92 keV	<i>Bq/kg</i>	27.2	24.6	25.3	21.9	20.8	19.5	17.9	13.9
		<i>1.65σ%</i>	16.22	15.97	13.27	15.32	15.34	15.28	15.23	15.74
	351.99 keV	<i>Bq/kg</i>	29.7	26.7	25.1	22.5	21.8	20.4	18.4	14.8
		<i>1.65σ%</i>	5.54	5.47	5.04	5.49	5.70	5.61	5.76	5.61
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	29.4	26.4	25.2	22.5	21.7	20.3	18.3	14.7
		<i>1.65σ%</i>	5.24	5.17	4.71	5.17	5.35	5.27	5.39	5.29
²¹⁴ Bi	609.32 keV	<i>Bq/kg</i>	26.9	25.3	23.4	19.6	19.1	19.9	15.8	13.2
		<i>1.65σ%</i>	7.49	6.99	6.69	7.94	8.06	7.12	8.24	8.03
	1120.28 keV	<i>Bq/kg</i>	26.8	25.3	23.4	19.6	19.1	19.9	15.8	13.2
		<i>1.65σ%</i>	42.83	38.10	36.78	34.77	38.33	35.31	41.34	32.70
	1764.51 keV	<i>Bq/kg</i>	27.4	26.9	20.9	26.0	15.7	26.4	15.0	11.8
		<i>1.65σ%</i>	27.15	23.75	26.09	21.33	32.01	19.39	27.87	29.49
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	26.9	25.4	23.2	20.1	18.8	20.4	15.8	13.1
		<i>1.65σ%</i>	7.12	6.60	6.38	7.30	7.66	6.59	7.76	7.54
²²⁶ Ra		<i>Bq/kg</i>	28.4	26.0	24.4	21.5	20.5	20.3	17.3	14.1
		<i>1.65σ%</i>	4.22	4.07	3.79	4.22	4.40	4.11	4.44	4.34

Πίνακας 5.35: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 8-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS572b</i>	42.34	6.06
<i>MS573b</i>	35.3	6.36
<i>MS574b</i>	35.4	6.27
<i>MS575b</i>	33.4	6.30
<i>MS576b</i>	33.7	6.21
<i>MS577b</i>	29.4	6.52
<i>MS578b</i>	27.1	6.54
<i>MS579b</i>	20.2	6.92

Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα αναλύσεων ²³⁴Th του δείγματος 8-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS572b</i>	118.7	5.13
<i>MS573b</i>	101.9	5.45
<i>MS574b</i>	102.3	5.17
<i>MS575b</i>	90.9	5.56
<i>MS576b</i>	89.1	5.76
<i>MS577b</i>	71.7	6.42
<i>MS578b</i>	44.1	8.72
<i>MS579b</i>	21.1	12.67

Πίνακας 5.37: Αποτελέσματα αναλύσεων του ²¹⁰Pb για το δείγμα 8-2 στον ανιχνευτή LEGe

5.3.6 Επεξεργασία δείγματος βάθους 9-2

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή «Καρυές προς Καστανοχώρι», κατά την οποία συλλέχθηκε δείγμα χόματος 13592g. Το δείγμα αφέθηκε να ξηραθεί και στη συνέχεια μετρήσαμε την υγρασία του, η οποία βρέθηκε ίση με 2.8% (<5%), το οποίο συνεπάγεται την πλήρη ξήρανσή του. Στη συνέχεια, μετά την ομογενοποίηση, κοσκινίσαμε το δείγμα μέσω της συσκευής AS-200 Control, για 99' με πλάτος δόνησης 2mm. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ζυγίσαμε τα δείγματα, μετρήσαμε την υγρασία τους και τέλος τα συσκευάσαμε σε υποδείγματα (MS585-MS614). Έπειτα, αφού τα υποδείγματα στεγανοποιήθηκαν εσωτερικά και εξωτερικά και αφέθηκαν να έλθουν σε ραδιενεργό ισορροπία, τοποθετήθηκαν στους ανιχνευτές 2 και 3 και αναλύθηκαν για 172.800s το κάθε ένα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 34-41.

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS585</i>	<i>MS607</i>	<i>MS608</i>	<i>MS609</i>	<i>MS610</i>	<i>MS611</i>	<i>MS612</i>	<i>MS613</i>	<i>MS614</i>
²²⁸ Ac	338.40 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	33.7	43.4	44.9	40.9	34.9	34.8	35.7	36.2	25.2
		<i>1.65σ %</i>	7.90	28.89	14.35	14.53	21.11	20.91	20.05	23.61	24.85
	911.07 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	33.7	42.6	40.1	41.2	36.4	36.3	36.9	35.4	24.5
		<i>1.65σ %</i>	4.29	8.2	8.38	7.89	5.72	5.61	5.27	6.45	6.67
²²⁸ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	33.7	42.6	40.3	41.1	36.3	36.2	36.8	35.5	24.5
		<i>1.65σ %</i>	3.77	7.89	7.24	6.93	5.52	5.42	5.1	6.22	6.44
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	36.0	44.9	41.7	41.1	37.7	37.3	38.3	38.2	25.2
		<i>1.65σ %</i>	2.52	4.88	5.08	5.37	3.98	3.69	3.7	3.93	4.58
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	33.3	40.9	35.1	36.7	33.1	33.7	34.6	35.5	23.6
		<i>1.65σ %</i>	3.83	7.44	8.16	7.91	5.41	5.15	5.03	5.69	6.04
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	35.1	43.6	39.3	39.5	35.8	35.9	36.8	37.2	24.6
		<i>1.65σ %</i>	2.11	4.08	4.33	4.45	3.21	3.00	2.98	3.24	3.65
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	34.8	43.4	39.6	39.9	36.0	36.0	36.8	36.8	24.6
		<i>1.65σ %</i>	1.84	3.63	3.72	3.74	2.63	2.63	2.57	2.87	3.18

Πίνακας 5.38: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 9-2 στον ανιχνευτή HPGe

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS585</i>	<i>MS607</i>	<i>MS608</i>	<i>MS609</i>	<i>MS610</i>	<i>MS611</i>	<i>MS612</i>	<i>MS613</i>	<i>MS614</i>
²¹² Pb	238.63 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	38.1	47.2	40.7	41.2	37.0	37.7	37.4	36.3	23.4
		<i>1.65σ %</i>	6.89	7.69	7.18	7.32	8.09	6.93	6.58	7.11	8.02
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	<i>R (Bq/kg)</i>	35.6	42.3	36.5	37.7	36.2	35.9	35.6	34.4	24.3
		<i>1.65σ %</i>	4.66	8.34	9.04	6.37	8.11	5.71	5.68	6.83	6.65
²²⁸ Th		<i>R (Bq/kg)</i>	36.6	44.7	38.9	39.0	36.6	36.5	36.7	35.3	23.9
		<i>1.65σ %</i>	3.86	5.66	5.63	4.81	5.73	4.41	4.3	4.93	5.12
²³² Th		<i>R (Bq/kg)</i>	36.3	44.7	38.9	39.0	36.6	36.5	36.3	35.3	23.9
		<i>1.65σ %</i>	3.86	5.66	5.63	4.81	5.73	4.41	4.3	4.93	5.12

Πίνακας 5.39: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²³²Th του δείγματος 9-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>Ανιχνευτής HPGe</i>		<i>Ανιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS585</i>	437.7	1.43	449.7	2.68
<i>MS607</i>	534.9	2.61	509.3	5.02
<i>MS608</i>	508.9	2.70	465.0	5.09
<i>MS609</i>	506.8	2.76	468.3	3.57
<i>MS610</i>	459.1	1.90	456.4	4.71
<i>MS611</i>	469.6	1.82	447.9	3.34
<i>MS612</i>	478.1	1.80	439.8	3.34
<i>MS613</i>	490.8	1.97	461.9	3.63
<i>MS614</i>	364.2	1.99	335.3	3.57

Πίνακας 5.40: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 9-2

	<i>Ανιχνευτής HPGe</i>		<i>Ανιχνευτής LEGe</i>	
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS585</i>	0.8	51.80	Δ/A	
<i>MS607</i>	1.5	48.70	0.4	75.60
<i>MS608</i>	0.3	101.00	Δ/A	
<i>MS609</i>	Δ/A		0.4	50.70
<i>MS610</i>	0.3	64.90	Δ/A	
<i>MS611</i>	0.2	72.20	0.9	62.60
<i>MS612</i>	0.1	82.60	Δ/A	
<i>MS613</i>	Δ/A		1.1	73.90
<i>MS614</i>	Δ/A		1.0	58.10

Πίνακας 5.41: Αποτελέσματα αναλύσεων του ¹³⁷Cs του δείγματος 9-2

		<i>Ενέργεια</i>	<i>MS585</i>	<i>MS607</i>	<i>MS608</i>	<i>MS609</i>	<i>MS610</i>	<i>MS611</i>	<i>MS612</i>	<i>MS613</i>	<i>MS614</i>	
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	25.6	33.3	33.3	32.9	31.3	30.2	29.3	35.0	21.4	
		<i>1.65σ %</i>	6.89	15.28	14.51	15.28	10.08	10.28	10.2	10.71	12.35	
	<i>351.99 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	31.8	34.7	36.5	34.3	29.4	31.0	29.0	33.0	22.6	
		<i>1.65σ %</i>	2.90	5.98	5.48	5.85	4.24	3.93	4.13	4.32	4.56	
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	3.5	34.5	36.0	34.1	29.6	30.9	29.1	33.3	22.5	
		<i>1.65σ %</i>	2.68	5.57	5.13	5.46	3.91	3.67	3.83	4.01	4.28	
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	29.7	30.9	31.6	31.5	28.3	28.2	26.6	31.5	21.9	
		<i>1.65σ %</i>	3.02	6.59	6.28	6.43	4.32	4.25	4.37	4.42	4.61	
	<i>1120.28 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	30.5	29.5	32.9	38.1	32.6	29.6	28.7	33.2	21.6	
		<i>1.65σ %</i>	9.98	22.96	20.99	17.51	12.78	14.01	14.48	14.47	15.95	
	<i>1764.51 keV</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	33.9	36.5	36.1	36.5	33.6	33.9	31.7	34.7	26.9	
		<i>1.65σ %</i>	6.14	12.24	12.68	13.01	8.70	8.33	8.96	9.48	8.63	
	<i>M.T</i>	<i>R (Bq/kg)</i>	30.4	31.7	32.3	32.7	29.4	29.1	27.4	32.1	22.6	
		<i>1.65σ %</i>	2.62	5.64	5.44	5.49	3.71	3.66	3.80	3.86	3.95	
	²²⁶ Ra		<i>R (Bq/kg)</i>	30.4	33.0	34.1	33.4	29.5	30.0	28.2	32.6	22.5
			<i>1.65σ %</i>	1.87	3.96	3.74	3.87	2.69	2.60	2.70	2.78	2.90

Πίνακας 5.42: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 9-2 στον ανιχνευτή HPGe

<i>Ενέργεια</i>		<i>MS585</i>	<i>MS607</i>	<i>MS608</i>	<i>MS609</i>	<i>MS610</i>	<i>MS611</i>	<i>MS612</i>	<i>MS613</i>	<i>MS614</i>	
²¹⁴ Pb	<i>295.92 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	32.4	36.8	34.6	33.6	29.6	30.8	25.9	28.3	17.6
		<i>1.65σ%</i>	7.29	7.89	8.04	9.40	8.22	8.92	10.54	11.36	12.72
	<i>351.99 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	32.8	34.3	33.8	33.4	29.7	29.4	25.5	28.2	18.4
		<i>1.65σ%</i>	2.90	5.49	5.33	3.89	5.41	3.77	4.13	4.41	4.73
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	32.7	35.1	34.0	33.4	29.7	29.6	25.6	28.2	18.3
		<i>1.65σ%</i>	2.70	4.51	4.44	3.59	4.52	3.47	3.85	4.11	4.44
²¹⁴ Bi	<i>609.32 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	30.8	34.5	30.9	31.6	28.7	27.5	24.2	26.5	17.1
		<i>1.65σ%</i>	3.85	7.11	7.45	5.26	7.07	5.19	5.57	6.05	6.39
	<i>1120.28 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	30.8	34.5	30.9	31.6	28.7	27.5	24.2	26.5	17.1
		<i>1.65σ%</i>	15.07	35.41	38.84	23.9	42.93	22.29	24.59	26.65	33.50
	<i>1764.51 keV</i>	<i>Bq/kg</i>	35.1	35.4	36.9	27.5	29.8	32.2	25.9	26.8	17.2
		<i>1.65σ%</i>	11.57	26.3	21.85	21.54	27.04	16.42	19.87	21.36	22.03
	<i>M.T</i>	<i>Bq/kg</i>	31.2	34.6	31.4	31.3	28.8	27.8	24.3	26.5	17.1
		<i>1.65σ%</i>	3.55	6.74	6.95	5.00	6.75	4.83	5.24	5.69	6.04
²²⁶ Ra	<i>Bq/kg</i>	32.1	34.9	33.2	32.6	29.4	28.9	25.1	27.6	17.9	
	<i>1.65σ%</i>	2.15	3.75	3.75	2.92	3.76	2.82	3.10	3.33	3.58	

Πίνακας 5.43: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ²²⁶Ra του δείγματος 9-2 στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS585</i>	36.1	7.22
<i>MS607</i>	37.3	9.23
<i>MS608</i>	35.0	9.20
<i>MS609</i>	35.7	6.45
<i>MS610</i>	32.6	9.32
<i>MS611</i>	35.1	6.50
<i>MS612</i>	31.4	6.74
<i>MS613</i>	32.6	6.47
<i>MS614</i>	22.7	6.81

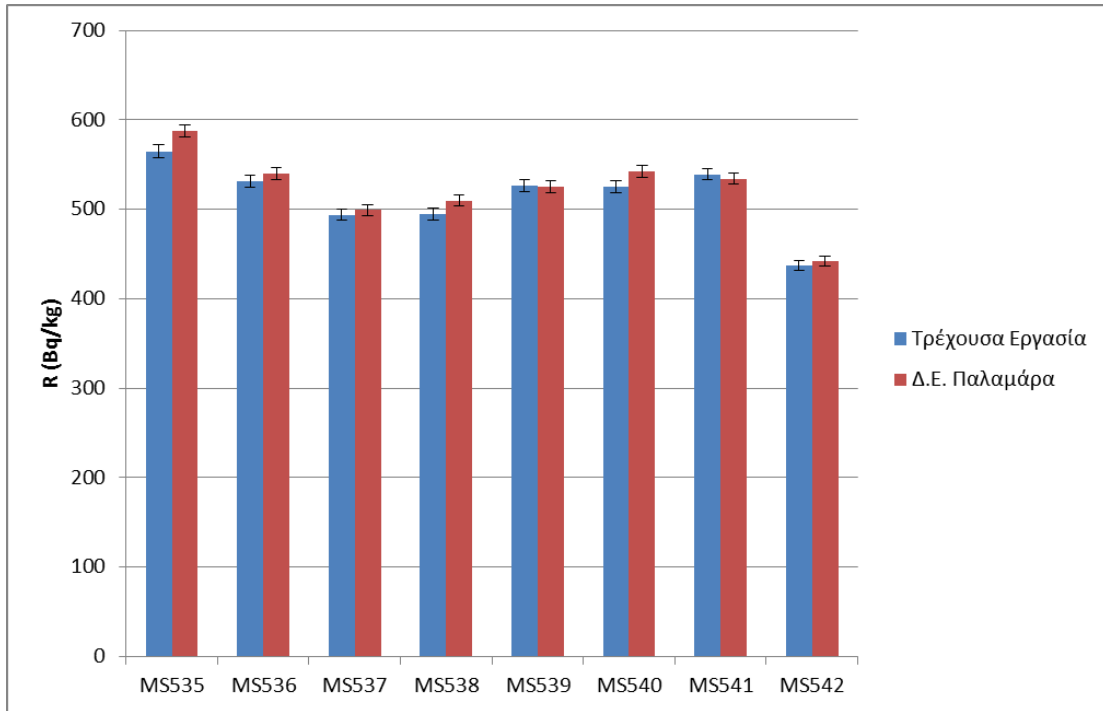
Πίνακας 5.44: Αποτελέσματα αναλύσεων ²³⁴Th του δείγματος 9-2 για τον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS585</i>	26.1	13.17
<i>MS607</i>	36.6	14.57
<i>MS608</i>	30.5	16.26
<i>MS609</i>	27.3	12.32
<i>MS610</i>	27.6	16.49
<i>MS611</i>	29.7	11.36
<i>MS612</i>	27.0	11.96
<i>MS613</i>	25.2	12.31
<i>MS614</i>	15.1	14.93

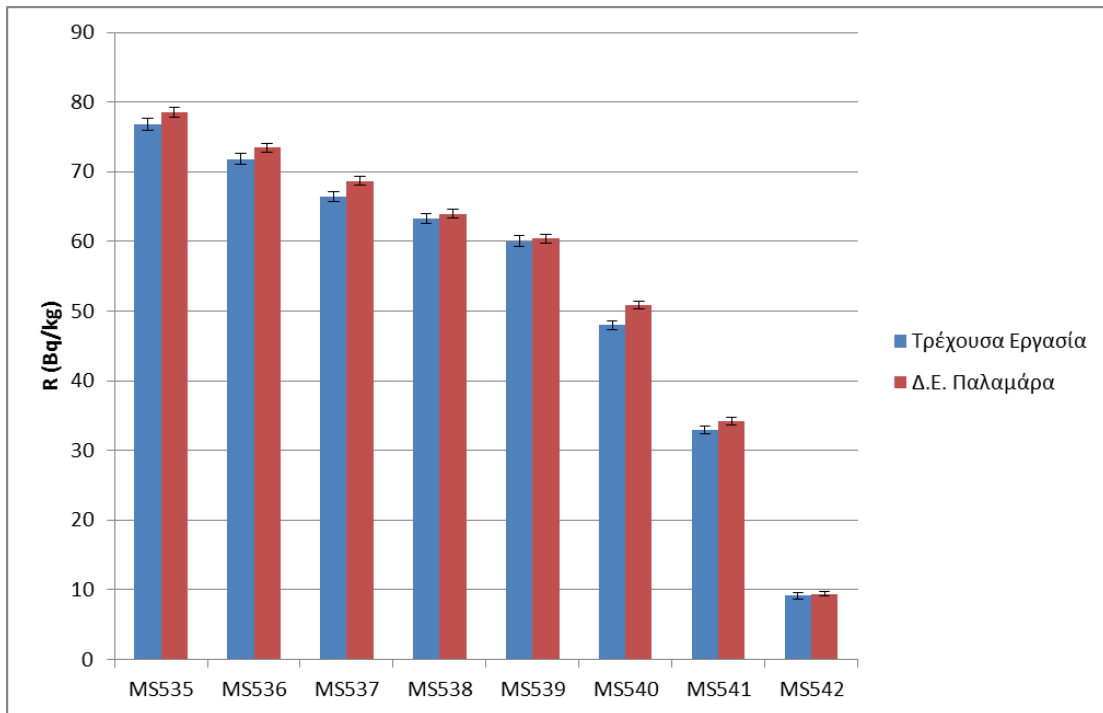
Πίνακας 5.45: Αποτελέσματα αναλύσεων του ²¹⁰Pb για το δείγμα 9-2 για τον ανιχνευτή LEGe

5.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με προηγούμενες αναλύσεις

Στα Σχήματα 1 και 2 συγκρίνονται οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, με αναλύσεις που είχαν γίνει στα πλαίσια παλαιότερης Δ.Ε. (Παλαμάρα 2010), για τα ⁴⁰K και ¹³⁷Cs στα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 8.1. Όπως διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει σημαντική απόκλιση μεταξύ των δύο ομάδων αναλύσεων, γεγονός που επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Επισημαίνεται ότι, ειδικά για τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε πειραματική τιμή της απόδοσης, αντί της τιμής της απόδοσης που εκτιμάται από την καμπύλη βαθμονόμησης απόδοσης, όπως γίνεται στις αναλύσεις ρουτίνας στο ΕΠΤ-ΕΜΠ.



Σχήμα 5.1: Σύγκριση παλιών και νέων αναλύσεων ^{40}K για το δείγμα 8-1



Σχήμα 5.2: Σύγκριση παλιών και νέων αναλύσεων ^{137}Cs για το δείγμα 8-1

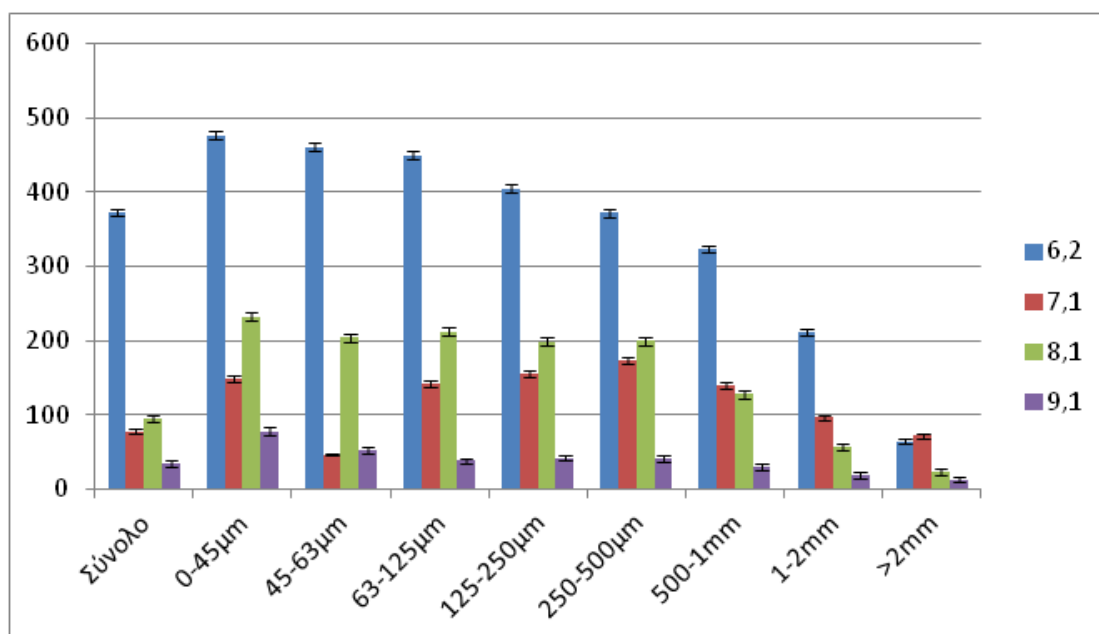
5.5 Σύγκριση των αναλύσεων δειγμάτων από τα διάφορα σημεία δειγματοληψίας

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για τα δείγματα που αναλύθηκαν στα πλαίσια της εργασίας. Συγκεκριμένα γίνεται σύγκριση:

- ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα από τις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας,
- ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα και τα δείγματα βάρους για κάθε μία θέση δειγματοληψίας.

Αρχικά, παρουσιάζεται η σύγκριση των ραδιοϊσοτόπων ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra και ^{232}Th , όπως αυτά λήφθηκαν μετά τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση για τα επιφανειακά δείγματα και στη συνέχεια για τα δείγματα βάρους.

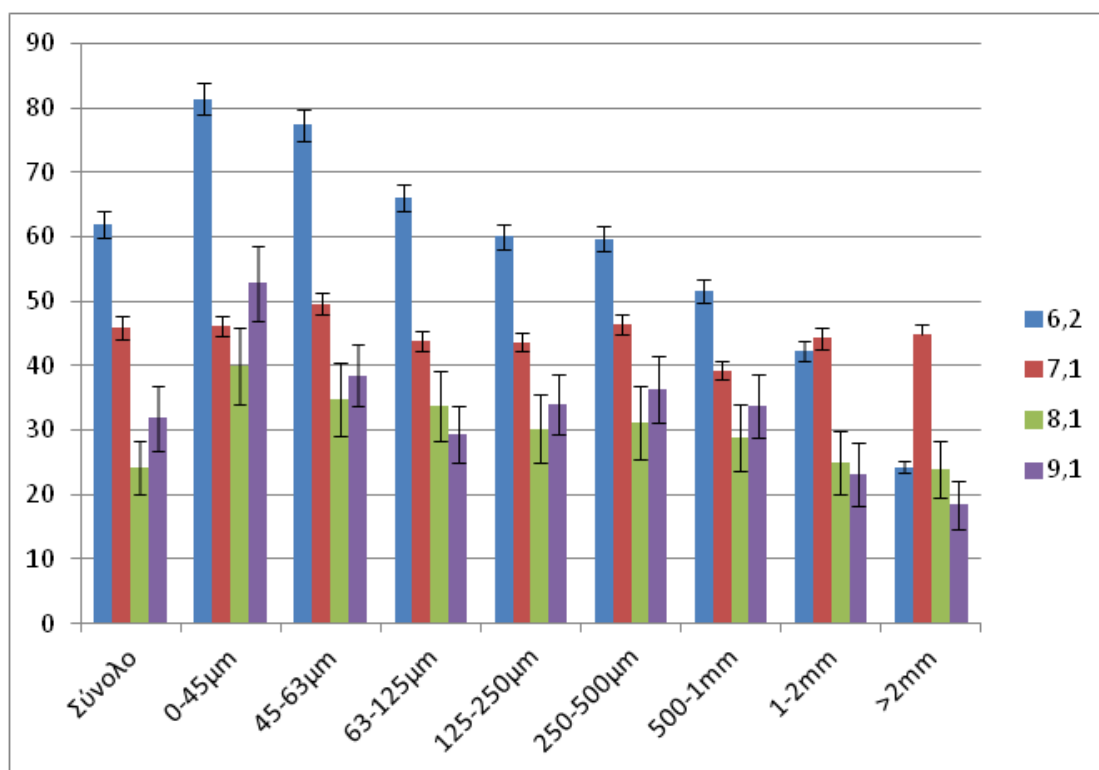
5.5.1 Σύγκριση επιφανειακών δειγμάτων



Σχήμα 5.3: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{210}Pb των επιφανειακών δειγμάτων.

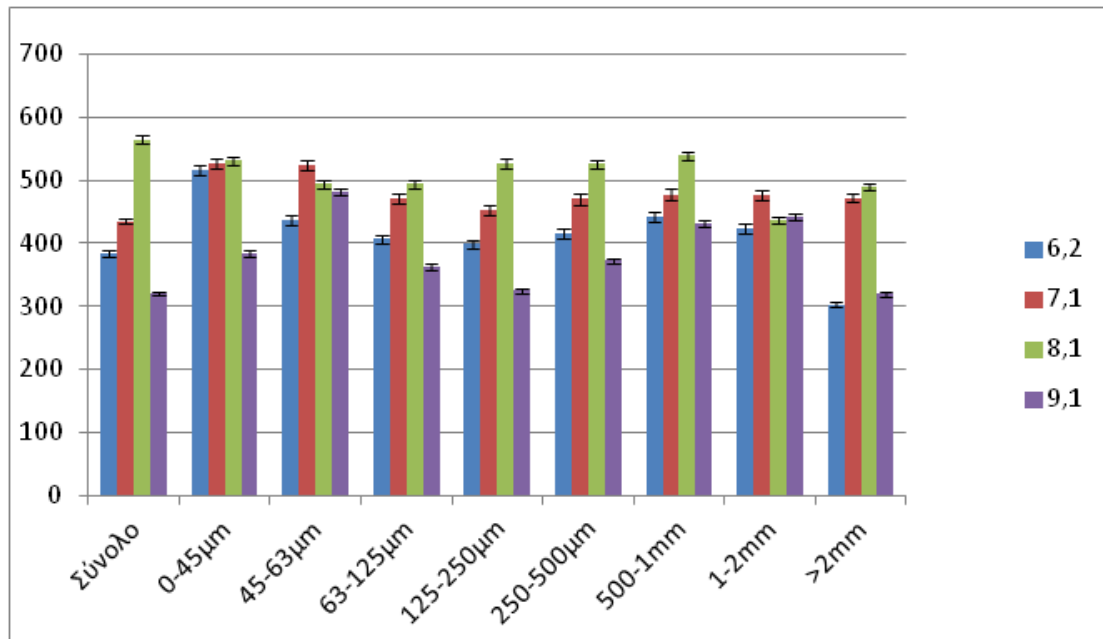
Στο σχήμα 5.3, φαίνεται η σύγκριση των τιμών του ^{210}Pb ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα 6.2, 7.1, 8.2 και 9.1. Είναι εμφανές πως ο ^{210}Pb παρουσιάζει την τάση να αυξάνεται κυρίως στα λεπτόκοκκα κλάσμα το οποίο οφείλεται στη ειδική

επιφάνεια των λεπτόκοκκων, η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή των χοντρόκοκκων κλασμάτων. Παρατηρείται επίσης πως, ενώ στα δείγματα 7.1, 8.1 και 9.1 οι τιμές του ^{210}Pb είναι σχετικά χαμηλές, στο 6.2 παρουσιάζονται πολύ υψηλότερες – σχεδόν διπλάσιες – σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.



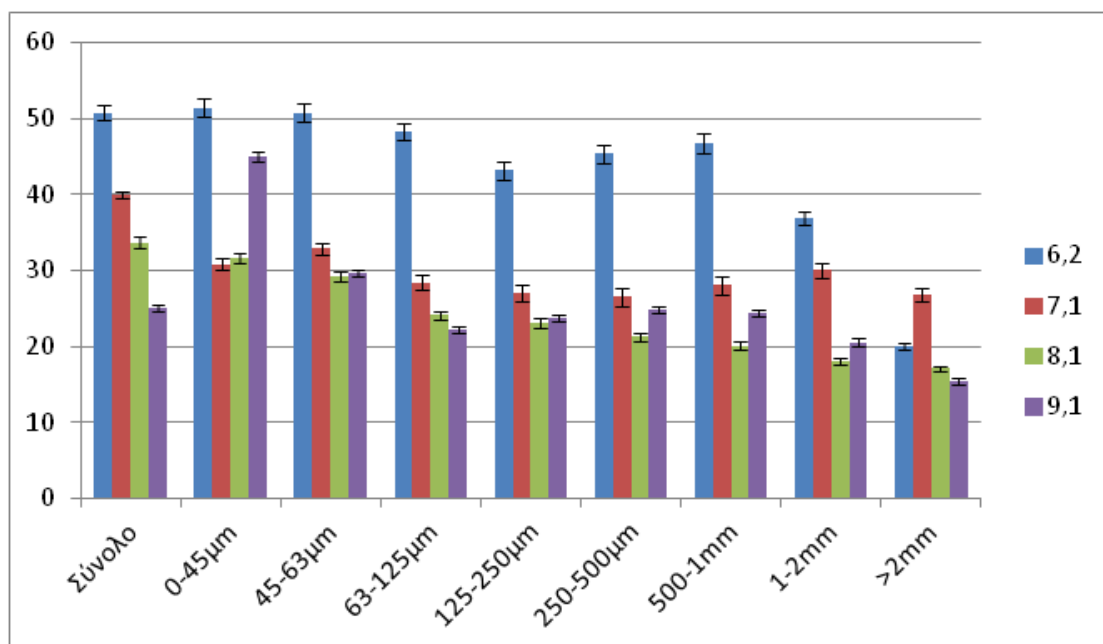
Σχήμα 5.4: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{234}Th των επιφανειακών δειγμάτων

Όσον αφορά τις τιμές του ^{234}Th , οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4, η εικόνα είναι παρόμοια με αυτή του ^{210}Pb , με τις τιμές για κάθε κλάσμα ξεχωριστά να κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις. Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα 6.2, στο οποίο διαπιστώνεται αύξηση της συγκέντρωσης του ^{234}Th στα πλέον λεπτότερα κλάσματα. Πάντως, οι διαφορές στη συγκέντρωση του ^{234}Th από τα υπόλοιπα δείγματα δεν είναι τόσο μεγάλες με αυτές που αποτυπώνονται για τον ^{210}Pb στο σχήμα 5.3.



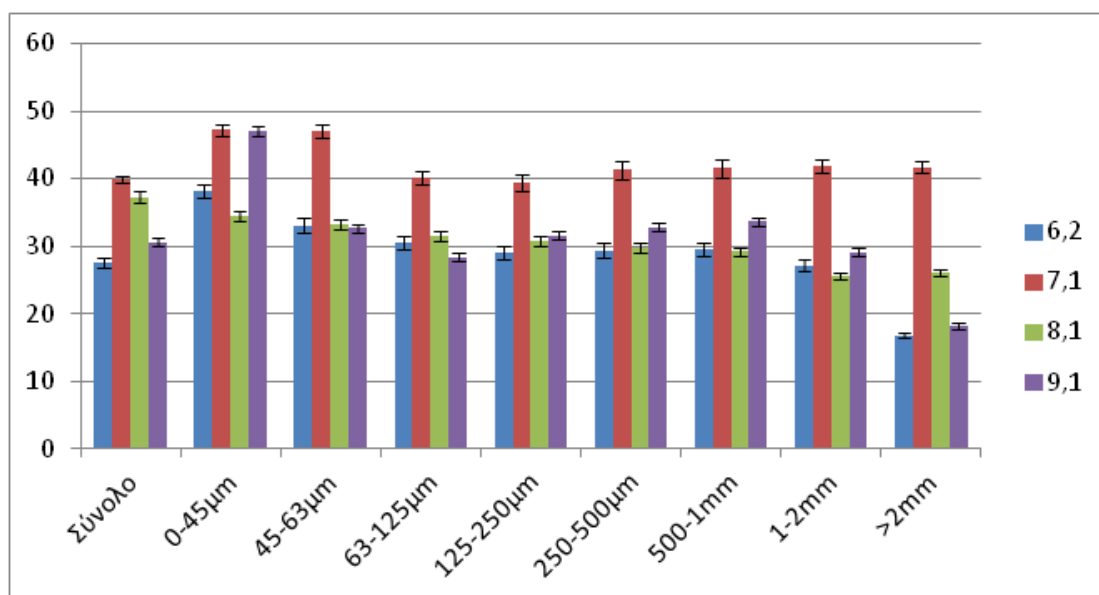
Σχήμα 5.5: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{40}K των επιφανειακών δειγμάτων

Για το ^{40}K , δεν παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές τόσο του κάθε κλάσματος για κάθε δείγμα, όσο και ανάμεσα στα δείγματα.



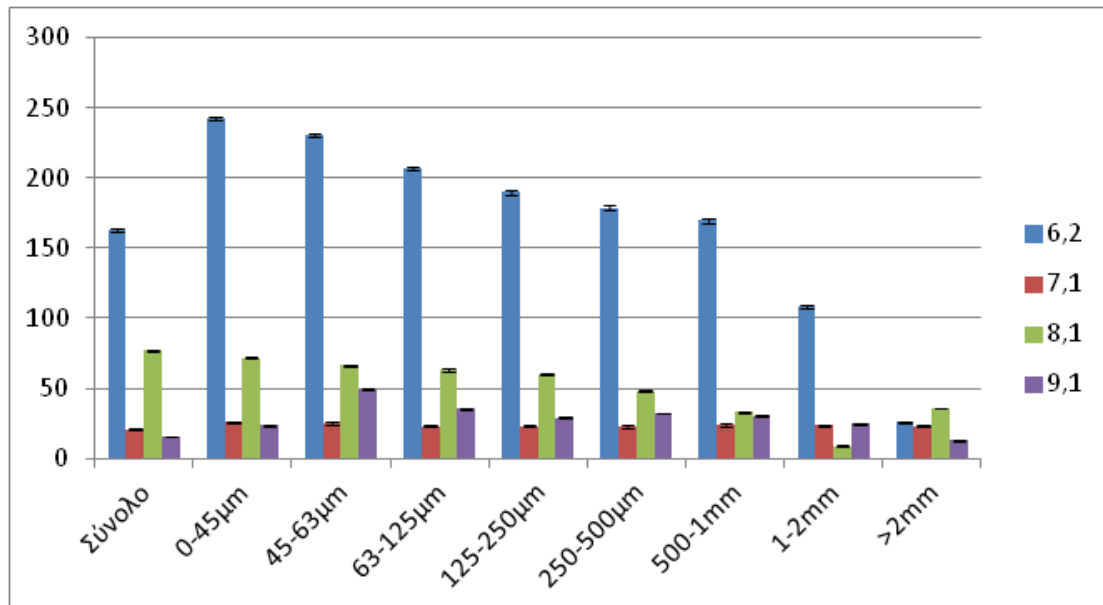
Σχήμα 5.6: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{226}Ra των επιφανειακών δειγμάτων.

Από το Σχήμα 5.6 παρατηρείται πως για κάθε δείγμα ξεχωριστά, οι τιμές του ^{226}Ra , παρουσιάζουν μία σχετική σταθερότητα όντας παρόαπλήσιες, τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα χονδρόκοκκα κλάσματα. Συγκρίνοντας τώρα τα δείγματα μεταξύ τους, παρατηρείται πως, ενώ για τα δείγματα 7.1, 8.1 και 9.1 οι τιμές της συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{226}Ra , είναι στα ίδια περίπου επίπεδα, στο 6.2, παρουσιάζονται αυξημένες. Επιπλέον, στο δείγμα 6.2 υπάρχει τάση μείωσης της συγκέντρωσης στα δύο πιο χονδρόκοκκα κλάσματα.



Σχήμα 5.7: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{232}Th των επιφανειακών δειγμάτων.

Στο σχήμα 5.7 φαίνεται πως οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία σε κάθε δείγμα ξεχωριστά, ενώ φαίνεται λίγο περισσότερο αυξημένη στο επιφανειακό 7.1, εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα δείγματα. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι για το δείγμα 9.1 στο κλάσμα 0-45μm παρατηρείται αρκετά υψηλότερη τιμή της ραδιενέργειας, σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα κλάσματα.



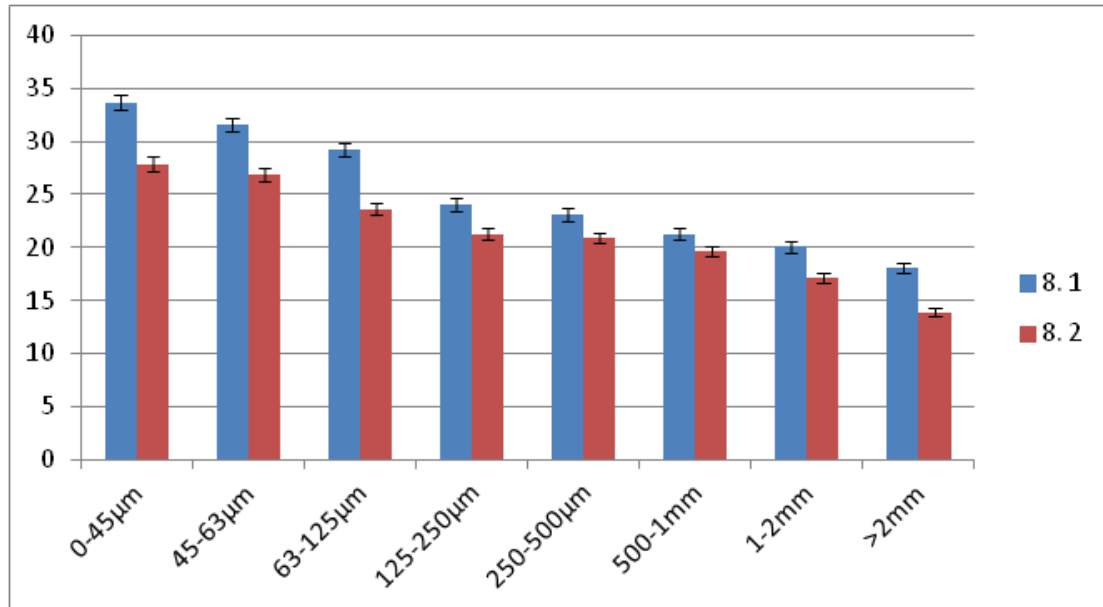
Σχήμα 5.8: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{137}Cs των επιφανειακών δειγμάτων.

Από το σχήμα 5.8, είναι εμφανής η αυξημένη συγκέντρωση του ^{137}Cs στο επιφανειακό δείγμα 6.2, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δείγματα χώματος στα οποία υπάρχει ομοιομορφία στις τιμές οι οποίες κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Στο 6.2, παρατηρείται συνεχής αύξηση των τιμών του ^{137}Cs από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα – κάτι αναμενόμενο – το οποίο παρατηρείται και για το δείγμα 8.1, αλλά σε πολύ μικρότερες τιμές.

5.5.2 Σύγκριση ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα και τα αντίστοιχα δείγματα βάθους

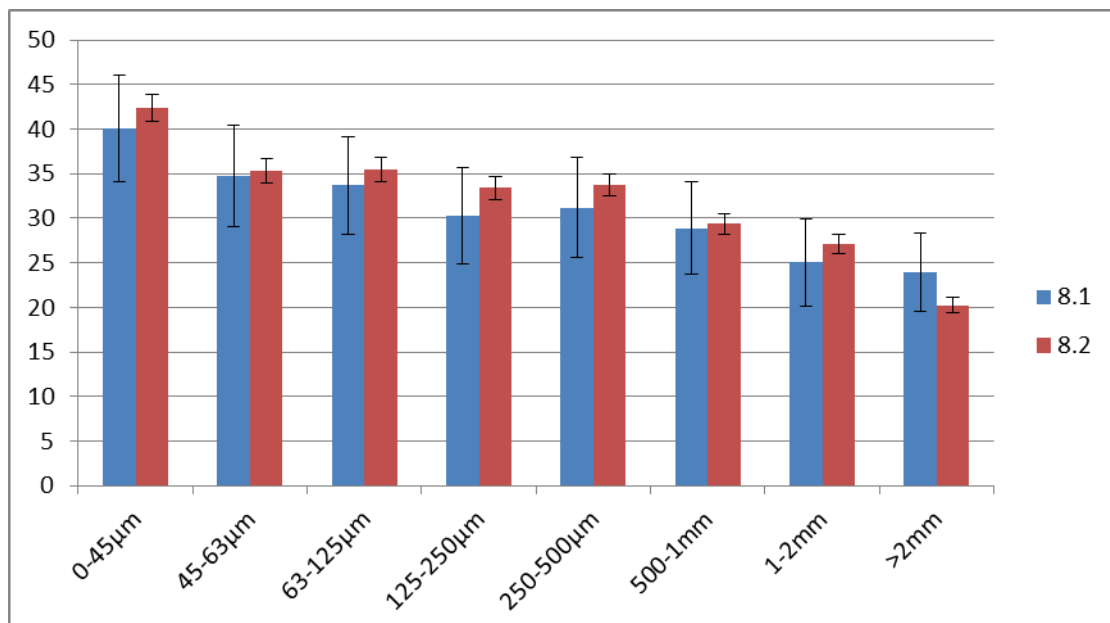
Στην παράγραφο αυτή, παρατίθενται γραφήματα στα οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανάμεσα στις συγκεντρώσεις ραδιενέργειας των επιφανειακών δειγμάτων και των δειγμάτων του αντίστοιχου βάθους για τα δείγματα 8.1- 8.2 και 9.1-9.2.

5.5.2.1 Σύγκριση επιφανειακού δείγματος 8.1 με το δείγμα βάθους 8.2



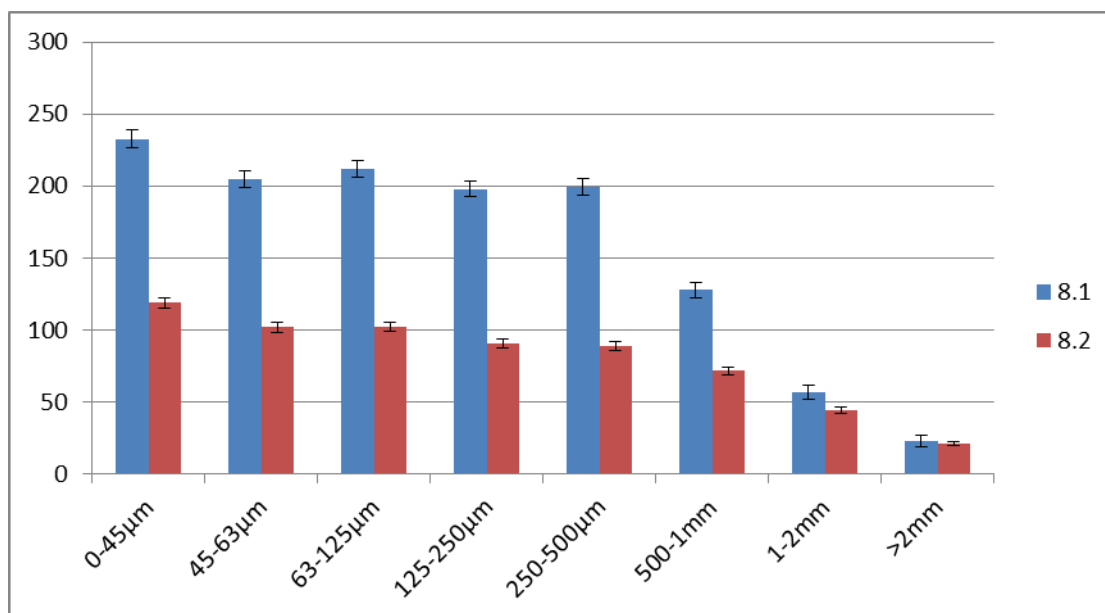
Σχήμα 5.9: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{226}Ra

Από το Σχήμα 5.9 παρατηρείται ότι η συγκέντρωση ^{226}Ra στα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 8.1 παρουσιάζετα ελαφρά αυξημένη σε σχέση με τη συγκέντρωση στο δείγμα βάθους 8.2. Είναι επίσης εμφανές πως οι τιμές για κάθε δείγμα ξεχωριστά αυξάνονται από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα.



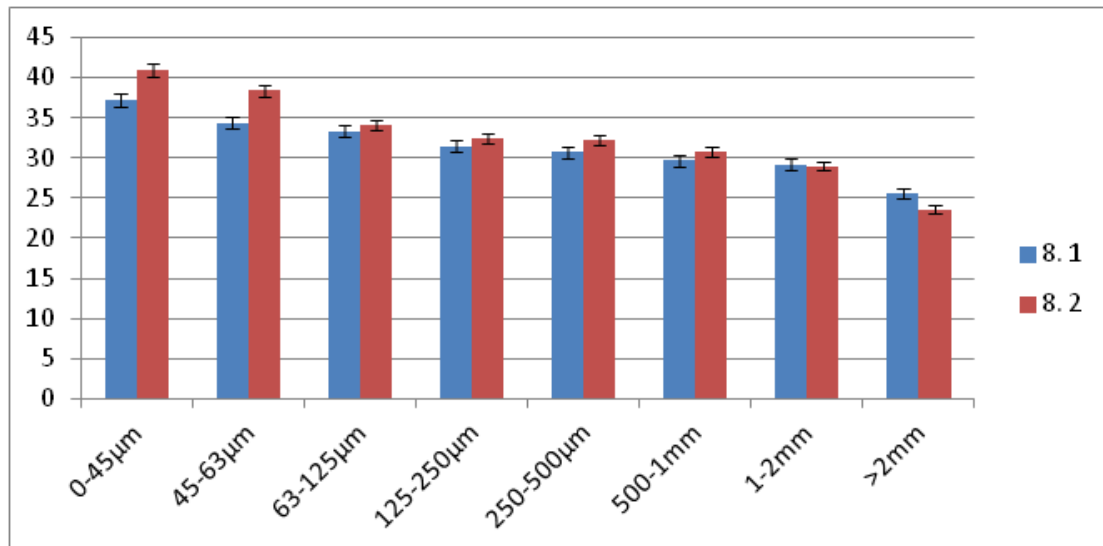
Σχήμα 5.10: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{234}Th

Από το Σχήμα 5.10 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του ^{234}Th στα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 8.1 δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση από τη συγκέντρωση στα αντίστοιχα κλάσματα του δείγματος βάθους 8.2.



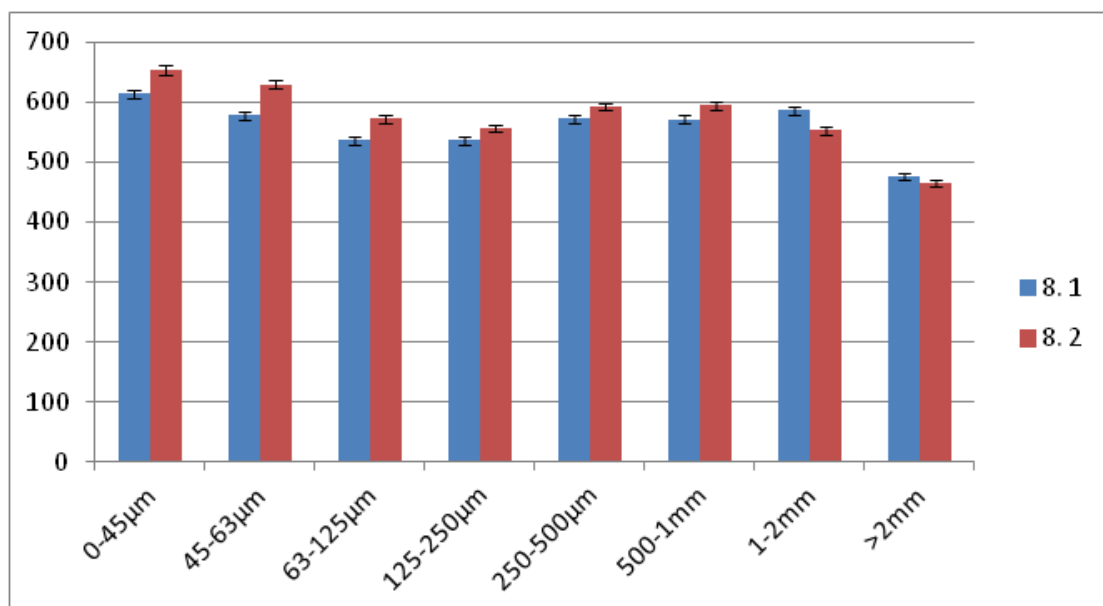
Σχήμα 5.11: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{210}Pb

Από το Σχήμα 5-11 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του ^{210}Pb δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των κλασμάτων διαμέτρου $> 1 \text{ mm}$, αλλά είναι σαφώς αυξημένη για τα μικρότερα κλάσματα στο επιφανειακό δείγμα 8.1, σε σχέση με το δείγμα βάθους 8.2. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς ο ^{210}Pb είναι πολύ πιθανό να έχει προέλθει από επιφανειακή απόθεση, είτε από παραγωγή λόγω θυγατρικών του ραδονίου είτε μέσω ιπτάμενης τέφρας.



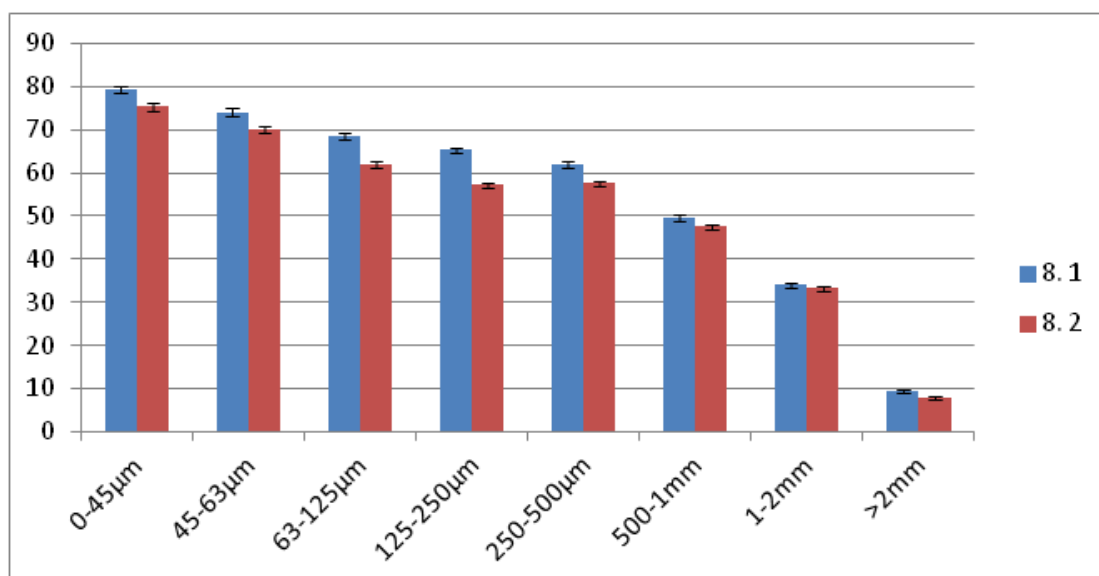
Σχήμα 5.12: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{232}Th

Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{232}Th , όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.12 φαίνονται να έχουν μία σχετική αύξηση στα λεπτόκοκκα κλάσματα και στο επιφανειακό 8.1 αλλά και στο βάθος 8.2, ενώ ανάμεσα στην επιφάνεια και το βάθος δεν φαίνονται να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση.



Σχήμα 5.13: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{40}K

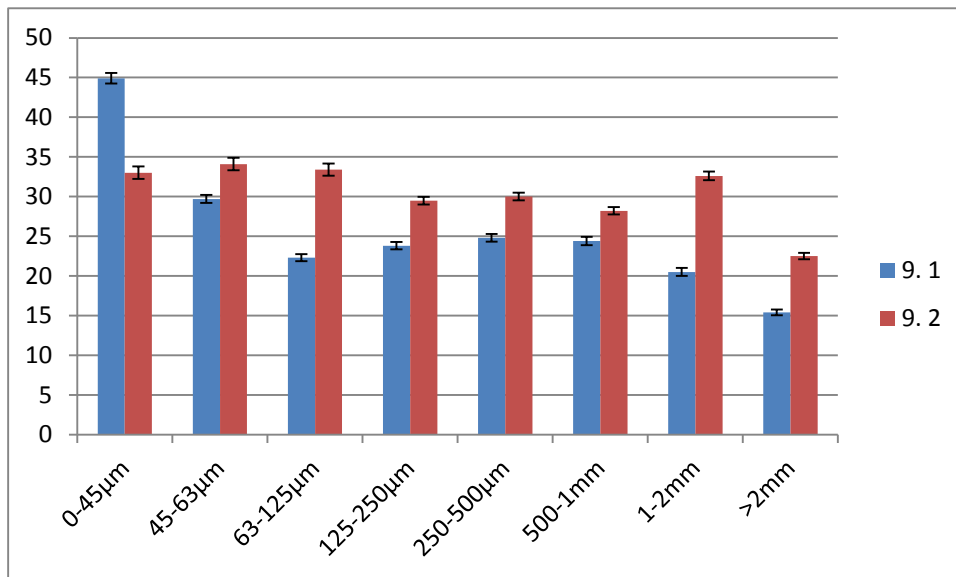
Από τις τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{40}K , όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.13 δεν διαπιστώνεται σημαντικές αυξομειώσεις, ούτε ανάμεσα στα κλάσματα κάθε δείγματος ούτε και κατά τη σύγκριση επιφανειακού δείγματος 8.1 με το δείγμα βάθους 8.2.



Σχήμα 5.14: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{137}Cs

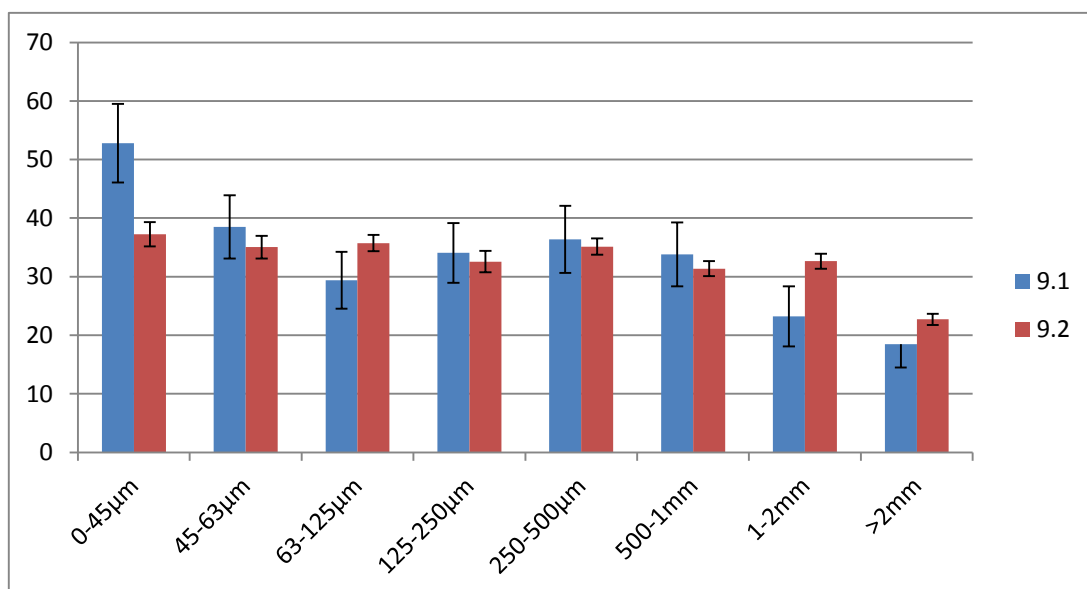
Από τις τιμές της συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{137}Cs , όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.13 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ του επιφανειακού δείγματος και του δείγματος βάθους. Πάντως και στα δύο δείγματα διαπιστώνονται συστηματικά υψηλότερες τιμές στα πλέον λεπτόκοκκα κλάσματα.

5.5.2.2 Σύγκριση επιφανειακού δείγματος 9.1 με το δείγμα βάθους 9.2



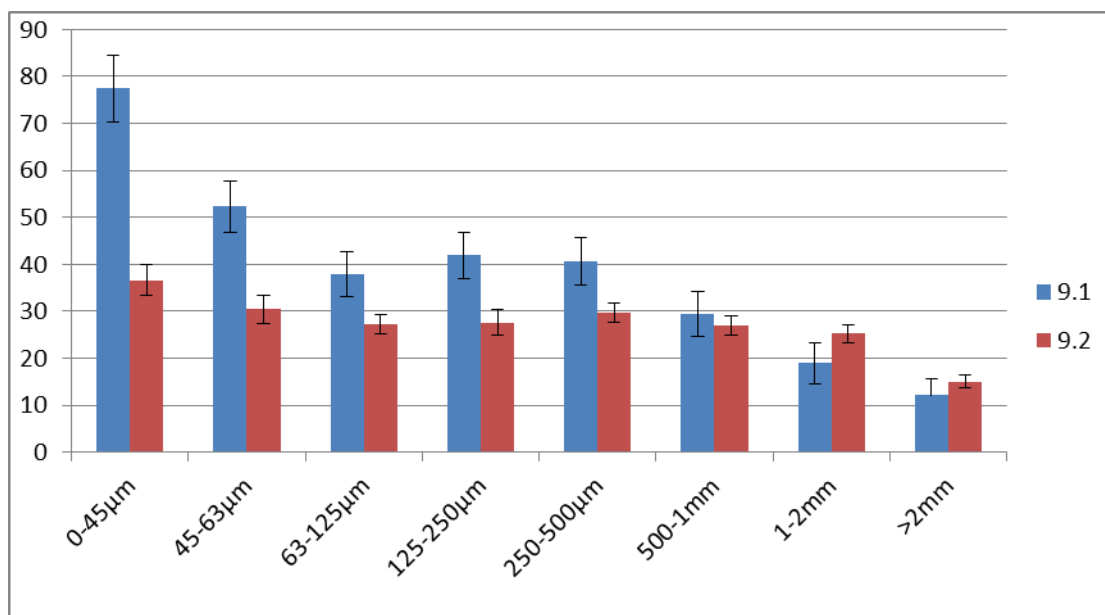
Σχήμα 5.15: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{226}Ra

Από το Σχήμα 5.15, παρατηρείται πως οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{226}Ra , παρουσιάζουν μία μικρή αύξηση στο δείγμα βάθους 9.2 σε όλα τα κλάσματα, εκτός από το 0-45 μm , όπου φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση του ραδιοϊσοτόπου στο επιφανειακό χώμα. Γενικότερα, οι τιμές ανά δείγμα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αυξομειώσεις.



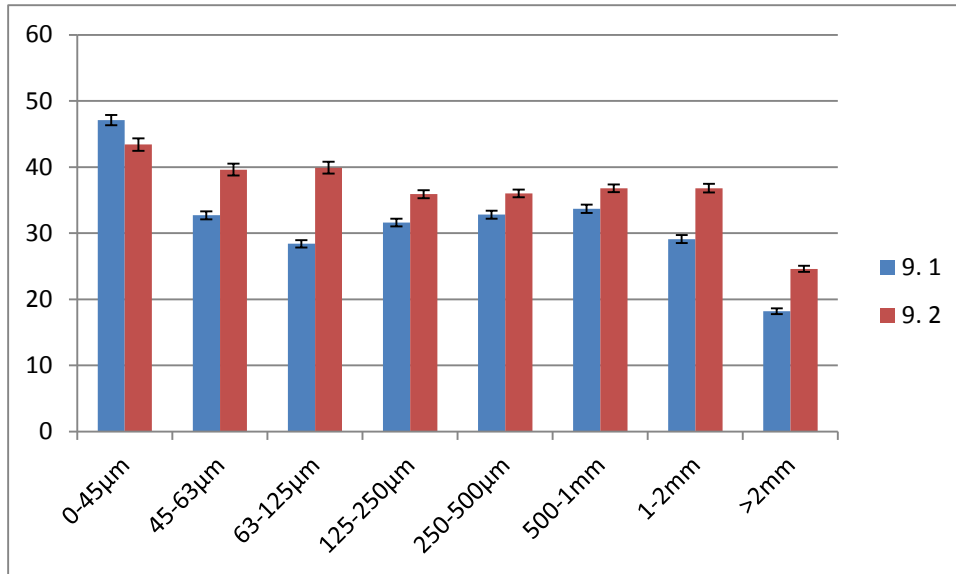
Σχήμα 5.16: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{234}Th

Από το Σχήμα 5.16 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του ^{234}Th δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ επιφανειακού δείγματος και δείγματος βάθους για όλα τα κλάσματα, εκτός του πλέον λεπτόκοκκου με διάμετρο $<45\ \mu\text{m}$. Στο κλάσμα αυτό, η συγκέντρωση στο επιφανειακό δείγμα είναι αυξημένη σε σχέση με το δείγμα βάθους.



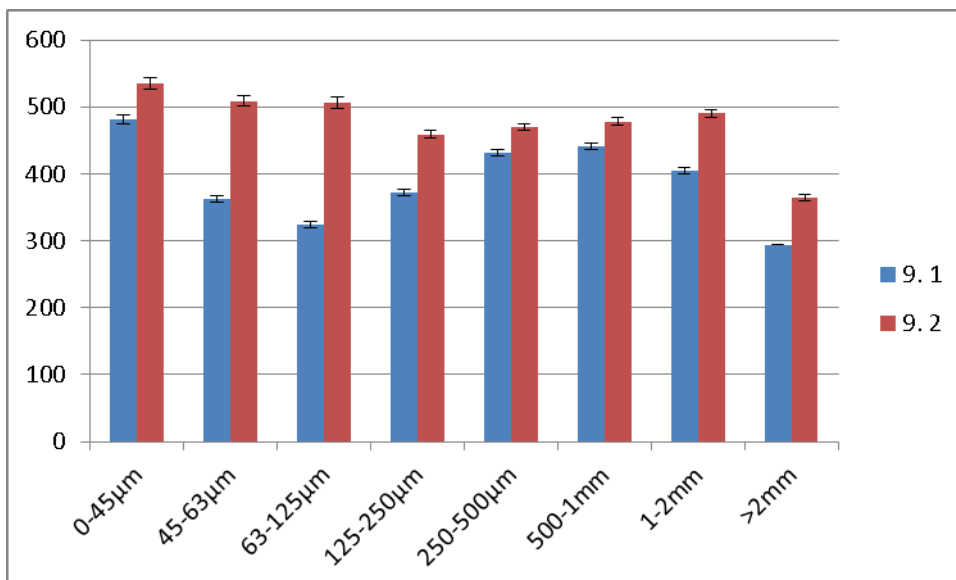
Σχήμα 5.17: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{210}Pb

Από το Σχήμα 5.17 διαπιστώνεται ότι υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση ^{210}Pb στα περισσότερα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 9.1, σε σχέση με το δείγμα βάθους 9.2. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη στο λεπτόκοκκο κλάσμα, διαμέτρου $<45\ \mu\text{m}$, στο οποίο παρατηρείται και αυξημένη συγκέντρωση για τα ^{226}Ra και ^{234}Th . Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την υπόθεση ότι η αυξημένη συγκέντρωση των ισοτόπων αυτών πιθανόν οφείλεται στην απόθεση λεπτόκοκκων κλασμάτων Ιπτάμενης Τέφρας στο έδαφος.



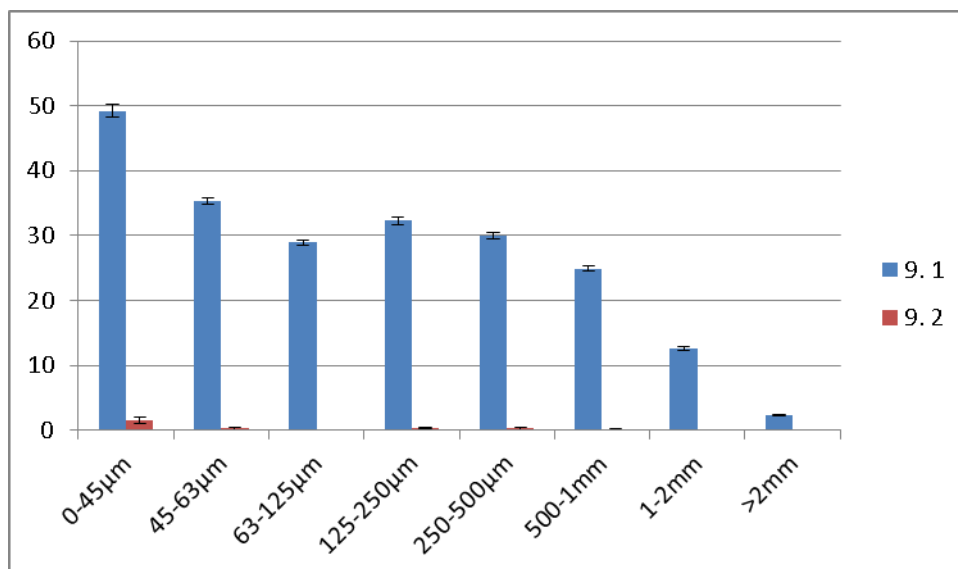
Σχήμα 5.18: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{232}Th

Για τη συγκέντρωση ραδιενέργειας του ^{232}Th , από το Σχήμα 5.18 είναι εμφανές ότι, τόσο για το επιφανειακό δείγμα 9.1, όσο και για το δείγμα βάθους 9.2 οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα.



Σχήμα 5.19: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{40}K

Από το σχήμα 5.19 διαπιστώνεται ότι τιμές της συγκέντρωσης του ^{40}K για το επιφανειακό δείγμα κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με ελάχιστες αυξομειώσεις, όπως και για το δείγμα βάθους.

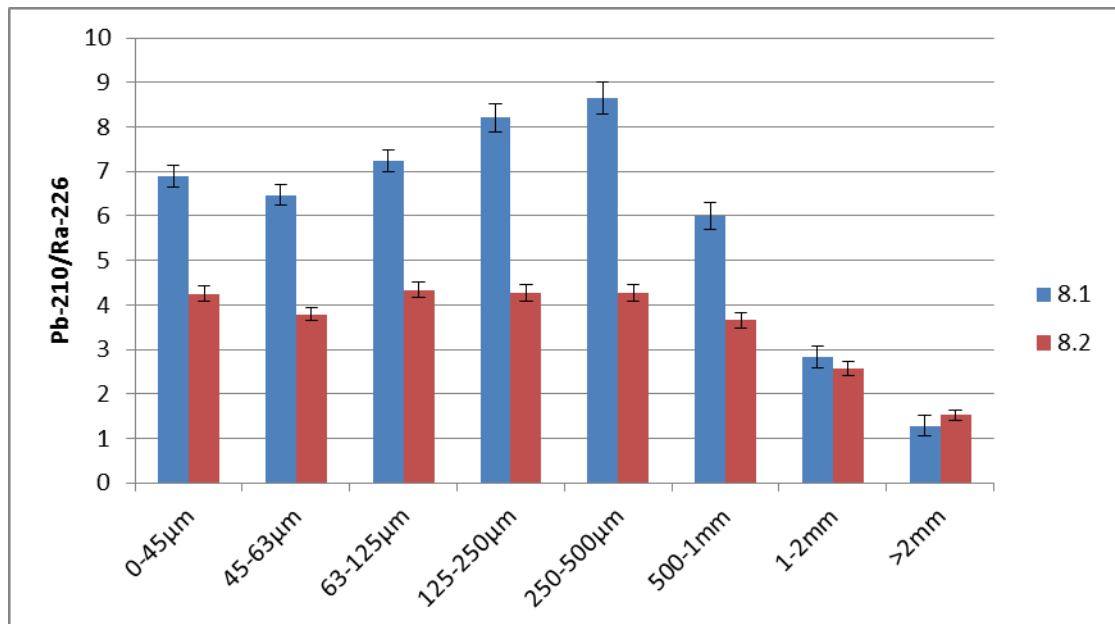


Σχήμα 5.20: Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{137}Cs

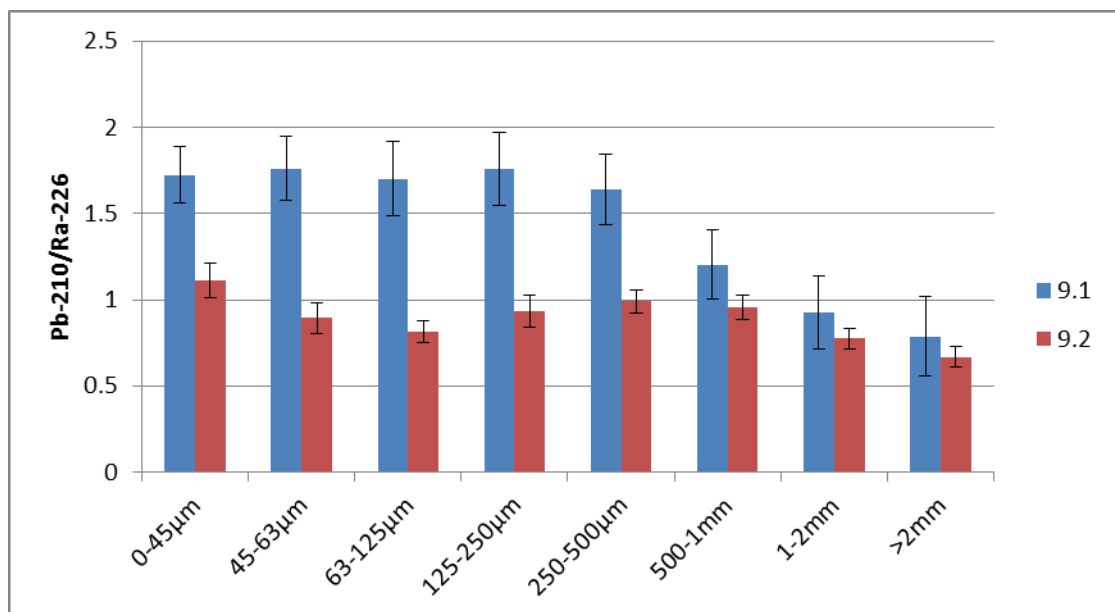
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση ραδιενέργειας του ^{137}Cs που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.20, από όπου διαπιστώνεται ότι, ενώ στο επιφανειακό δείγμα ανιχνεύτηκε το τεχνητό ραδιοϊσότοπο, στο δείγμα βάθους βρίσκεται στα όρια ανίχνευσης για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

5.5.3 Μελέτη της ραδιενεργού ισορροπίας $^{210}\text{Pb} - ^{226}\text{Ra}$

Στο Σχήμα 5.21 συγκρίνεται ο λόγος ραδιενεργειών των ισοτόπων ^{210}Pb και ^{226}Ra μεταξύ του επιφανειακού δείγματος 8.1 και του αντίστοιχου δείγματος 8.2. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, η ραδιενέργεια του ^{210}Pb είναι μεγαλύτερη από αυτή του ^{226}Ra , με τιμές του λόγου έως και 8. Στα περισσότερα κλάσματα (για κοκκομετρία μικρότερη του 1mm) ο λόγος $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ είναι πολύ υψηλότερος στο επιφανειακό δείγμα σε σχέση με το δείγμα βάθους, κάτι που θα πρέπει να θεωρείται αναμενόμενο. Πάντως, είναι ενδιαφέρον ότι παρουσιάζεται τόσο μεγάλη διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας, ακόμα και για το δείγμα βάθους.



Σχήμα 5.21: Σύγκριση των λόγων ραδιενέργειας $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$



Σχήμα 5.22: Σύγκριση των λόγων ραδιενέργειας $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$

Στο Σχήμα 5.22 συγκρίνεται ο λόγος ραδιενεργειών των ισοτόπων ^{210}Pb και ^{226}Ra μεταξύ του επιφανειακού δείγματος 9.1 και του αντίστοιχου δείγματος 9.2. Παρατηρείται ότι στα περισσότερα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 9.1 (για κοκκομετρία μικρότερη των 500 μm) ο λόγος είναι σημαντικά υψηλότερος της

μονάδας. Αντίθετα για το δείγμα βάθους δεν διαπιστώνεται σημαντική διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας.

Κεφάλαιο 6: Επίλογος διπλωματικής εργασίας

Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας ανάλυση των δειγμάτων επιφανειακού χώματος και χώματος βάθους, τα οποία συλλέχθηκαν στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Σκοπός της εργασίας ήταν να προσδιοριστεί η συγκέντρωση ραδιενέργειας των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{212}Pb , ^{40}K , αλλά και του τεχνητού ραδιενεργού ισοτόπου ^{137}Cs που εμπεριέχονταν στα δείγματα αυτά.

Προετοιμάσαμε και αναλύσαμε εξολοκλήρου τα δείγματα 7-1, 6-2, 8-2 και 9-2. Τα επιφανειακά Δείγματα 8-1 και 9-1 είχαν αναλυθεί σε προηγούμενη διπλωματική εργασία, χωρίς όμως την ύπαρξη ραδιενεργού ισορροπίας. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε νέα γ φασματοσκοπική ανάλυση των δειγμάτων εφόσον είχαν επέλθει σε ραδιενεργό ισορροπία.

6.1 Διαδικασία προετοιμασίας δειγμάτων

Πριν την ανάλυση των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε μία διαδικασία προετοιμασίας αυτών, η οποία αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Ξήρανση (αεροξήρανση) κατά την οποία τα δείγματα αφέθηκαν να ξηραθούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από μία εβδομάδα έως δέκα μέρες ανάλογα με τη μάζα τους.
- Ομογενοποίηση, κατά την οποία κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε ένα δοχείο επαρκούς όγκου περίπου 20L και αναδεύτηκε χειροκίνητα έως ότου γίνει ομογενές.
- Αφαίρεση ξένων σωματιδίων, όπου αφαιρέθηκαν υλικά τα οποία δυσχέραιναν την περαιτέρω διαδικασία.
- Κοσκίνισμα, το οποίο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της συσκευής AS-200 Control. Κατά τη διαδικασία του κοσκίνισματος, ζυγίσαμε αρχικά κάθε κόσκινο για να γνωρίζουμε ακριβώς το καθαρό του βάρος, ζυγίσαμε εν συνεχεία την ποσότητα χώματος την οποία επρόκειτο να κοσκινίσουμε και έπειτα πραγματοποιήθηκε μία σειρά δοκιμαστικών κοσκινισμάτων διάρκειας 20 λεπτών έκαστος, ώστε να διαπιστώσουμε τον κατάλληλο χρόνο που χρειάζεται κάθε παρτίδα χώματος. Η όλη διαδικασία των δοκιμαστικών

κοσκινισμάτων, ολοκληρώθηκε εφόσον η μεταβολή της μάζας βρέθηκε να είναι μικρότερη από 0,5%. Για το λόγο αυτό, κάθε κοσκίνισμα διήρκησε 99’.

- Συσκευασία χονδρόκοκκου κλάσματος(>2mm), η οποία πραγματοποιήθηκε με χρήση μηχανήματος θραύσης Retsch BB51 ώστε το χονδρόκοκκο κλάσμα να μετατραπεί σε σκόνη, να συσκευαστεί και εν συνεχεία να αναλυθεί από τον ανιχνευτή.
- Συσκευασία υποδειγμάτων, στην οποία το δείγμα χώματος όντας πλέον χωρισμένο σε κλάσματα, συσκευάστηκε σε ειδικά πλαστικά κυλινδρικά δοχεία, συγκεκριμένων διαστάσεων ανάλογα με τη γεωμετρία που επιθυμούμε.

Ο λόγος για τον οποίο το αρχικό δείγμα χώματος, διαιρέθηκε σε μικρότερα υποδείγματα, αντιπροσωπευτικά του αρχικού δείγματος, ήταν διότι ο κάθε ανιχνευτής μπορεί να αναλύσει συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος, εφόσον υπάρχει καθορισμένη χωρητικότητα.

- Σφράγισμα υποδειγμάτων, κατά το οποίο η επιφάνεια του χώματος, καλύπτεται με έναν πλαστικό, λεπτό δίσκο, με διάμετρο ίση με αυτή του πλαστικού δοχείου, ο οποίος σφραγίζεται στα τοιχώματα και την επιφάνεια με σιλικόνη. Εν συνεχεία καλύπτεται το δείγμα με λεπτό στρώμα ρητίνης. Τα δείγματα, εφόσον σφραγίστηκαν, αφέθηκαν για χρονικό διάστημα περίπου 30 ημερών, ώστε να έλθουν σε ραδιενεργό ισορροπία τα ^{226}Ra και ^{220}Rn και τοποθετήθηκαν στους ανιχνευτές όπου αναλύθηκαν με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας.

6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης

Τα υποδείγματα αναλύθηκαν στους ανιχνευτές HPGe και LEGe για 172800sec, με σκοπό τη μέτρηση συγκέντρωσης της ραδιενέργειας των ισοτόπων.

6.2.1 Αποτελέσματα σύγκρισης επιφανειακών δειγμάτων

Από τη σύγκριση των ραδιοϊσοτόπων ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra και ^{232}Th , όπως αυτά λήφθηκαν μετά τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση για τα επιφανειακά δείγματα 6.2, 7.1, 8.1 και 9.1 προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο ^{210}Pb παρουσιάζει την τάση να αυξάνεται κυρίως στα λεπτόκοκκα κλάσματα το οποίο οφείλεται στη ειδική επιφάνεια των λεπτόκοκκων, καθώς είναι μεγαλύτερη από αυτή των χοντρόκοκκων κλασμάτων.
- Οι τιμές του ^{234}Th , για κάθε ένα κλάσμα ξεχωριστά κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις
- Στο ^{40}K , δεν παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές τόσο του κάθε κλάσματος για κάθε δείγμα, όσο και ανάμεσα στα δείγματα.
- Οι τιμές του ^{226}Ra , παρουσιάζουν μία σχετική σταθερότητα όντας παρόμοιες τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα χοντρόκοκκα κλάσματα.
- Στο ^{232}Th φαίνεται πως οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία σε κάθε δείγμα ξεχωριστά, με εξαίρεση το επιφανειακό 7.1 που παρουσιάζεται λίγο αυξημένη εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα δείγματα.
- Η συγκέντρωση του ^{137}Cs στο επιφανειακό δείγμα 6.2 είναι εμφανώς αυξημένη, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δείγματα χώματος στα οποία υπάρχει ομοιομορφία με τις τιμές να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Στο 6.2, παρατηρούμε επίσης τη συνεχή αύξηση των τιμών του ^{137}Cs από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα, το οποίο ισχύει και για το 8.1 αλλά σε πολύ μικρότερες τιμές.

6.2.2 Αποτελέσματα σύγκρισης ανάμεσα στα επιφανειακά δείγματα με τα αντίστοιχα δείγματα βάρους

6.2.2.1 Επιφανειακό 8.1- Βάρους 8.2

- Η συγκέντρωση ^{226}Ra στα κλάσματα του επιφανειακού δείγματος 8.1 παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με τη συγκέντρωση στο δείγμα βάρους 8.2. Είναι επίσης εμφανές πως οι τιμές για κάθε δείγμα ξεχωριστά αυξάνονται καθώς πηγαίνουμε από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα.
- Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{232}Th , παρουσιάζουν μία σχετική αύξηση στα λεπτόκοκκα κλάσματα και στο επιφανειακό 8.1 αλλά και στο βάρους 8.2, ενώ ανάμεσα σε επιφάνεια και βάθος υπάρχει ομοιομορφία, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις στη συγκέντρωση ραδιενέργειας.

- Στο ^{40}K δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις ούτε ανάμεσα στα κλάσματα κάθε δείγματος ούτε και κατά τη σύγκριση επιφανειακού δείγματος (8.1) με το δείγμα βάθους (8.2).
- Το ^{137}Cs φαίνεται παρόμοιο για τα δύο δείγματα, πράγμα το οποίο φανερώνει πως το χώμα στην περιοχή δεν είναι διαταραγμένο. Παρατηρείται επίσης σταδιακή αύξηση καθώς προχωράμε προς τα μικρότερα κλάσματα τόσο στο επιφανειακό δείγμα όσο και στο δείγμα βάθους.

6.2.2.2 Επιφανειακό 9.1- Βάθους 9.2

- Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{226}Ra , παρουσιάζουν μικρή αύξηση στο δείγμα βάθους 9.2 σε όλα τα κλάσματα εκτός από το 0-45μm όπου φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση του ραδιοϊσοτόπου στο επιφανειακό χώμα. Γενικότερα, οι τιμές ανά δείγμα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αυξομειώσεις.
- Η συγκέντρωση ραδιενέργειας του ^{232}Th τόσο για το επιφανειακό δείγμα 9.1, όσο και για το δείγμα βάθους 9.2 κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα. Ανάμεσα στα δύο δείγματα, οι τιμές συγκέντρωσης για το δείγμα βάθους είναι μεγαλύτερες από τις τιμές του επιφανειακού δείγματος.
- Οι τιμές συγκέντρωσης του ^{40}K για το επιφανειακό δείγμα κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με ελάχιστες αυξομειώσεις, όπως και για το δείγμα βάθους, όπου οι τιμές παρουσιάζουν ακόμα μικρότερη απόκλιση. Μεταξύ των δύο δειγμάτων, κατά μέσο όρο η συγκέντρωση ραδιενέργειας του ^{40}K είναι στα ίδια επίπεδα όπως αναμένεται.
- Το ^{137}Cs ενώ στο επιφανειακό δείγμα ανιχνεύτηκε, στο δείγμα βάθους, φαίνεται να μην υπάρχει σχεδόν καθόλου. Εφόσον λοιπόν το Cs βρίσκεται μόνο στη επιφάνεια του χώματος, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η περιοχή δειγματοληψίας δεν έχει διαταραχθεί από κάποια φυσική ή ανθρώπινη δραστηριότητα.

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Τα πειράματα, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούν να αποτελέσουν βάση για την εκπόνηση μελλοντικών ερευνών, οι οποίες θα μπορούσαν να αφορούν:

- Την πραγματοποίηση νέων δειγματοληψιών και την ανάλυση χόματος από περιοχές με μεγάλη εκροή ραδονίου, όπως οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ρήγματα (σεισμογενής περιοχές), ή ακόμα και σε ηφαιστειογενής περιοχές όπως πχ. η Νίσυρος,
- Την πραγματοποίηση δειγματοληψιών σε περιοχές όπου έχει διαπιστωθεί μεγάλη διαταραχή της ραδιενεργού ισορροπίας μεταξύ ^{238}U - ^{226}Ra και ^{226}Ra - ^{210}Pb , στις οποίες μπορεί να διερευνηθεί η κινητική των παραπάνω ισοτόπων καθώς και πως αυτά κατανέμονται στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα του χόματος.
- Την ανάλυση σε δείγματα χόματος με διαφορετική σύσταση

Παράρτημα: Διεξαγωγή πειράματος με τη χρήση βοηθητικής αλυσίδας κατά το κοσκίνισμα

Το επιφανειακό χρώμα 6.2 το οποίο συλλέχθηκε στην περιοχή Κατσίμπαλης στη Μεγαλόπολη, παρουσίαζε αργιλώδη μορφή με αποτέλεσμα να δυσκολεύει τη διαδικασία του κοσκίνισματος. Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου κοσκίνισματος (99'), παρατηρήσαμε ότι είχε συγκεντρωθεί σημαντική ποσότητα δείγματος στο κόσκινο των 250 μm , γεγονός που δημιουργεί υπόνοιες ότι ίσως έχουν σχηματισθεί συσσωμάτωμα κόκκων που εμποδίζουν τη διέλευση από τις οπές του κόσκινου.

Για την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων στη βιβλιογραφία προτείνεται η χρήση διάφορων βοηθητικών μέσων, όπως αλυσίδες ή σφαιρίδια από πλαστικό, τα οποία τοποθετούνται μέσα στο κόσκινο για να βοηθήσουν μηχανικά τη διέλευση των σωματιδίων.

Για το λόγο αυτό, αποφασίσαμε να δοκιμάσουμε πειραματικά τη χρήση αλυσίδας ώστε να διαπιστώσουμε την επίδρασή της τόσο στη διαδικασία του κοσκίνισματος, όσο και στα αποτελέσματα από τη γ -φασματοσκοπική ανάλυση. Η αλυσίδα που χρησιμοποιήθηκε έχει κατασκευαστεί από εταιρεία Retsch, μοντέλο 32365000.

Για να διαπιστώσουμε αν η χρήση της αλυσίδας μπορεί να διαχωρίσει περαιτέρω τους κόκκους, πήραμε ποσότητα 200g από κάθε ένα από τα κλάσματα των 250-500 μm , 125-250 μm , 63-125 μm , 45-63 μm πήραμε 200g χρώματος, και τα κοσκίνισαμε για 20' το κάθε ένα με τη χρήση της αλυσίδας. Με τον τρόπο αυτό, από κάθε κλάσμα προέκυψαν νέα κλάσματα, προφανώς μόνο για τις μικρότερες διαμέτρους κόκκου.

Από τον Πίνακα 1, παρατηρούμε πως, μετά τη διαδικασία του κοσκίνισματος, το μεγαλύτερο μέρος της μάζας παρέμεινε στο αρχικό κόσκινο, ένα ποσοστό όμως έχει μετακινηθεί στα μικρότερα κλάσματα. Το ερώτημα που δημιουργείται, είναι αν το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί πραγματικά σε κόκκους μικρότερης διαμέτρου οι οποίοι με τη βοήθεια της αλυσίδας μετακινήθηκαν σε χαμηλότερο κόσκινο, ή πρόκειται για

κόκκους το αρχικού κλάσματος που έσπασαν σε μικρότερης διαμέτρου τμήματα υπό την επίδραση της αλυσίδας.

<i>Αρχικό Κλάσμα</i>	<i>Αρχική Μάζα (g)</i>	<i>Τελικό Κλάσμα</i>	<i>Τελική Μάζα (g)</i>
500μm-1mm	200	500μm-1mm	137.21
		250-500μm	29.17
		125-250μm	9.79
		63-125μm	6.63
		45-63μm	4.52
		<45μm	2.58
250-500μm	200	250-500μm	158.52
		125-250μm	24.71
		63-125μm	9.27
		45-63μm	6.95
		<45μm	0.9
125-250μm	200	125-250μm	150.08
		63-125μm	31.43
		45-63μm	14.89
		<45μm	0.68
63-125μm	200	63-125μm	177.36
		45-63μm	20.27
		>45μm	2.32
45-63μm	200	45-63μm	158.58
		<45μm	41.43

Πίνακας 1: Καθαρές μάζες που συλλέχθηκαν μετά από κοσκίνισμα με τη χρήση αλυσίδων

Για να απαντήσουμε το έρωτημα αυτό, ενοποιήσαμε τα κλάσματα όμοιων διαμέτρων μετρήσαμε την υγρασία τους και κατασκευάσαμε υποδείγματα (MS581-MS584) σε γεωμετρία 5 τα οποία αναλύσαμε με τη μέθοδο της γ-φασματοσκοπίας. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ο αριθμός κάθε υποδείγματος που συσκευάστηκε, η νωπή μάζα και η υγρασία όπως αυτές μετρήθηκαν και η ξηρή μάζα την οποία υπολογίσαμε.

Κλάσμα	Αριθμός υποδείγματος	Νωπή μάζα (g)	Υγρασία(%)
45-63μm	MS581	74.8	3.7
63-125μm	MS582	80.5	3.5
125-250μm	MS583	77.7	3.3
250-500μm	MS584	72.1	3.2

Πίνακας 2: Παρουσίαση υποδειγμάτων χόματος 6-2 κατά τη διαδικασία κοσκίνισματος με τη χρήση αλυσίδων

Από τη φασματική ανάλυση, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στους Πίνακες 3-10

	Ενέργεια		MS581	MS582	MS583	MS584
²²⁸ Ac	338.40 keV	R (Bq/kg)	27.27	26.05	27.11	27.58
		1.65σ %	22.27	21.85	21.00	43.36
	911.07 keV	R (Bq/kg)	28.09	29.17	26.85	25.38
		1.65σ %	9.42	8.59	9.29	10.25
²²⁸ Ra		R (Bq/kg)	27.96	28.67	26.89	25.48
		1.65σ %	8.67	8.00	8.47	9.98
²¹² Pb	238.63 keV	R (Bq/kg)	31.25	30.67	28.34	28.47
		1.65σ %	6.49	5.87	6.03	6.82
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	R (Bq/kg)	28.19	26.93	24.18	25.98
		1.65σ %	9.14	8.87	9.75	9.72
²²⁸ Th		R (Bq/kg)	30.08	29.31	26.90	27.54
		1.65σ %	5.30	4.90	5.14	5.59
²³² Th		R (Bq/kg)	29.4	29.1	26.9	27.0
		1.65σ %	2.66	4.18	4.40	4.88

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών²³²Th του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων στον ανιχνευτή HPGe

	Ενέργεια		MS581	MS582	MS583	MS584
²¹² Pb	238.63 keV	R (Bq/kg)	31.70	27.70	27.01	27.64
		1.65σ %	8.98	8.80	8.99	8.82
²⁰⁸ Tl	583.14 keV	R (Bq/kg)	30.27	27.02	24.94	27.58
		1.65σ %	10.04	10.32	11.05	10.48
²²⁸ Th		R (Bq/kg)	31.03	27.40	26.11	27.62
		1.65σ %	6.69	6.70	6.98	6.75
²³² Th		R (Bq/kg)	31	27.4	26.1	27.6
		1.65σ %	6.69	6.70	6.98	6.75

Πίνακας 4: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών²³²Th του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων στον ανιχνευτή LEGe

	Ανιχνευτής HPGe		Ανιχνευτής LEGe	
	R (Bq/kg)	%1.65σ	R (Bq/kg)	%1.65σ
MS581	401.02	2.66	392.86	4.88
MS582	399.60	2.55	377.74	4.72
MS583	385.91	2.62	341.72	4.98
MS584	403.88	2.66	391.68	5.01

Πίνακας 5: Αποτελέσματα αναλύσεων του ⁴⁰K του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων

	Ανιχνευτής HPGe		Ανιχνευτής LEGe	
	R (Bq/kg)	%1.65σ	R (Bq/kg)	%1.65σ
MS581	211.56	0.90	218.17	1.30
MS582	198.24	0.90	193.54	1.30
MS583	176.42	1.00	172.63	1.50
MS584	166.56	1.10	161.86	1.60

Πίνακας 6: Αποτελέσματα αναλύσεων του ^{137}Cs του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων

		Ενέργεια	MS581	MS582	MS583	MS584
^{214}Pb	295.92 keV	R (Bq/kg)	47.06	45.80	41.93	41.11
		1.65σ %	13.07	12.89	13.27	14.20
	351.99 keV	R (Bq/kg)	47.74	46.40	38.99	41.83
		1.65σ %	4.63	4.45	5.13	5.07
	M.T	R (Bq/kg)	47.67	46.34	39.32	41.75
1.65σ %		4.37	4.21	4.79	4.78	
^{214}Bi	609.32 keV	R (Bq/kg)	42.40	41.94	34.75	38.25
		1.65σ %	4.59	4.46	5.16	5.03
	1120.28 keV	R (Bq/kg)	49.28	48.38	37.53	42.42
		1.65σ %	12.45	11.90	14.69	14.03
	1764.51 keV	R (Bq/kg)	50.12	50.84	40.58	42.41
		1.65σ %	8.90	7.91	9.77	9.76
	M.T	R (Bq/kg)	44.07	43.91	35.88	39.26
		1.65σ %	3.89	3.70	4.37	4.26
^{226}Ra	R (Bq/kg)	45.5	44.9	37.3	40.3	
	1.65σ %	2.91	2.78	3.23	3.18	

Πίνακας 7: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ^{226}Ra του δείγματος 6-2 στον ανιχνευτή HPGe με χρήση αλυσίδων

		Ενέργεια	MS581	MS582	MS583	MS584
^{214}Pb	295.92 keV	Bq/kg	50.44	46.56	37.45	43.42
		1.65σ%	10.95	11.10	13.61	12.11
	351.99 keV	Bq/kg	50.36	47.15	40.48	41.84
		1.65σ%	4.01	3.92	4.42	4.58
	M.T	Bq/kg	50.37	47.08	40.15	42.03
1.65σ%		3.77	3.70	4.20	4.28	
^{214}Bi	609.32 keV	Bq/kg	46.13	43.00	37.75	39.63
		1.65σ%	5.08	4.95	5.58	5.71
	1120.28 keV	Bq/kg	46.13	43.00	37.75	39.63
		1.65σ%	20.76	19.32	23.70	27.83
	1764.51 keV	Bq/kg	51.86	49.51	34.77	40.15
		1.65σ%	15.55	15.08	20.79	20.79
	M.T	Bq/kg	46.55	43.47	37.52	39.67
		1.65σ%	4.71	4.58	5.25	5.41
^{226}Ra	Bq/kg	48.7	45.5	39.0	41.0	
	1.65σ%	2.94	2.88	3.28	3.36	

Πίνακας 8: Αποτελέσματα αναλύσεων θυγατρικών ^{226}Ra του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων στον ανιχνευτή LEGe

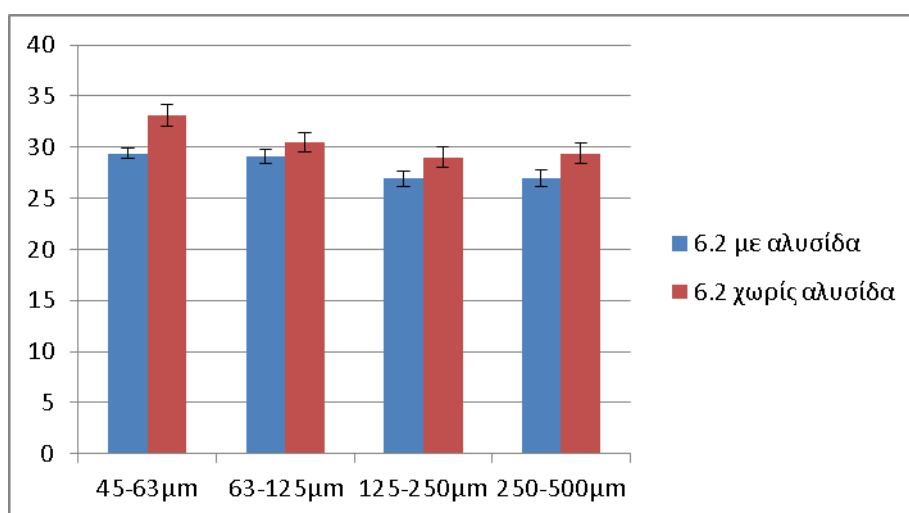
	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS581</i>	74.70	5.06
<i>MS582</i>	66.74	5.15
<i>MS583</i>	49.02	5.76
<i>MS584</i>	52.28	5.61

Πίνακας 9: Αποτελέσματα αναλύσεων ^{234}Th του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων στον ανιχνευτή LEGe

	<i>R (Bq/kg)</i>	<i>%1.65σ</i>
<i>MS581</i>	459.82	2.03
<i>MS582</i>	432.32	2.05
<i>MS583</i>	370.02	2.26
<i>MS584</i>	338.31	2.45

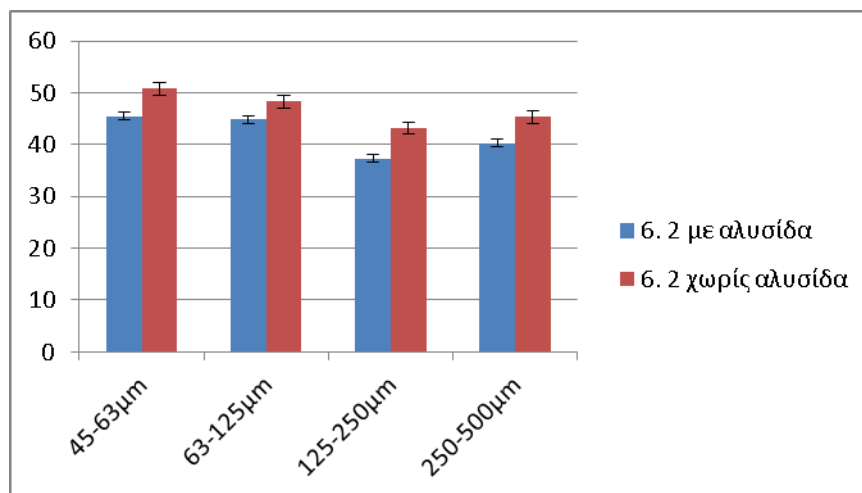
Πίνακας 10: Αποτελέσματα ^{210}Pb του δείγματος 6-2 με χρήση αλυσίδων στον ανιχνευτή LEGe

Στα Σχήματα 1-6, συγκρίνουμε τις ραδιενέργειες των κλασμάτων που προέκυψαν με τη χρήση της αλυσίδας, με αυτές των κλασμάτων που είχαν παραχθεί κατά τα κύρια πειράματα, χωρίς τη χρήση αλυσίδας.



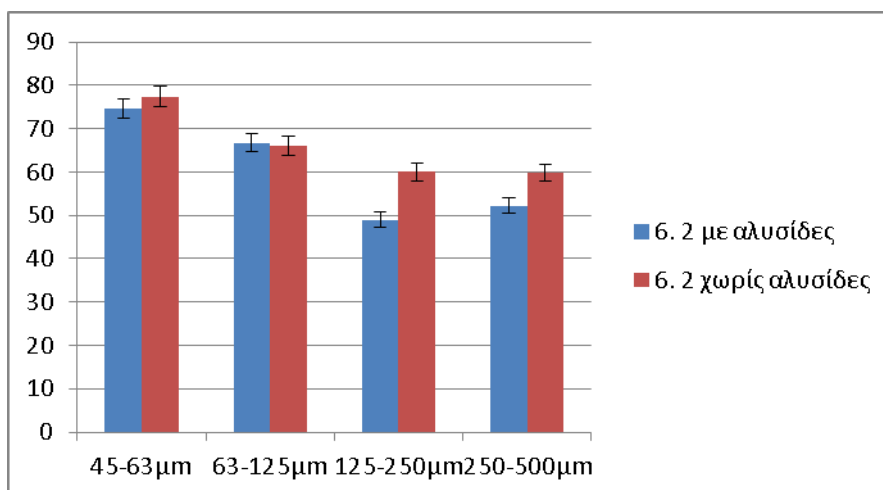
Σχήμα 1: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{232}Th με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

Από το Σχήμα1, παρατηρούμε πως οι τιμές συγκέντρωσης του ^{232}Th χωρίς τη χρήση αλυσίδας είναι ελάχιστα αυξημένες σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν ύστερα από τη διαδικασία κοσκίνισματος με αλυσίδα.



Σχήμα 2: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{226}Ra με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

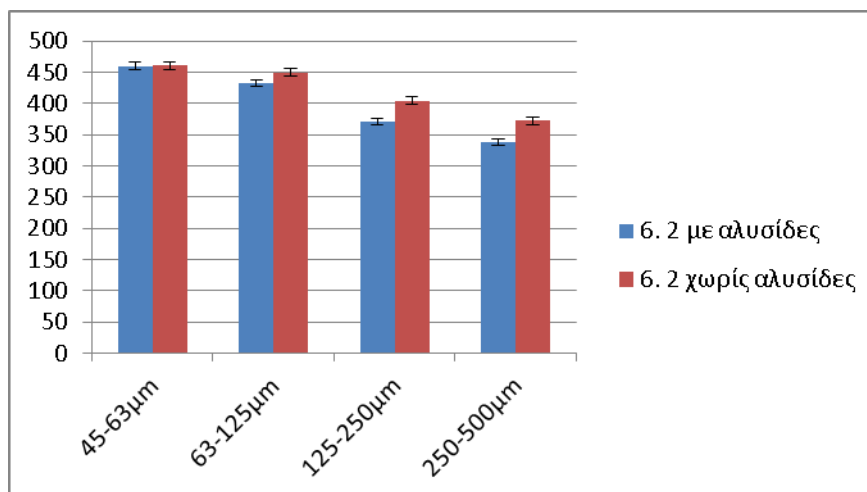
Για το ^{226}Ra , όπως και για το ^{232}Th , βλέπουμε από το Σχήμα 2, πως χωρίς τη χρήση αλυσίδας κατά το κοσκίνισμα, οι τιμές της συγκέντρωσης είναι ελάχιστα πιο αυξημένες από ότι με τη χρήση αλυσίδας. Σε κάθε ένα δείγμα ξεχωριστά, υπάρχει συσχέτιση των τιμών οι οποίες δεν παρουσιάζουν αυξομειώσεις.



Σχήμα 3: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{234}Th με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

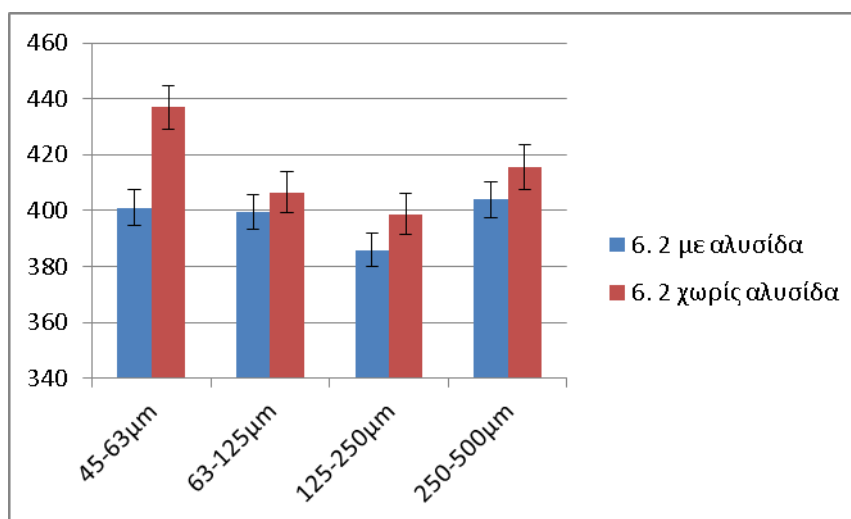
Στο Σχήμα 3, μπορούμε να διακρίνουμε πως οι τιμές συγκέντρωσης του ^{234}Th , τόσο με τη χρήση αλυσίδας όσο και χωρίς, είναι σε παρόμοια επίπεδα, με μικρές διαφορές στα μεγαλύτερα κλάσματα. Για κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά, οι τιμές

παρουσιάζουν σταδιακή άνοδο καθώς πηγαίνουμε από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα.



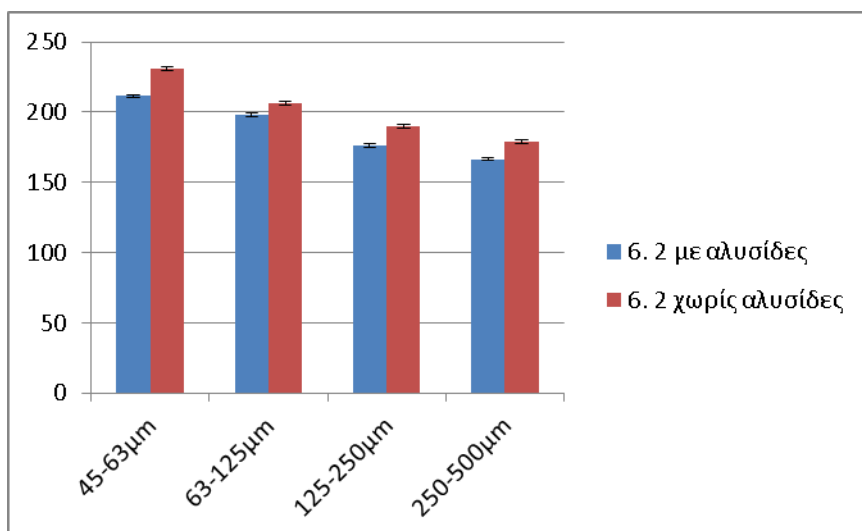
Σχήμα 4: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{210}Pb με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{210}Pb , όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, είναι πολύ κοντινές τόσο σε κάθε δείγμα όσο και μεταξύ των δύο δειγμάτων.



Σχήμα 5: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{40}K με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

Από το Σχήμα 5, παρατηρούμε πως οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας του ^{40}K , είναι στα ίδια περίπου επίπεδα (400 Bq/kg), λαμβάνοντας υπόψη και τα αντίστοιχα σφάλματα, με εξαίρεση τη συγκέντρωση του κλάσματος 45-63µm, όπου στο δείγμα που κοσκινίσαμε χωρίς τη χρήση αλυσίδας είναι σε υψηλότερα επίπεδα.



Σχήμα 6: Σύγκριση συγκέντρωσης ραδιενέργειας ^{137}Cs με και χωρίς τη χρήση αλυσίδας

Οι συγκέντρωση του ^{137}Cs , όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 6, είναι παραπλήσιες και στις δύο περιπτώσεις. Παρατηρούμε επίσης, πως καθώς πηγαίνουμε από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα κλάσματα, οι τιμές για το ^{137}Cs , αυξάνονται σταδιακά τόσο με τη χρήση αλυσίδας όσο και χωρίς.

Από τη συνολική εξέταση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν, προκύπτει ότι τα κλάσματα που προέκυψαν από τη χρήση της αλυσίδας γενικά συμπίπτουν με αυτά της αντίστοιχης διαμέτρου που παράγονται από απλό κοσκίνισμα. Προκύπτει επομένως ότι η χρήση της αλυσίδας δε φαίνεται να αλλοιώνει σημαντικά την κοκκομετρική κατανομή, πράγμα που θα περιμέναμε να συμβαίνει εάν προκαλούσε τη θραύση των κόκκων. Ωστόσο, η χρήση της αλυσίδας δε βοήθησε ιδιαίτερα τη διαδικασία του κοσκίνισματος, καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα του δείγματος παρέμεινε κάθε φορά στο αρχικό κόσκινο στο οποίο τοποθετήθηκε η αλυσίδα. Για το λόγο αυτό, η αλυσίδα δε χρησιμοποιήθηκε στα υπόλοιπα πειράματα της παρούσας ΔΕ.

Βιβλιογραφία

1. **Anagnostakis M.J., Hinis E.P., Simopoulos S.E. 2005.** ²³⁸U and its daughter products in Greek surface soils. *Radioactivity in the environment, Volume 7* 2005
2. **Anagnostakis M.J., Hinis E.P., Simopoulos S.E., Angelopoulos M.G. 1996.** Natural radioactivity mapping of Greek surface soils. *Environment International Vol. 22 Suppl. 1 pp. S3-S8* 1996
3. **Αντωνόπουλος –Ντόμης Μ,** Εισαγωγή στην πυρηνική τεχνολογία, Εκδόσεις Ζήτη2005.
4. **Choi, S.- K., Lee S., Song Y.- K., Moon H.-S. 2002.** Leaching characteristics of selected Korean fly ashes and its implications for the groundwater composition near the ash disposal mound. *Fuel* 81(2002), 1083-1990
5. **Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), 2013.** Το ελληνικό site για την Ιπτάμενη Τέφρα. <http://www.flyash.gr/> (2013)
6. **Iyer R.S., Scott J.A. 2000.** Power station fly ash- a review of value-added utilization outside of the construction industry. *Resources, Conservation and Recycling* 31 (2001) 217–228
7. **Karangelos D.J., Petropoulos N.P., Anagnostakis M.J., Hinis E.P, Simopoulos S.E. 2004.** Radiological characteristics and investigation of the radioactive equilibrium in the ashes produced in lignite-fired power plants. *Journal of Environmental Radioactivity* 77(2004):233-246.
8. **Κόλιας Σ., Κασελούρη- Ρηγοπούλου Β., Καραχάλιος Α.2005.** Διερεύνηση των δυνατοτήτων σταθεροποίησης αργιλικών εδαφικών υλικών με χρήση ιπτάμενης τέφρας με υψηλή περιεκτικότητα σε άσβεστο με ή και χωρίς τσιμέντο.

9. **Llorens J.F., Fernández-Turiel J.L., Querol X. 2000.** *The fate of trace elements in a large coal-fired power plant. Environmental Geology 40 (4-5) February 2001*
10. **Μανωλοπούλου Μ. Διδακτορική Διατριβή ΑΠΘ 1990.** Συμβολή στη ραδιοοικολογική μελέτη του περιβάλλοντος ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού.
11. **Παλαμάρα Ελένη, 2010.** Διερεύνηση της επίδρασης της μεθοδολογίας προετοιμασίας δειγμάτων χώματος στον προσδιορισμό της φυσικής και τεχνητής. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
12. **Πάνιας Δημήτριος, Γιαννοπούλου Ιωάννα. 2005.** Σύγχρονες τάσεις αποτελεσματικής διαχείρισης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στον Ελληνικό χώρο τους.
13. **Papanicolaou C., Kotis T., Foscolos A., Goodarzi F. 2003.** *Coals of Greece: a review of properties, uses and future perspectives. International Journal of Coal Geology 58 (2004) 147– 169*
14. **Papastefanou C.1996.** *Radiation impact from lignite burning due to ²²⁶Ra in Greek coal-fired power plants. Health Physics Vol 70, No 2 (1996):187-191.*
15. **Papastefanou C. 2006.** *Radioactivity of coals and fly ashes. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 275, No.1 (2008) 29–35*
16. **Παπαστεφάνου Κ. 2010.** *Ραδιενέργεια Περιβάλλοντος(ΑΠΘ). Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*
17. **Πέππας Θ. 2008.** *. Εγκατάσταση και παραμετρική μελέτη διάταξης ανάλυσης κοκκομετρίας- εφαρμογή στην κοκκομετρική ανάλυση και τον προσδιορισμό*

των ραδιολογικών χαρακτηριστικών των διαφόρων κλασμάτων ιπτάμενης τέφρας. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

18. Petropoulos N.P., Hinis E.P., Simopoulos S.E. 1996. *¹³⁷Cs Chernobyl fallout in Greece and its associated radiological impact.* Environment International, Vol. 22, Suppl. 1, pp. S369-S373, 1996.

19. Πρέτζα Λουκία, 2009. Εγκατάσταση και παραμετρική μελέτη εξοπλισμού λειοτρίβισης περιβαλλοντικών δειγμάτων και εφαρμογή στη ραδιοπεριβαλλοντική ανάλυση. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

20. Rouni P.K., Petropoulos N.P., Anagnostakis M.J., Hinis E.P., Simopoulos S.E. 2001. *Radioenvironmental survey of the Megalopolis lignite field basin.* The Science of the Total Environment, 272 (2001): 261-272

21. Σάββα Μαρίλια, 2009, Βαθμονόμηση ανιχνευτικής διάταξης Γερμανίου για τον προσδιορισμό του ισότοπου ⁷Be στα ατμοσφαιρικά αερολύματα με τη χρήση τεχνικών προσομοίωσης Monte Carlo. Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

22. Σακελαρίου Α.Γ., 2003, Ελληνικές Ιπτάμενες Τέφρες Πτολεμαΐδας : ένα ποζολανικό πρόσθετο σκυροδέματος με λανθάνοντα υδραυλικά χαρακτηριστικά. 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Κως

23. Stanislav V. Vassilev, Christina G. Vassileva 2005. *Methods for Characterization of Composition of Fly Ashes from Coal-Fires Power Stations: A Critical Overview.* Energy & Fuels 2005, 19, 1084-1098

- 24. Stanislav V. Vassilev, Christina G. Vassileva 1996. Mineralogy of combustion wastes from coal-fired power stations. Fuel Processing Technology 47 (1996) 261-280**
- 25. Stanislav V. Vassilev, Menendez R., Alvarez D., Diaz-Somoano M., Martinez-Tarazona M. R., 2003. Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. Characterization of feed coals and fly ashes. Fuel 82 (2003) 1793–1811**
- 26. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). 2000. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report Vol. I**
- 27. Σημειώσεις παραδόσεων Χίνης Ε. ενόψει του μαθήματος «Πυρηνική Τεχνολογία» 2010.**
- 28. Σημειώσεις παραδόσεων Αναγνωστάκης Μ . ενόψει του μαθήματος «Ραδιοπεριβαλλοντική ανάλυση» 2010.**