ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

(ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη φυσικοχημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων από την ανατολική πλευρά του ιστορικού λατομικού χώρου στον Σταυρό Ακρωτηρίου του νομού Χανίων

Λουφαρδάκη Θεοδώρα

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητής (Επιβλέπων)
Αντώνιος Βαφείδης, Καθηγητής
Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ)

Χανιά, Ιούλιος, 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας στην Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ε. Μανούτσογλου για την βοήθεια του και κατανόηση καθ' όλη την περίοδο πραγματοποίησης και συγγραφής της εργασίας μου.

Επιπρόσθετα Θα ήθελα να ευχαριστήσω κυρίους Δρ. Δ. Μαρινάκη τον Δρ. Α. Στρατάκη, τον Msc. Στ. Μαυριγιαννάκη, τον Καθηγητή κ. Κ. Προβιδάκη και την Καθηγήτρια κ. Π. Μαραβελάκη (από την Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης) καθώς και τον Καθηγητή, κ. Ν. Καλλίθρακα – Κόντο. Χωρίς την συμβολή και την έμπρακτη βοήθεια τους η αποπεράτωση της παρούσας διπλωματικής θα ήταν αδύνατη. Θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Χρήστο Κανελλόπουλο, (Ελληνική Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών - Ε.Α.Γ.Μ.Ε) που μερίμνησε για τον ημι-ποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων των ακτινοδιαγραμμάτων των δειγμάτων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω για την συμβολή τους την εξεταστική επιτροπή τους καθηγητές Α. Βαφείδη και Γ. Εξαδάκτυλος (ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ). Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού μου κύκλου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια αμιγώς εργαστηριακή έρευνα που αποσκοπεί στο προσδιορισμό φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων δειγμάτων πωρόλιθων που ελήφθησαν από διάφορες θέσεις στην ανατολική πλευρά του αρχαίου λατομείο Σταυρού στα Χανιά. Διαπιστώνεται δε ότι η μελέτη και η έρευνα των πετρωμάτων στους χώρους εκλατόμευσης, καθίστανται μείζονος σημασίας αφού αποτελούν τους κύριους δομικούς λίθους για την κατασκευή ιστορικών μνημείων στην πόλη των Χανίων (π.χ. Νεώρια, Ενετικές Οχυρώσεις, Πύλη της Άμμου κ.α).

Συγκεκριμένα για την παρούσα διπλωματική συλλέχθηκαν δέκα δείγματα από την ανατολική πλευρά του ιστορικού λατομείου στον Σταυρός Ακρωτηρίου. Αρχικά αναλύθηκε η μηχανική συμπεριφορά των δοκιμίων με καταστροφικές και μη καταστροφικές μεθόδους. Με τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας και κάνοντας τις απαραίτητες αναγωγές σε λόγους μήκους/διαμέτρου 1:1 και 2:1 υπολογίστηκαν οι τιμές αντοχής. Στη συνέχεια με την μέθοδο των υπερήχων καταγράφηκαν οι χρόνοι των ανακλώμενων μηχανικών κυμάτων και οι αποστάσεις μεταξύ πομπού – δέκτη (transducers) προκειμένου να υπολογιστεί ο λόγος Poisson (ν), το μέτρο ελαστικότητας (Ε) και το μέτρο διάτμησης (G).

Στη συνέχεια διεξάχθηκαν εργαστηριακές δοκιμές πορομετρίας, προσδιορισμού συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης, περιθλασιμετρίας (XRD) και φθορισιμετρίας (XRF). Το πορώδες προσδιορίστηκε με τη βοήθεια πορομέτρου τύπου Boyle. Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και των χημικών στοιχείων αρχικά λειοτριβήθηκαν αντιπροσωπευτικά τμήματα των δειγμάτων με αποτέλεσμα την δημιουργία κατάλληλων κόνεων.

Τέλος, ακολούθησε η σύγκριση αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες στις οποίες μετρήθηκαν φυσικοχημικές ιδιότητες παρόμοιων δειγμάτων που πάρθηκαν παλιότερα από το ιστορικό λατομείο Αγίων Αποστόλων, του Σταυρού καθώς και από τον ιστορικό λατομικό χώρο εμπρός από τον Ενετικό λιμενοβραχίονα Χανίων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να συνοψιστούν συμπερασματικά ως ακολούθως:

- Οι δομικοί λίθοι από την ανατολική πλευρά του ιστορικού λατομικού χώρου του Σταυρού Ακρωτηρίου παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια προς την ορυκτολογική τους σύσταση
- Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων περιλαμβάνει ασβεστίτη, ασβεστίτη με υψηλή περιεκτικότητα σε Mg και δευτερευόντως χαλαζία, αραγωνίτη, δολομίτη. Υπάρχουν δείγματα με αλίτη. Τα δείγματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως καθαροί ασβεστόλιθοι και μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι.

- Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης προκύπτει ότι είναι συνάρτηση του πορώδους δηλαδή ο ρυθμός απορροφητικότητας του νερού σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος πόρων του πετρώματος.
- Οι μηχανικές ιδιότητες των περισσότερων δειγμάτων του ιστορικού λατομείου Σταυρού είναι παρόμοιες με δείγματα που πάρθηκαν από το ιστορικό λατομείο Αγ. Αποστόλων του ν ομού Χανίων.
- Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις τιμές αντοχής και μέτρου ελαστικότητας που κυμαίνονται από 6.71 MPa μέχρι 50.28MPa και 2.38 GPa – 32.21 GPa αντίστοιχα.
- Τα πορώδη έχουν εύρος τιμών από 9% - 56% με την πλειονότητα των δειγμάτων να παρουσιάζει τιμές 30% - 50%. Παρόμοιες τιμές παρουσιάζονται στα δείγματα από ιστορικό λατομικό χώρο εμπρός από τον Λιμενοβραχίωνα Χανίων.
- Υπάρχει σύμπνοια μεταξύ των τιμών ταχύτητας διάδοσης κυμάτων εντός ψαμμιτικών πετρωμάτων όπως προκύπτει από βιβλιογραφικές πηγές και των υπό εξέταση ψαμμιτικών δειγμάτων.

Abstract

This diploma thesis is a laboratory research, aiming to the determination of the physicochemical properties of poroliths at the eastern part of Stavros ancient quarry, at the front coast of Akrotiri. It is also ascertained that the study of the rocks physicochemical parameters is the most significant factor in estimating their use and suitability for various applications. In particular, the research in extruded areas is vital, as the reserves of ancient quarries are the main bulding stones for constructing the historical monuments.

For this thesis, ten samples were collected from the eastern coastal part of Stavros ancient quarry. Initially, the mechanical behavior of specimens was analyzed, implementing destructive and non-destructive methods.

The uniaxial compressive strength application resulted in the calculation of the average modulus of the specimens, as well as the values of maximum axial compressive stresses; each one was conversed to a 1:1 and 2:1 ratio of length/diameter. Furthermore, the ultrasonics method application led to the recording of the times of reflected mechanical waves and the distances between the transmitter-receiver, which were necessary in order to calculate the Poisson ratio (ν), the modulus of elasticity (E) and the shear measure (G)

Then, the estimation of porosity, capillary climbing coefficient, X-ray diffraction (XRD) and X-Ray spectroscopy (XRF) was performed. Porosity was determined, applying the Boyle type porosimeter. For the determination of mineralogical and chemical composition, representative samples' portions were ground, in order to form suitable powders.

Finally, all results of physicochemical properties were compared with the corresponding ones of previous relevant studies, for which similar samples were collected from the historical Stavros quarry, Agioi Apostoloi, and the quarrying area, located in front of the Chania harbor jetty. Therefore, the extracted conclusions, based on the results, are the following:

- The rocks from the eastern part of the historical Stavros (Akrotiri) quarry, show mineralogical composition homogeneity.
- The mineralogical composition of samples mainly comprises of calcite, calcite with high magnesium percentage and secondarily quartz, aragonite, dolomite, while samples, including alite, were also documented. Hence, these samples could be characterized as limestones and magnesium limestones.

- The capillary climbing coefficient affects the porosity; specifically, the water absorption rate is related to the rock pores magnitude.
- Most samples, collected by the historical Stavros quarry, show similar mechanical properties with the samples, collected from the historical Agioi Apostoloi quarry in Chania prefecture.
- Variations in strength and elasticity values are documented, ranging between 6.71Mpa and 44MPa, as well as 4.77 GPa and 18.32 GPa, respectively.
- Porosity values range from 9% to56%, while the majority of the samples show values 30%-50%. Similar values are recorded in the historical quarry area in front of the Chania old port.
- The wave velocity values of the examined sandstone samples are consisted with the correspond in ones of sandstone rocks, included in bibliography.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ III
Abstract V
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1
1.1 Η λατομική δραστηριότητα στην αρχαιότητα 1
1.2 Η λατόμηση στον Ελλαδικό χώρο 1
1.3 Στόχος μελέτης 2
Κεφάλαιο 2 : Γεωλογικό Υπόβαθρο 3
2.1Γεωλογία Ακρωτηρίου 6
2.2 Αρχαία Λατομεία Χανίων 9
2.2.1 Ανατολικό Λατομείο Σταυρού – Περιοχή Μελέτης 11
2.3 Τρόποι εξόρυξης και μεταφοράς 14
Κεφάλαιο 3: Δειγματοληψία και δείγματα 15
3.1 Θέσεις Δειγματοληψίας 15
3.2 Παρουσίαση και αξιοποίηση δειγμάτων στη μελέτη 17
3.3 Παρουσίαση ομάδων: 17
3.4 Εργαστηριακές Μετρήσεις 27
Κεφάλαιο 4: Εργαστηριακές Δοκιμές Μηχανικής Συμπεριφοράς 28
4.1 Ταξινόμηση παραμέτρων βραχώδους υλικού 28
4.2 Δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη 31
4.2.1 Προπαρασκευή δοκιμίων 32
4.2.2 Εφαρμογή της Μεθόδου 32
4.2.3 Αποτελέσματα 34
4.3 Υπέρηχοι 37
4.3.1 Μέθοδος 37
4.3.2 Τρόπος Λειτουργίας Οργάνου 39
4.3.3 Αποτελέσματα 39
Κεφάλαιο 5: Προσδιορισμός πορώδους και υδαταπορρόφησης 42
5.1 Ορισμός του πορώδους 42
5.1.2 Τύποι πορώδους 42

5.1.3 Ποροσιμετρία τύπου Boyle 44
5.1.4 Εφαρμογή της μεθόδου- Αποτελέσματα 45
5.1.5 Εφαρμογή της μεθόδου- Αποτελέσματα 46
5.2 Μέθοδος προσδιορισμού συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης 48
5.2.1 Εφαρμογή της μεθόδου 49
5.2.2 Υπολογισμοί 50
Κεφάλαιο 6: Εργαστηριακές Μέθοδοι Ακτίνων –Χ 53
6.1 Παρασκευή Δειγμάτων XRD – XRF 54
6.2 Περιθλασιμετρία Α-Χ (XRD) 55
6.2.1 Εφαρμογή της μεθόδου Ορυκτολογικής Ανάλυσης XRD 56
6.3 Μέθοδος XRF 59
6.3.1 Φασματόμετρα XRF 59
6.3.2 Αποτελέσματα 60
Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα - Συζήτηση 63
7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων 63
7.1.1 Σύγκριση πορώδους 65
7.1.2 Καταστροφικές και μη καταστροφικές μέθοδοι 66
7.2 Συμπεράσματα 67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 72
Παράρτημα 1 : Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας 75
Παράρτημα 2 : Φωτογραφίες δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν στις μεθοδολογίες μονοαξονικής θλίψης και υπερήχων 77
Παράρτημα 3: Φωτογραφίες Δοκιμίων ποροσιμετρίας – συντελεστή τριχοειδούς 87
Παράρτημα 4 : Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων 92
Παράρτημα 5: Ακτινοδιαγράμματα με ημιποσοτικό προσδιορισμό ορυκτών 121
Παράρτημα 6: Αποτελέσματα μεθόδου XRF 134

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1: Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 (Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ. κ.α., 1983).....3

Εικόνα 2.3: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982).....5

Εικόνα 2.4: Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά Μονόπωλη 1971.....7

Εικόνα 2.5: Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά, Μονόπωλη 1971).....8

Εικόνα 2.6: Κατανομή ψηφιδοπαγούς αιγιαλού (beachrock) και αιολιανιτών στον κόλπο των Χανίων και στη δυτική ακτή του Ακρωτηρίου (Zamani & Maroukian 1981).....9

Εικόνα 2.7 Ανατολική πλευρά Αρχαίου Λατομείο (Τσιλιγκάκη, 2014).....11

Εικόνα 2.8 Δυτική πλευρά Αρχαίου Λατομείο (Τσιλιγκάκη, 2014).....12

Εικόνα 2.9: Εμφάνιση βαθμίδων ανατολικά του αρχαίου λατομείου……12

Εικόνα 2.10: Εμφάνιση διαδοχικών κοπών του λατομείου.....13

Εικόνα 2.11: Εμφάνιση εγκοπών των αιολιανιτικών αποθέσεων.....14

Εικόνα 3.1: Δειγματοληψία μέτριου μεγέθους δειγμάτων.....16

Εικόνα 3.2 : Δείγμα SE1.....17

Εικόνα 3.3 : Δείγμα SE2.....18

Εικόνα 3.4 : Δείγμα SE3.....19

Εικόνα 3.5 : Δείγμα SE4.....20

Εικόνα 3.6 : Δείγμα SE5.....21

Εικόνα 3.7 : Δείγμα SE6.....22

Εικόνα 3.8 : Δείγμα SE7.....23

Εικόνα 3.9 : Δείγμα SE8.....24

Εικόνα 3.10: Δείγμα SE9.....25

Εικόνα 3.12 : Φωτογραφία μικρών πυρήνων.....27

Εικόνα 4.1: Σύστημα θλιπτικών δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.....31

Εικόνα 4.2 : Πυρηνολήπτης (drill press).....32

Εικόνα 4.4.: Δείγμα πριν τη δοκιμή.....33

Εικόνα 4.7 : Αντιπροσωπευτικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στην για τις μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων.....41

Εικόνα 5.1 : Φάσεις πετρώματος (Γιώτης, 2021).....43

Εικόνα 5.2: Διάταξη τύπου Boyle (Γιώτης, 2021).....44

Εικόνα 5.1 : φαινόμενο Τριχοειδούς Αναρρίχησης (Λιονάκης, 2011).....48
Εικόνα 5.4 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 1.1 – 3.1 51
Εικόνα 5.6 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 6.1 – 8.1 52
Εικόνα 5.7 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 8.2 – 10.2 52
Εικόνα 6: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Brower.P, 2010).....53
Εικόνα 6.4 Περιθλασίμετρο Bruker AXS D8 ADVANCE XRD.....56
Εικόνα 6.6**:** Διάταξη EDXRF και WDXRF 60

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Η λατομική δραστηριότητα στην αρχαιότητα

Η λατόμηση, μολονότι απαντάται από τα αρχαία χρόνια ως βασική απασχόληση των ανθρώπων, η οποία μάλιστα συνδέεται με πολλές και διαφορετικές εκφάνσεις της καθημερινότητας τους, δεν αποτέλεσε αντικείμενο ευρείας επιστημονικής μελέτης, όπως θα ήταν αναμενόμενο. Η έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα, που αναπτύσσεται τις τελευταίες δεκαετίες, υστέρησε σημαντικά σε σχέση με άλλους τομείς των αρχαίων χρόνων, οι οποίοι έτυχαν μεγάλης διερεύνησης όπως η τέχνη, η θρησκεία, η καθημερινότητα κλπ. Το γεγονός αυτό φαίνεται να συνδέεται αφενός με την τάση των επιστημόνων, των προηγούμενων αιώνων, σε πιο θεωρητικές κατευθύνσεις αφετέρου στις ιδιαιτερότητες και δυσκολίες που υπάρχουν ως προς την επιστημονική μελέτη της αρχαίας λατομίας. Το αδιαμφισβήτητο ωστόσο είναι, ότι τις πιο σημαντικές πληροφορίες για την αρχαία λατομία λαμβάνουμε από τις αρχαιολογικές έρευνες, οι οποίες εστιάζουν πρωτίστως στα μνημεία, ως προϊόντα λατομικής τέχνης και δευτερευόντως στα αρχαία λατομεία και τα αντικείμενα τα οποία, κατέστη δυνατό να βρεθούν. Παρά ταύτα, οι πληροφορίες που έχουν αντληθεί, από τα αρχαία λατομεία είναι περιορισμένες, λόγω ακριβώς των ανθρώπινων επεμβάσεων που σχετίζονταν με τη χρήση τους αλλά και των φυσικών φαινομένων, που σε πολλές περιπτώσεις καταστρέφουν ευρήματα, των οποίων η μελέτη τους, θα μπορούσε να συμβάλλει σημαντικά στην έρευνα (Κουκουβού, 2010).

1.2 Η λατόμηση στον Ελλαδικό χώρο

Ο λίθος κατά την αρχαιότητα αποτέλεσε το βασικό υλικό, για την τέχνη, την γλυπτική, τις κατασκευές, τα μνημεία. Η εξόρυξή του συνεπώς, ως τεχνική δραστηριότητα (και μέρος της αρχαίας τεχνολογίας), που προηγείτο της επεξεργασίας του, ήταν σημαντική για την εκμετάλλευσή του, η οποία καθορίζονταν από διαφορετικούς παράγοντες. Βασικό στοιχείο στη χρήση ή όχι του λίθου, στους αρχαίους χρόνους αποτελούσε, η

κατανόηση των ιδιοτήτων του και των χαρακτηριστικών του, ως πρώτης ύλης. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις, ο λίθος ως οικοδομικό υλικό συνδέονται άμεσα με το λατομείο προέλευσης του, με αποτέλεσμα η τοποθεσία του λατομείου, να αποτελεί το προσδιοριστικό στοιχείο του λίθου. Ενώ, σημαντικά, στοιχεία στην εκμετάλλευση του λίθου αποτελούσαν η τεχνογνωσία για την ασφαλή μεταφορά στο προορισμό του αλλά και η οργάνωση της λατομικής δραστηριότητας κυρίως όταν επρόκειτο για καλλιτεχνικά έργα, ώστε να είναι ταχύτερη και αποδοτικότερη. Επιπλέον τα αρχαία λατομεία, δίδουν πληροφορίες για την αρχαία τεχνολογία, τις μεθόδους εξαγωγής των λίθων καθώς και των επιμέρους ενεργειών, από τον καθορισμό δηλαδή του χώρου, και την αφαίρεση της βλάστησης, την λάξευση περιμετρικών αυλάκων, με συγκεκριμένους τρόπους έως την αποκόλληση τους από το αρχικό πέτρωμα μέσω οριζόντιων αυλάκων. Δεν πρέπει τέλος να παραληφθεί ότι τα αρχαία λατομεία αποτελούν ιστορικά μνημεία που φωτίζουν πλευρές της οικονομικής ιστορίας, αφού η εξόρυξη συγκεκριμένων ειδών λίθων σχετίζονταν άμεσα με την μεταβολή στην οικονομική κατάσταση των ανθρώπων κατά την αρχαιότητα **(** Κουκουβού, 2010).

1.3 Στόχος μελέτης

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ασβεστολιθικών ιζηματογενών πετρωμάτων και ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του από δείγματα που ελήφθησαν από βραχώδη υλικά του παραλιακού μετώπου στο Σταυρό Ακρωτηρίου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό μηχανικών και δυναμικών παραμέτρων των δειγμάτων είναι η δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη και μέθοδος υπερήχων ενώ για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων και των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε η μέθοδος περιθλασιμετρίας (XRD) και φθορισιμετρίας (XRF) αντίστοιχα. Τέλος, αναλύθηκαν οι φυσικές παράμετροι με την μέθοδο πορομετρίας (Boyle) για το πορώδες και μέθοδο τριχοειδούς αναρρίχησης για την υδατοαπορροφητικότητα. Η εξέταση πληθώρας δειγμάτων σε συνδυασμό με πιο εξελιγμένους τρόπους μελέτης αυτών δημιουργούν την προϋπόθεση για αποδοτικότερη ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες σχετικές έρευνες και συνακολούθως την εξαγωγή συμπερασμάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Κεφάλαιο 2 : Γεωλογικό Υπόβαθρο

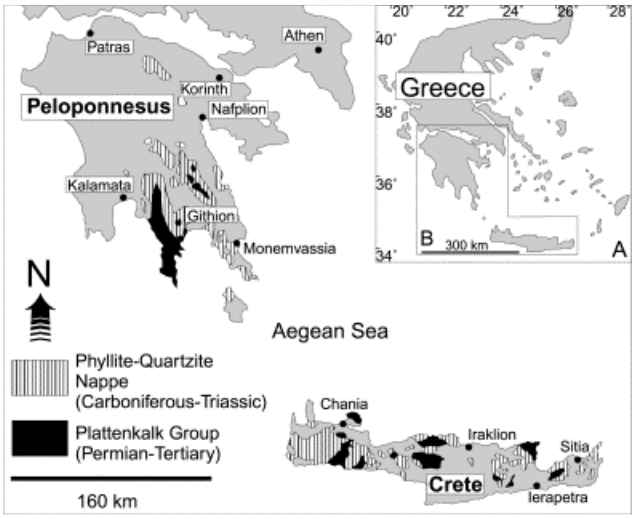
Η έρευνα και η γνώση γύρω από τη γεωλογική δομή της Κρήτης έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες τέσσερεις δεκαετίες. Τα αποτελέσματα των ερευνών από μεγάλο αριθμό ευρωπαϊκών προγραμμάτων, εθνικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησαν στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης, το 1977, σε κλίμακα 1:200.000 (Creutzburg, 1997) (Εικ. 2.1). Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν, αλλά και στους επόμενους, που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που για δεκαετίες ήταν γνωστή στη βιβλιογραφία σαν «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι», η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση των οποίων παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο. Παρόμοια είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τα καλύμματα της ενότητας του Τρυπαλίου και του Φυλλιτικού Καλύμματος (Μανούτσογλου, 2008). Η Εικόνα 2.1 που αποτελεί ένα τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 σημειώνονται οι λεκάνες του Νεογενούς και Τεταρτογενούς με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις αντίστοιχα.

Εικόνα 2.1: Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 (Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ. κ.α., 1983).

Ειδικότερα για την Κρήτη η διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων λαμβάνει της εξής σειρά:

Την κατώτερη τεκτονική ενότητα που αποτελείται από ένα σχεδόν αυτόχθονο παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη ομάδα Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plattenkalk) (Εικ.2.2) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως Ολιγόκαινο.

Με τεκτονική επαφή ακολουθεί αλλόχθονο σύστημα επωθημένω πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλλεπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων και χαρακτηριστική λεπιδοειδή διάταξη.



Εικόνα 2.2: Εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).

Τα τεκτονικά καλύμματα λαμβάνουν την εξής σειρά από την υποκείμενη προς την υπερκείμενη ενότητα:

Την ενότητα Τρυπαλίου που αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα της Τριαδικής έως κατώτερης Ιουρασικής περιόδου.

Την ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών «Φυλλιτικό Κάλυμμα» κατά τους Dornsiepen and Manutsoglu, το 1994, με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων, εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα, εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.

Την ενότητα Τρίπολης, με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχης της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (Φυτρολάκης, 1980).

Η παραπάνω ενότητες (εικόνα 2.3) ονομάζονται εξωτερικές ζώνες πάνω από τις οποίες και σε ανώτερη τεκτονικά θέση υπάρχουν τεκτονικά αλλόχθονα τεκτονικά λέπια των εσωτερικών ζωνών, ένα σύνθετο πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα, που αποτελείται από επαλληλία καλυμμάτων. Τα διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:

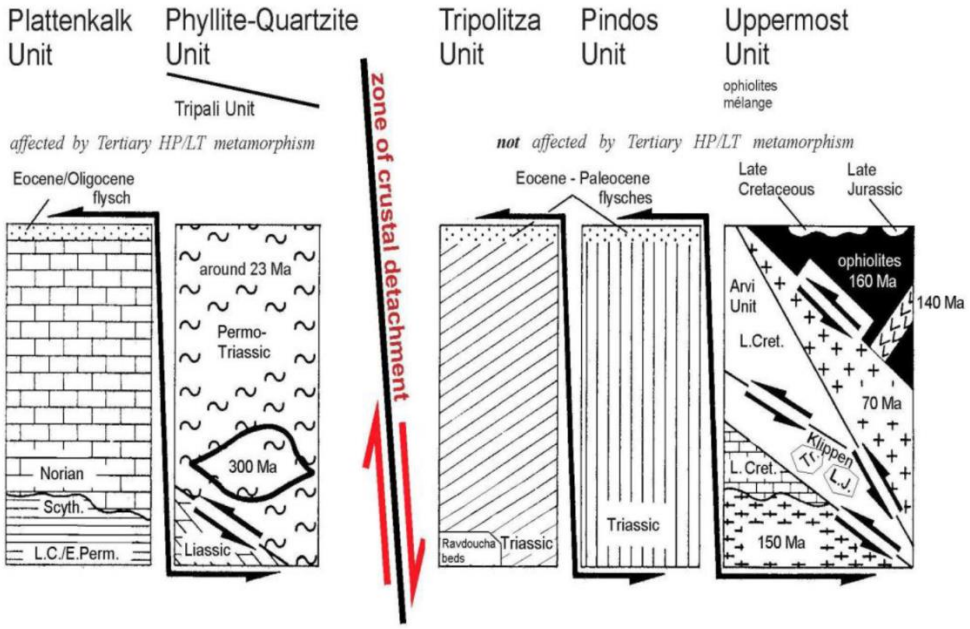
Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσες, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοτιτικούς γνεύσιους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες, ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.

Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες», ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

Πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεορεγενετικές διεργασίες που επέδρασσαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, την διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών διίστανται στην βιβλιογραφία (Μανούτσογλου, 2018).



Εικόνα 2.3: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982)

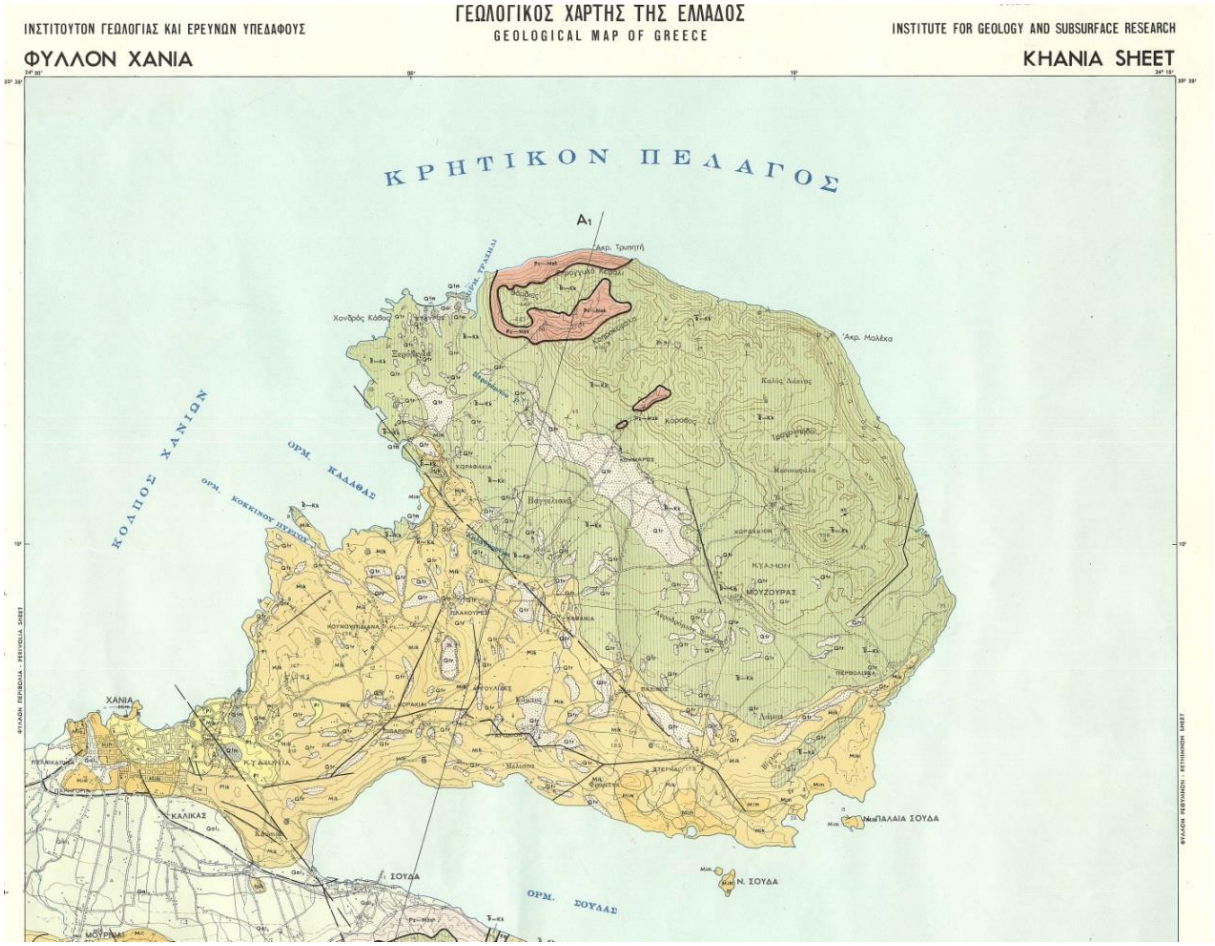
2.1Γεωλογία Ακρωτηρίου

Το γεωλογικό υπόβαθρο του Ακρωτηρίου παρουσιάζει δύο μεγάλες ζώνες. Η επαφή μεταξύ αυτών των δύο ζωνών έχει μια διεύθυνση από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά. Το βορειοανατολικό μισό της χερσονήσου αποτελείται από Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους της ενότητας του Τρυπαλίου και Γαβρόβου-Τριπόλεως, ενώ το νοτιοδυτικό καλύπτεται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς, κυρίως του σχηματισμού Ακρωτηρίου.

Οι ασβεστόλιθοι του Ακρωτηρίου αποτελούνται κυρίως από γκρίζους και έντονα καρστικοποιημένους μεταμορφωμένους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους. Οι ίδιοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται και καλύπτουν ευρύτατες περιοχές στην κύρια μάζα των ανατολικών Λευκών Ορέων. Μπορούν να είναι τοπικά λατυποπαγή ή μικροκρυσταλλικά και ποικίλλουν σε χρώμα από λευκό-γκρι έως μπλεδίζον και βρίσκονται κατά θέσεις δολομιτιωμένοι. Στο βορειοδυτικό άκρο των βουνών του Ακρωτηρίου παρουσιάζεται μεταμορφωμένη ακολουθία που ανήκει στα μεταμορφωμένα πετρώματα των Πλακωδών Ασβεστολίθων.

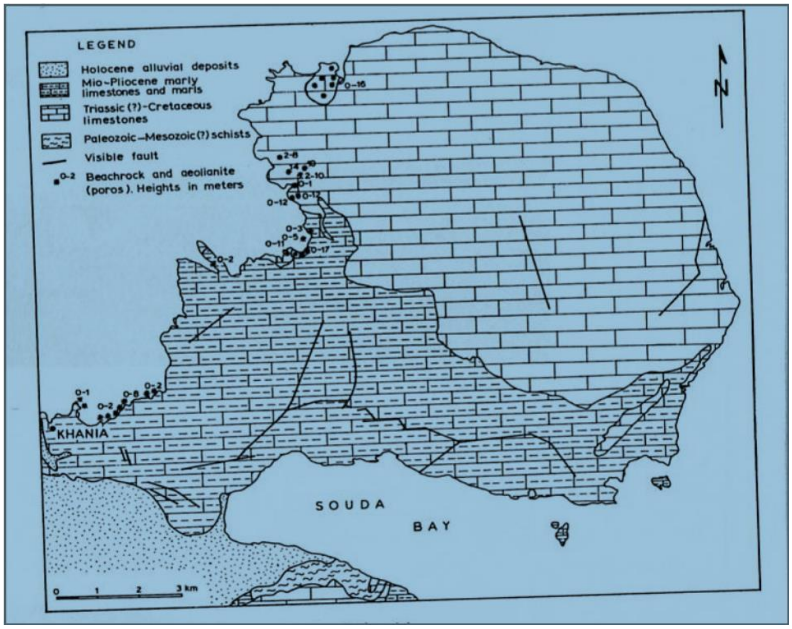
Κατά μήκος της επαφής των Μεσοζωικών ασβεστόλιθων και της μάργας παρουσιάζεται σε ύψος 38 μέτρων στην κορυφή του λόφου Λεπίδι ένα μαργαϊκό λατυποπαγές, γεμίζοντας παράλληλα μερικώς πολλά μικρά καρστικά βυθίσματα στην περιοχή. Χωρικά η εξέλιξη της εμφάνισης συμβαίνει από τη βορειοανατολική ακτή του κόλπου το Καλαθά έως τα Καθιανά στη μέση της χερσονήσου. Οι λατύπες ως επί το πλείστον είναι μεταμορφικές (σχιστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες) με μερικά θραύσματα κρυσταλλικού ασβεστόλιθου και πυριτόλιθου. Πιθανώς αυτές οι αποθέσεις να σχημάτιζαν κάποια στιγμή τα βασικά τμήματα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου, τα στοιχεία της κατανομής τους όμως υποδεικνύουν ότι αποτέθηκαν ή επαναποτέθηκαν πιο πρόσφατα (Εικόνες 2.4 & 2.5).

Τα πετρώματα του Νεογενούς καλύπτουν περίπου το 50% της χερσονήσου αποτελούμενα κυρίως από το σχηματισμό του Ακρωτηρίου. Ως επί το πλείστον φαίνεται να επικαλύπτουν Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και ως εκ τούτου έχουν μια κροκαλοπαγητική βάση. Τα πετρώματα του Νεογενούς που ανήκουν στο σχηματισμό των Χαιρεθιανών εμφανίζονται κατά μήκος των πλαγιών του ισθμού πολύ κοντά στα Χανιά στην περιοχή της Χαλέπας και νοτιοανατολικά της χερσονήσου (μεταξύ Λίμνης-Μαράθι) επικαλύπτοντας μερικώς τον σχηματισμό του Ακρωτηρίου (Εικόνα 2.6). Στο Ακρωτήρι ωστόσο παρουσιάζονται και άλλοι σημαντικοί σχηματισμοί. Δύο πολύ νεότερα ιζηματογενή τμήματα που επικαλύπτουν τους Μεσοζωικούς σκληρούς ασβεστόλιθους και τις αποθέσεις του Νεογενούς, ***οι αιολιανίτες και τα κόκκινα παλαιοεδάφη της εποχής του Πλειστόκαινου*** *(από Moody, 1987). Όπως αναφέρεται από τους Zamani & Maroukian, 1981 «Κατάλοιπα ερυθροκάστανων και κίτρινων ασβεστωδών ψαμμιτών, που πιστεύεται ότι είναι ψηφιδοπαγής αιγιαλός (beachrock), υπέρκεινται από αιολιανίτες και παρατηρούνται κατά μήκος της δυτικής ακτής, από το Σταυρό έως τα Χανιά» (από Χατζηαντωνίου,2021)*



Εικόνα 2.4: Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά Μονόπωλη 1971*)*

Εικόνα 2.5: Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά, Μονόπωλη 1971).



Εικόνα 2.6: Κατανομή ψηφιδοπαγούς αιγιαλού (beachrock) και αιολιανιτών στον κόλπο των Χανίων και στη δυτική ακτή του Ακρωτηρίου (Zamani & Maroukian 1981).

2.2 Αρχαία Λατομεία Χανίων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια λατομεία αιολιανίτη που βρίσκονται στην περιοχή και παραθέτονται οι θέσεις των λατομείων και οι χρόνοι λειτουργίας τους (Τζιλιγκάκη, 2014, Moody, 1987 & 1996).

Λατομείο Αγίου Γεωργίου*: στην περιοχή αυτή εμφανίζονται πολλοί χώροι κατά μήκος της ακτής έως τα νοτιοδυτικά της εκκλησίας του Αγίου Γεωργίου Κουμπελή, που αποτέλεσαν λατομεία αιολιανίτη κατά το παρελθόν, ενώ οι χρόνοι λειτουργίας για τους χώρους είναι άγνωστοι. Σήμερα οι χώροι παρουσιάζονται μερικώς καταβυθισμένοι. Οι χώροι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή δομικών λίθων για την εκκλησία του Αγίου Γεωργίου Κουμπελή. Η εκμετάλλευση του πετρώματος δεν θα μπορούσε να συμβεί νωρίτερα της Εποχής του Χαλκού λόγω των απαραίτητων εργαλείων για την κοπή του πετρώματος. Παρόλα αυτά δεν έχουν βρεθεί χαρακτηρίστηκα λατόμευσης της εποχής αυτής. Το γεγονός όμως ότι, τα αιολιανιτικά πετρώματα χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για την δημιουργία πολλών κατασκευών την Μέση και Ύστερη Εποχή του Χαλκού στα Χανιά και συγκεκριμένα στο Καστέλλι, καθιστά εμφανές πως η εξόρυξη θα πρέπει να έχει συμβεί κάπου κοντά. Στο χώρο παρατηρούνται ίχνη Ρωμαϊκής λατόμευσης. Το λατομείο περιστασιακά χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Βάση των αρχαιολογικών ευρημάτων λοιπόν το λατομείο πιθανώς να βρίσκεται σε λειτουργία από το 1700 π.Χ.. Στο λατομείο παρατηρείται και εγκοπή κυμάτων πάνω σε μια λατομημένη επιφάνεια, η οποία βρίσκεται 1 με 1.5m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Ταυτόχρονα 6m περίπου πάνω από τη στάθμη της θάλασσας πάνω σε λατομημένα βυθίσματα παρατηρούνται αλλοιωμένες από*

το νερό κροκάλες που φτάνουν σε διάμετρο τα 30cm. Τα κύρια ευρήματα και χαρακτηριστικά του χώρου αποτελούν, μια δεξαμενή ψαριών που βάση της θέσης της θα απαιτούσε 1m ανύψωση στη στάθμη της θάλασσας έτσι ώστε να λειτουργήσει και μια γλίστρα για βάρκες, η οποία βρίσκεται σε θέση πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, εύρημα το οποίο αποτελεί χαρακτηριστικό Ρωμαϊκών και μεσαιωνικών κατασκευών.

***Λατομείο Καλαθά**: αποτέλεσε χώρο λατόμευσης αιολιανιτικού πετρώματος. που παρουσιάζει εγκοπή κυμάτων πάνω σε λατομημένη επιφάνεια και σε θέση 1.1m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο χώρος δεν μπορεί να χρονολογηθεί πριν την Εποχή του Χαλκού, όπως και στη περίπτωση του λατομείου του Αγίου Γεωργίου.*

Λατομείο Σταυρού*: αποτέλεσε χώρο λατόμευσης αιολιανιτικού πετρώματος που παρουσιάζει εγκοπή κυμάτων πάνω σε λατομημένη επιφάνεια σε θέση 1.5m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Υπάρχουν καταγραφές της Ενετικής περιόδου, που περιγράφουν την λειτουργία του χώρου για την εξόρυξη του πετρώματος και ειδικότερα για την περίοδο επέκτασης και ενίσχυσης των τειχών του κάστρου των Χανίων. Επιπλέον παρουσιάζεται και το ενδεχόμενο κάποια τμήματα του λατομείου να χρονολογούνται στην Εποχή του Χαλκού.*

***Λατομείο Χωρδάκι, Γουβερνέτο**: αποτέλεσε λατομικό χώρο εκμετάλλευσης αιολιανιτικών πετρωμάτων που βρίσκονται στη είσοδο του φαραγγιού του Αυλακιού. Τα πετρώματα που παρουσιάζονται στην περιοχή αποτελούνται από αιολιανίτες, οι οποίοι επικαλύπτουν κόκκινες αλλουβιακές αποθέσεις και λατυποπαγή σκληρού ασβεστολίθου. Οι χρόνοι λειτουργίας του χώρου είναι άγνωστοι, ενώ η απόσταση του από την ακτή είναι 5 km. Το σημείο ίσως αποτέλεσαι την μεγαλύτερη πηγή δομικών λίθων για πολλά μετόχια στην περιοχή όπως αυτά του Καθολικού και του Γουβερνέτου.*

***Λατομείο Χωραφάκια, Καλαθά**: ο χώρος του λατομείου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό μέρος του μικρού νησιού επί της εισόδου του Καλαθορέματος απέναντι από την παραλία του Καλαθά. Συνολικά το νησί αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία οικισμού από τους Νεολιθικούς και Μινωικούς χρόνους έως αρκετά αργότερα όπου κατά τον 2^{ο} Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιήθηκε ως πολεμίστρα. Η γεωλογία στη θέση αυτή περιέχει αιολιανίτες που επικαλύπτουν μάργα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου. Στο νησί έχουν βρεθεί διάσπαρτα διάφορα κεραμικά ευρήματα, που σχετίζονται με τους χρόνους της Τελικής Νεολιθικής/Πρώιμης Μινωικής αλλά και Μέσης Μινωικής περιόδου.*

***Λατομείο Άγιος Ονούφριος**, Κόκκινος Πύργος: το φαράγγι στη θέση αυτή έχει βορειοδυτικό προσανατολισμό και βρίσκεται στη δυτική ακτή του Κόκκινου Πύργου της δυτικής ακτής του Ακρωτηρίου περίπου 875 δυτικά της ακτής του Άγιου Ονούφριου. Η γεωλογία στη θέση αυτή αποτελείται από αιολιανίτη που επικαλύπτει μάργα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου, με ερυθροχώματα (Terra Rossa) σε χαμηλότερες περιοχές. Ο χώρος έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή δομικών λίθων. Τα ευρήματα της περιοχής προέρχονται από τους Μινωικούς και ύστερους χρόνους, την Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο.*

2.2.1 Ανατολικό Λατομείο Σταυρού – Περιοχή Μελέτης

Στο βορειοδυτικό άκρο της περιοχής Ακρωτηρίου βρίσκεται το αρχαίο λατομείο Σταυρού δίπλα σε παραλία και αποτέλεσε τον χώρο μελέτης για την παρούσα έρευνα. Κατά Μανωλιούδη (2013) βιοκλαστικοί υφαλογενείς μαργαικοί ασβεστόλιθοι είναι τα κύρια πετρώματα που επικρατούν στην περιοχή. Ο αριθμός βαθμίδων είναι 3-5 και έχουν πάχος 30 - 40 εκατοστά. Αρκετά σημεία στο χώρο του λατομείου καλύπτονται από το νερό λόγω της μεταβολής υψομέτρου της θαλάσσιας στάθμης. Οι διαστάσεις των εξορυσόμενων κυβόλιθων ήταν 0.30μ Χ0.70μ Χ0.30μ και η επεξεργασία των γωνιόλιθων λάμβαναν την τελική τους μορφή στο χώρο. Η διάνοιξη των αυλακίων πλάτους 10 εκατοστών γινόταν περιμετρικά με αποτέλεσμα την εύκολη αποκόλληση μεγάλων κομματιών του λίθου. Στο λατομικό χώρο όμως δεν επικρατούν βιοκλαστικοί υφαλογενείς μαργαικοί ασβεστόλιθοι αλλά κυρίως ψαμμίτες πολύ, πιθανώς αιολιανίτες.

Εικόνα 2.7 Ανατολική πλευρά Αρχαίου Λατομείο (Τσιλιγκάκη, 2014)

Εικόνα 2.8 Δυτική πλευρά Αρχαίου Λατομείο (Τσιλιγκάκη, 2014)

Εικόνα 2.9: Εμφάνιση βαθμίδων ανατολικά του αρχαίου λατομείου (Μανούτσογλου, 2022)

Εικόνα 2.10: Εμφάνιση διαδοχικών κοπών του λατομείου
(Μανούτσογλου, 2022)

2.3 Τρόποι εξόρυξης και μεταφοράς

Εικόνα 2.11: Εμφάνιση εγκοπών των αιολιανιτικών αποθέσεων
(Μανούτσογλου, 2022)

Τα υπολείμματα των εκσκαφών στα αρχαία λατομεία δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο εξόρυξης της νεολιθικής περιόδου. Η πλειονότητα των λατομείων ακολουθεί την παρακάτω μέθοδο. Το πρώτο στάδιο ήταν να αφαιρεθεί με φωτιά ή άλλα εργαλεία η βλάστηση από τις επιφάνειες και το εδαφικό στρώμα προκειμένου να αξιοποιηθεί το υπό εκμετάλλευση πέτρωμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η ευθυγράμμιση της ακανόνιστης επιφάνειας της βραχόμαζας και η διάνοιξη αυλακιών περιμετρικά με λατομικό πικούνι για την αποκόλληση του όγκου που χρειάζονταν από το μητρικό πέτρωμα. Απομεινάρια αυλακιών παρουσιάζονται στα περισσότερα λατομεία με το πλάτος τους να κυμαίνεται από οκτώ ως εικοσιοκτώ εκατοστά ενώ το μήκος και βάθος καθορίζονται από τον όγκο του βράχου. Τέλος, για τις οριζόντιες επιφάνειες είτε δημιουργούταν οι κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση μεταλλικών ή ξύλινων σφήνων είτε αξιοποιούνταν η σχιστότητα του πετρώματος**.** Για την μεταφορά των ογκόλιθων αναφορές υποστηρίζουν τη χρήση γερανών ή τροχαλίας. Δυστυχώς οι πληροφορίες για τον τρόπο μεταφοράς τη μινωική εποχή είναι ελλιπής με μοναδικό στοιχείο την παρουσία λατομείων σε παραθαλάσσιες περιοχές για εύκολη πρόσβαση (Μανωλιούδης, 2013).

Κεφάλαιο 3: Δειγματοληψία και δείγματα

Στη παρούσα διπλωματική για να γίνει ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των πετρωμάτων (φυσικοχημικές, πετρογραφικές κ.α) απαιτείται η δειγματοληψία. Είναι σημαντικό τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά για την ομαλή διεκπεραίωση των πειραματικών διαδικασιών.

3.1 Θέσεις Δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία έγινε σύμφωνα με τη αρχή της μέγιστης αντιπροσώπευσης. Πάρθηκαν μετρίου μεγέθους (διαστάσεις εκατοστών) δείγματα από τα δεκάδες διάσπαρτα μιας και απαγορεύεται ρητά η δειγματοληψία από in situ πετ5ρώματα επειδή ο χώρος είναι αρχαιολογικός. Οι ψαμμίτες που επικρατούν, πιθανώς να είναι αιολιανίτες.

Εικόνα 3.1: Δειγματοληψία μέτριου μεγέθους δειγμάτων
(Μανούτσογλου, 2022)

3.2 Παρουσίαση και αξιοποίηση δειγμάτων στη μελέτη

Τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν για την αποπεράτωση των εργαστηριακών δοκιμών είναι δέκα και παρουσιάζονται στις κατωτέρω φωτογραφίες. Οι διαστάσεις και το σχήμα τους ποικίλουν. Από τα αρχικά δείγματα ελήφθησαν τρεις μικροί και τρεις μεγάλοι πυρήνες για κάθε δείγμα με τη βοήθεια πυρηνολήπτη (drill press).

3.3 Παρουσίαση ομάδων:

Ομάδα Δείγματος SE1

Εικόνα 3.2 : Δείγμα SE1

Από το δείγμα SE1 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 2 δείγματα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 3 δείγματα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για την μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE2

Εικόνα 3.3 : Δείγμα SE2

Από το δείγμα SE2 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 2 δείγματα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 2 δείγματα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για τη μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 2 δείγματα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 2 δείγματα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE3

Εικόνα 3.4 : Δείγμα SE3

Από το δείγμα SE3 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 1 δείγμα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 2 δείγματα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 2 δείγματα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 2 δείγματα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE4

Εικόνα 3.5 : Δείγμα SE4

Από το δείγμα SE4 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 1 δείγμα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 1 δείγμα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF) (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE5

Εικόνα 3.6 : Δείγμα SE5

Από το δείγμα SE5 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 1 δείγμα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 1 δείγμα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE6

Εικόνα 3.7 : Δείγμα SE6

Από το δείγμα SE6 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 2 δείγματα για ποροσιμετρία
- 2 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης.
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE7

Εικόνα 3.8 : Δείγμα SE7

Από το δείγμα SE7 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 2 δείγματα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE8

Εικόνα 3.9 : Δείγμα SE8

Από το δείγμα SE8 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 2 δείγματα για Ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 1 δείγμα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης.
- 2 δείγματα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 2 δείγματα για προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE9

Εικόνα 3.10: Δείγμα SE9

Από το δείγμα SE9 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 1 δείγμα για ποροσιμετρία
- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

Ομάδα Δείγματος SE10

Εικόνα 3.11: Δείγμα SE10

Από το δείγμα SE10 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν:

- 3 δείγματα για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- 1 δείγμα για μη καταστροφικές μεθόδους (υπέρηχοι)
- 2 δείγματα για μέθοδο προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- 1 δείγμα για ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία (XRD)
- 1 δείγμα προσδιορισμό χημικής σύστασης με φθορισιμετρία (XRF)

3.4 Εργαστηριακές Μετρήσεις

Η μελέτη βασίζεται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από έξι εργαστηριακές μεθόδους. Έπειτα από την συγκέντρωση πυρήνων/καροταρίων εκ των αρχικών δειγμάτων, ο προσδιορισμός φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του πετρώματος γίνεται με:

- Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία Α-Χ (XRD)
- Φθορισιμετρία Α-Χ (XRF)
- Ποροσιμετρία
- Προσδιορισμός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- Μέθοδος υπερήχων
- Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε δοκίμια

Εικόνα 3.12 : Φωτογραφία μικρών πυρήνων

Κεφάλαιο 4: Εργαστηριακές Δοκιμές Μηχανικής Συμπεριφοράς

4.1 Ταξινόμηση παραμέτρων βραχώδους υλικού

Στη παρούσα έρευνα μελετώνται οι μηχανικές ιδιότητες δομικών λίθων για αυτό κρίνεται απαραίτητη η κατανόηση φυσικών ιδιοτήτων σε βραχώδη υλικά και κατά συνέπεια την μηχανική συμπεριφορά τους.

Για την ορθή κατηγοριοποίηση της μηχανικής συμπεριφοράς σε ένα βραχώδη υλικό είναι απαραίτητη η μελέτη των παρακάτω χαρακτηριστικών (Παπανακλής, 2007):

- Ισοτροπία – Ανισοτροπία : Ορίζεται ως το μέτρο των ιδιοτήτων του υλικού κατά διεύθυνση.
- Ομοιογένεια : Το μέτρο της φυσικής συνέχειας του υλικού. Π.χ. Ένα ομοιογενές πέτρωμα παρουσιάζει ομοιομορφία συστατικών σε όλα τα τμήματα του πετρώματος.
- Ασυνέχειες: Ορίζονται οι μικρορωγμές και οι πόροι που διαπερνούν τη μάζα του ακέραιου πετρώματος. (Στρώση, διακλάσεις, ρήγματα).

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι παράμετροι ταξινόμησης ενός άρρηκτου πετρώματος. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων μπορεί να γίνει είτε μακροσκοπικά είτε με τη βοήθεια εργαστηριακών δοκιμών (Παπανακλής, 2007)

ΟΜΑΔΑ Ι	ΟΜΑΔΑ ΙΙ	ΟΜΑΔΑ ΙΙΙ
Τύπος Χρώμα Μέγεθος κόκκων Δομή & ιστός Αποσάθρωση Εξαλλοίωση Αντοχή	Σκληρότητα Ανθεκτικότητα Πορώδες Πυκνότητα Αντοχή Ταχύτητα διάδοσης κυμάτων	Αντοχή Μέτρο ελαστικότητας Λόγος Poisson Πρωτογενής υδροπερατότητα

Πίνακας 4.1 : Δείκτες περιγραφής - ταξινόμησης πετρωμάτων για γεωτεχνικούς σκοπούς (Παπανακλής, 2007).

Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται **οι πετρογραφικές ιδιότητες** που μελετώνται μακροσκοπικά ή με πετρογραφική μελέτη (ΟΜΑΔΑ Ι), πιο αναλυτικά :

- **Ο Λιθολογικός τύπος του πετρώματος** : Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους διακρίνονται σε 1) Μαγματικά 2) Ιζηματογενή 3) Μεταμορφωμένα

- **Υφή και ιστός** *Η υφή (texture) αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα συστατικά του πετρώματος στο χώρο και τη μορφή η οποία προκύπτει από την πλήρωση του χώρου. Ο ιστός (fabric) αναφέρεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων και στον τρόπο με τον οποίο αυτά συνδέονται μεταξύ τους.*
- **Μέγεθος κόκκων**

Χαρακτηρισμός	Μέγεθος κόκκων	Αντιστοιχία με έδαφος
Πολύ χονδρόκοκκο	>60 mm	Ογκόλιθοι και κροκάλες
Χονδρόκοκκο	60 mm-2 mm	Χαλίκια
Μεσόκοκκο	2 mm-60 μ	Άμμος
Λεπτόκοκκο	60 μ-2 μ	Ιλύς
Πολύ λεπτόκοκκο	<2μ	Άργιλος

Πίνακας 4.2 : Μέγεθος κόκκων ακέραιου πετρώματος (Παπανακλής, 2007)

- **Χρώμα :** Το χρώμα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την ορυκτολογική σύσταση και τον βαθμό εξαλοίωσης ή αποσάρθρωσης του πετρώματος**.**
- **Βαθμός αποσάρθρωσης και εξαλλοίωσης**

Ταξινόμηση	Περιγραφή
Υγιές (fresh)	Κανένα ίχνος αποσάθρωσης
Αποχρωματισμένο (discoloured)	Το χρώμα του μητρικού πετρώματος έχει αλλάξει. Αν η αλλαγή του χρώματος περιορίζεται σε μερικά ορυκτά πρέπει να αναφέρεται
Θρυμματισμένο (disintegrated)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε εύθρυπτο υλικό, ο αρχικός του ιστός διατηρείται και οι κρύσταλλοι δεν έχουν αποσυντεθεί.
Αποσυνθεμένο (decomposed)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε έδαφος, ο αρχικός του ιστός διατηρείται, αλλά μερικοί ή όλοι οι κρύσταλλοι έχουν αποσυντεθεί.

Πίνακας 4.3: Βαθμός αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης ακέραιου πετρώματος (Παπανακλής, 2007)

Στη δεύτερη ομάδα αναγράφονται οι φυσικές, οι μηχανικές και οι δυναμικές παράμετροι που προσδιορίζονται με εργαστηριακές δοκιμές ή επι τόπου (**ΟΜΑΔΑ ΙΙ).**

- **Ανθεκτικότητα – Χαλάρωση.** *Η έννοια της ανθεκτικότητας (durability) αναφέρεται προφανώς στο μέγεθος της επιδεκτικότητας ενός πετρώματος στη γρήγορη χαλάρωση*
- **Περιεχόμενη υγρασία (Water content)** Η περιεχόμενη υγρασία εκφράζει την ποσότητα νερού που εμπεριέχεται μέσα στο πέτρωμα και υπολογίζεται από τη σχέση :
  Περιεχόμενη Υγρασία % = (Μάζα νερού/ Μάζα στερεών) Χ 100
- **Πορώδες (Porosity) και πυκνότητα (Density).**

Το πορώδες είναι ο λόγος των πόρων προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος και εκφράζεται από τη σχέση

Πορώδες% = (Όγκος πόρων / Συνολικός όγκος) X 100

Η πυκνότητα, ρ, ορίζεται σαν ο λόγος της συνολικής μάζας προς το συνολικό όγκο του πετρώματος και εκφράζεται σε Mg/m3 .

- **Ταχύτητα διάδοσης υπερήχων (Sound velocity) :** Σε ένα πέτρωμα η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από την πυκνότητα, την ελαστικότητα καθώς και από την παρουσία πόρων και ασυνεχειών.

Βραχώδες υλικό	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)
Ασβεστόλιθοι	2550-6500	1700-4000
Κρυσταλλικοί, συμπαγείς ασβεστόλιθοι	4800-6500	2800-4000
Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	1700-5600	1200-3300
Ψαμμίτες, (μαργαϊκοί χαλαζιακοί κ.λ.π.)	1900-6000	1100-3500
Γνεύσιοι-σχιστόλιθοι	2300-5900	1400-3600

Πίνακας 4.4 : Διακυμάνσεις των τιμών Vp και Vs για διάφορες κατηγορίες πετρωμάτων του Ελληνικού χώρου (Παπανακλής, 2007)

- **Σκληρότητα:** Η κλίμακα Mohs αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της σκληρότητας ενός ορυκτού για την εξέταση του μακροσκοπικά . Η κλίμακα περιλαμβάνει 10 ορυκτά ξεκινώντας με το πιο μαλακό ορυκτό No1 (Τάλκη) μέχρι το σκληρότερο No10 (Διαμάντι) . Στη περίπτωση των πετρωμάτων η παραπάνω κλίμακα δεν ανταποκρίνεται λόγω της ποικιλομορφίας τους, για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης(π.χ σφυρί αναπήδησης Schnidt, σκληρόμετρο Shore).

- **Αντοχή:** Η αντοχή ενός βραχώδους υλικού εκφράζει την τάση που εφαρμόζεται σε αυτό εώς ότου επέλθει η αστοχία του. Οι τύποι αντοχής διαχωρίζονται με βάση την εφαρμοζόμενη τάση σε τρεις κατηγορίες:

  →Αντοχή σε συμπίεση (θλιπτική τάση)
  →Διατμητική Αντοχή (διατμητική τάση)
  →Αντοχή σε εφελκυσμό (εφελκυστική τάση)

Στη τελευταία ομάδα **(ΟΜΑΔΑ ΙΙΙ)** παρουσιάζονται οι ποσοτικοί δείκτες που υπολογίζονται κατά την εφαρμογή των εργαστηριακών δοκιμών αντοχής και αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για την σχεδίαση γεωτεχνικών έργων.

- **Ελαστικότητα** : Από το νόμο του Hookes ορίζεται ως ο λόγος τάσης/παραμόρφωσης

- **Λόγος Poisson** : Είναι καθαρός αριθμός της πλευρικής προς την αξονική παραμόρφωση του υλικού. Για γραμμικά ελαστικά υλικά το ν παίρνει τιμές από 0 μέχρι 0.5 και συνήθως θεωρείται ίσο με 0.25.

4.2 Δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης UCS, (uniaxial compressive strength) καθίστανται η συνηθέστερη και πιο διαχρονική δοκιμή των πετρωμάτων. Στόχος της είναι η κατασκευή διαγραμμάτων τάσης παραμόρφωσης έτσι ώστε να υπολογιστούν η μονοαξονική ή θλιπτική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας (E) και ο λόγος Poisson(ν). Τα δοκίμια είναι ορθοί κυκλικοί κύλινδροι οι οποίοι τοποθετούνται ανάμεσα σε δύο παράλληλες χαλύβδινες πλάκες. Μέσω επιβολής φορτίου που ασκείται βαθμιαία και παράλληλα με τον άξονα του δοκιμίου επιτυγχάνεται η αστοχία του. Η αξονική τάση που αντιστοιχεί όταν το δοκίμιο αστοχήσει καλείται μονοαξονική ή θλιπτική αντοχή.

Εικόνα 4.1: Σύστημα θλιπτικών δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης

4.2.1 Προπαρασκευή δοκιμίων

Μετά τη δειγματοληψία και τη μεταφορά των πετρωμάτων στο εργαστήριο πραγματοποιείται η προετοιμασία των δειγμάτων. Με τη χρήση του πυρηνολήπτη (drill press) επιτυγχάνεται η διάτρηση του ακέραιου πετρώματος και η λήψη των πυρήνων/καροταρίων. Έπειτα ακολουθεί η κοπή των δοκιμίων με δισκοπρίονο (diamond saw) και η αμφίπλευρη λείανση με συσκευή λείανσης (grinder). Τέλος μετρώνται οι διαστάσεις των δοκιμίων. Για τη μείωση του σφάλματος παρατήρησης λήφθηκε ως τιμή ο μέσος όρων και των τριών μετρήσεων.

Εικόνα 4.2 : Πυρηνολήπτης (drill press)

Εικόνα 4.3: Δισκοπρίονο

4.2.2 Εφαρμογή της Μεθόδου

Η εφαρμογή της μεθόδου σε μονοαξονική θλίψη διεξήχθη με εξοπλισμό από το Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές:

→ **Συσκευή δοκιμής**: Με την επιβολή φορτίου με σταθερό ρυθμό στο δοκίμιο καταγράφεται το επιβαλλόμενο φορτίο και οι μετατοπίσεις των πλακών φόρτισης.

→ **Πλάκες φόρτισης:** Με τις δύο πλάκες φόρτισης οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες παράλληλα, μία πάνω και κάτω, μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο.

→ **Χαλύβδινοι δίσκοι:** Οι χαλύβδινοι δίσκοι στόχο έχουν τη μείωση της πλευρικής παραμόρφωσης των δοκιμίων που προκαλούνται στα σημεία επαφής λόγω δυνάμεων τριβής.

→ **Σφαιρική κεφαλή έδρασης:** Βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου με τον άξονα της ευθυγραμμισμένο με αυτόν του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Σε

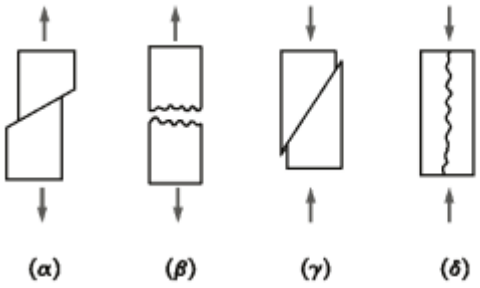
περίπτωση που δεν διατίθεται στο μηχάνημα σφαιρική κεφαλή έδρασης, ένας από τους χαλύβδινους δίσκους δύναται να αναπληρώσει το ρόλο της.

→ **Διάταξη μέτρησης παραμορφώσεων:** Σε κάθε στάδιο φόρτισης γίνεται μέτρηση των πλευρικών τιμών και των ανοιγμένων παραμορφώσεων με τη βοήθεια γραμμικών μεταβλητών διαφορικών πρεσσοστατών (linear variable differential transducers).

→ **Καταγραφικό όργανο:** Γίνεται καταγραφή καμπύλης φορτίου -μετατόπισης συναρτήσει του χρόνου και στη συνέχεια αποθηκεύεται σε Η/Υ όπου παρατηρείται η εξέλιξη της δοκιμής καθ' όλη την διάρκεια.

Εικόνα 4.4.: Δείγμα πριν τη δοκιμή

Εικόνα 4.5: Δείγμα μετά τη δοκιμή



. Κύριοι τύποι θραύσης πετρωμάτων (από ΚΑΛΤΕΖΙΩΤΗ και ΤΣΙΑΜΠΑΟ, 1980).
α) Θραύση με διάτμηση σε δοκιμή εφελκυσμού (ελάχιστη κύρια τάση κατακόρυφη, θλιπτική τάση θετική).
β) Θραύση με επέκταση σε δοκιμή εφελκυσμού.
γ) Θραύση με διάτμηση σε δοκιμή θλίψης (μέγιστη κύρια τάση κατακόρυφη).
δ) Θραύση με επέκταση σε δοκιμή θλίψης.

Εικόνα 4.6 :Τύποι θραύσης πετρωμάτων (Παπανακλής, 2007)

4.2.3 Αποτελέσματα

Υπολογίζοντας την μέγιστη τιμή των τάσεων που προκύπτουν από τα ανάλογα φορτία κατά στάδια φόρτισης για κάθε δοκίμιο, λαμβάνεται η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (C0) του δοκιμίου αυτού. Η τιμή αυτή μπορεί αναχθεί σε κάποιο σταθερό λόγω ύψους-διαμέτρου (h/D), πράγμα το οποίο κρίνεται κρίσιμο ειδικά κατά τη σύγκριση δοκιμίων, καθώς τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο (διάμετρος πυρηνοληψίας) αλλά δεν έχουν το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους διαμέτρου.

Σύμφωνα με τον Αγιουτάντη (2001) η αναγωγή της C0 σε σταθερό λόγο h/D για λόγο h/D=1 γίνεται μέσα από την Εξίσωση 5.4.1 , που όρισαν οι Obert et al. (1946):

$$C1 = \frac{C0}{0.778 + \frac{0.222}{h/D}} \quad \text{Εξίσωση 4.2.1}$$

Όπου C0= η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο h/D>1, και C1= η ανηγμένη τιμή για λόγο h/D=1.

Αντίστοιχα για την αναγωγή της C0 σε σταθερό λόγο h/D για λόγο h/D=2 γίνεται χρήση της Εξίσωσης 5.4.2 , η οποία προτάθηκε πρώτη φορά από τον Protodyakonov (1969) και περιγράφεται ως εξής:

$$C2 = \frac{C0}{\frac{7}{8} + \frac{2}{8h/D}} \quad \text{Εξίσωση 4.2.2}$$

Όπου C0= η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο h/D>1, και C2= η ανηγμένη τιμή για λόγο h/D=2.

Όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας υπάρχουν τρία είδη, το εφαπτομενικό (tangent modulus), το μέσο μέτρο ελαστικότητας (average modulus) και το τέμνον μέτρο ελαστικότητας. Η διαφορά αυτών των τριών υπόκειται στο σύνολο των μετρήσεων που επιλέγεται από την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης, καθώς το μέτρο ελαστικότητας δεν παραμένει σταθερό καθόλη τη διάρκεια της φόρτισης. Όλα όμως αυτά τα είδη υπόκεινται στο γενικό τύπο:

$$E = {\Delta\sigma}/{\Delta\varepsilon} \quad \text{Εξίσωση 4.2..3}$$

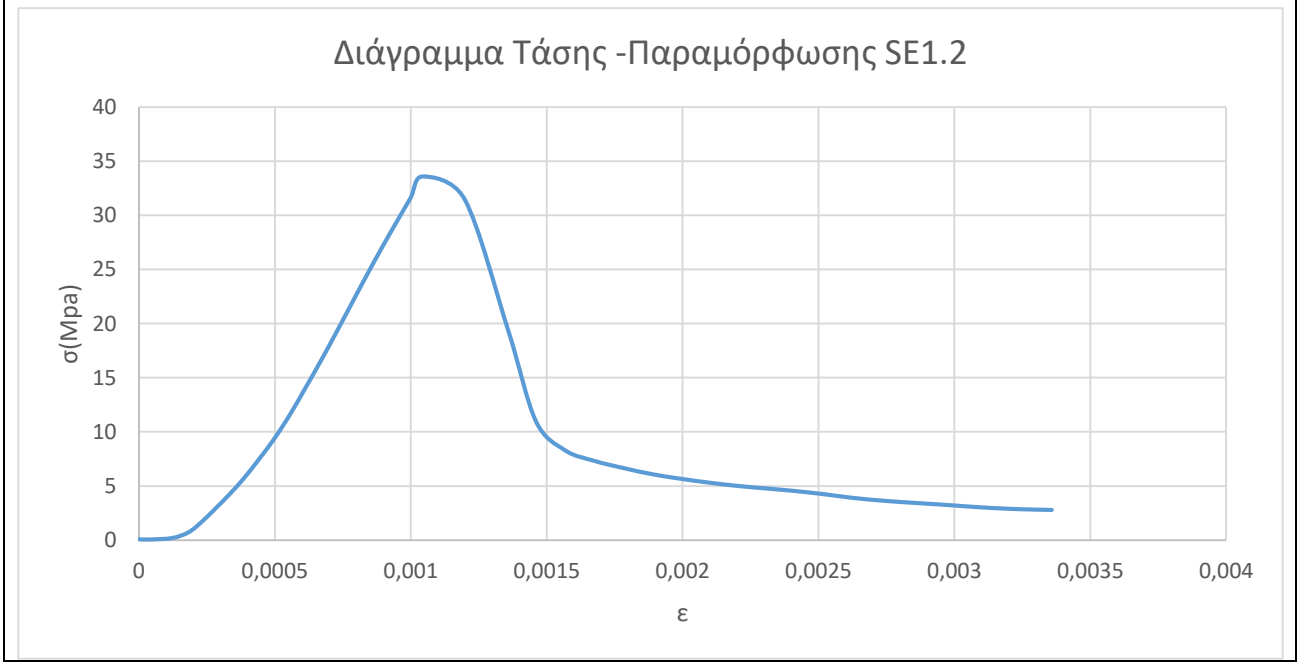
Πρόκειται δηλαδή για την εφαπτομένη της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης που διαφοροποιείται ανάλογα με το σημείο που εφάπτεται. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το μέσο μέτρο ελαστικότητας επιλέγοντας τιμές γύρω από μισό της τιμής της μέγιστης τάσης δηλαδή στο 50% της σmax.

Στον παραπάνω πίνακα αναγράφονται τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων κατόπιν επεξεργασίας με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων και στο Παράρτημα 3 παρατίθενται αναλυτικά τα διαγράμματα όλων των δειγμάτων.

ΔΟΚΙΜΙΑ	**H(cm)**	**D(cm)**	**H/D**	**σmax(Mpa)**	**C1(Mpa)**	**C2(Mpa)**	**E(Gpa)**
1.1	10.40	4.7	2.21	50.95	58.01	51.57	46.97
1.2	14.32	4.7	3.04	33.6	39.49	35.10	6.11
1.3	14.96	4.7	3.18	35.5	41.88	37.23	1.89
2.1	10.26	4.7	2.18	23.05	26.20	23.29	7.07
2.2	9.56	4.7	2.03	9.03	10.18	9.05	0.061
2.3	8.23	4.7	1.75	9.83	10.86	9.66	0.0017
3.1	10.35	4.7	2.20	7.13	8.11	7.21	3.58
3.2	7.2	4.7	1.52	9.58	10.37	9.21	8.71
3.3	11.33	4.7	2.41	5.33	6.13	5.45	6.019
4.1	10.77	4.7	2.29	19.34	22.10	19.65	17.73
4.2	8.75	4.7	1.85	14.12	15.72	13.98	13.45
4.3	8.355	4.7	1.77	19.09	21.14	18.79	13.49
5.1	12.66	4.7	2.69	41.4	48.10	42.77	34.9
5.2	10.60	4.7	2.25	50.28	57.36	51.00	37.71
5.3	9.53	4.7	2.02	40.22	45.31	40.28	23.97
6.1	9.32	4.7	1.97	29.55	33.17	29.49	15.18
6.2	8.42	4.7	1.79	10.7	11.86	10.54	13.05
7.1	8.84	4.7	1.88	54.89	61.25	54.45	38.61
7.2	8.34	4.7	1.77	36.94	40.90	36.36	21.37
7.3	8.12	4.7	1.72	59	65.06	57.84	36.65
8.1	14.33	4.7	3.05	6.21	7.30	6.49	6.38
8.2	8.03	4.7	1.70	7.66	8.43	7.50	4.4
8.3	8.20	4.7	1.75	6.25	6.90	6.14	3.53
9.1	9.16	4.7	1.95	11.92	13.36	11.88	4.29
9.2	9.54	4.7	2.03	13.43	15.13	13.45	9.95
9.3	8.31	4.7	1.77	10.3	11.40	10.13	8.43
10.1	9.61	4.7	2.04	21.61	24.37	21.67	14.2
10.2	10.41	4.7	2.21	15.07	17.16	15.25	13.78
10.3	9.41	4.7	2.00	9.88	11.11	9.88	6.85

Πίνακας 4.1 : Αποτελέσματα τιμών Co,C1,C2 και E των δοκιμίων

Δοκίμια	H(cm)	D(cm)	H/D	σmax(Mpa)	C1(Mpa)	C2(Mpa)	E(Gpa)
SE1.2	14.32	4.71	3.04	33.6	39.49	35.10	6.11



Πίνακας 4.2 : Αντιπροσωπευτική καταγραφή τάσης παραμόρφωσης για το δοκίμιο SE1.2

4.3 Υπέρηχοι

Οι υπέρηχοι υπάγονται στις μη καταστροφικές μεθόδους μέσω των οποίων γίνεται ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων πετρώματος. Η μέθοδος συναντά ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς (π.χ. ιατρική, σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας) λόγω του άμεσου και ακίνδυνου τρόπου λειτουργίας της, στη μηχανική δε, γνωρίζει μεγάλη αποδοχή αφού δεν καταστρέφει τα υλικά (π.χ. πετρώματα), καθώς και δεν επηρεάζει τις ιδιότητες τους.

4.3.1 Μέθοδος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής και Αντοχής των Υλικών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μέθοδος βασίζεται στη φυσική των υπερήχων, η οποία είναι ίδια με αυτή των ηχητικών κυμάτων. Οι υπέρηχοι αποτελούν μηχανικά κύματα των οποίων η συχνότητα (20.000Hz) βρίσκεται εκτός φάσματος συχνοτήτων της ανθρώπινης ακοής. Η συγκεκριμένη δοκιμή βασίζεται στη διάδοση κυμάτων μέσω των πυρήνων που ελήφθησαν από τα πετρώματα επιτρέποντας την ανίχνευση σε ατέλειες, ρωγμές, πόρους και εγκλείσματα.

Τα κύματα παράγονται από μια γεννήτρια παλμών και μέσω του μετατροπέα (πομπός) μετατρέπονται σε μηχανική δόνηση. Η μηχανική δόνηση εφαρμόζεται στα εξεταζόμενα δοκίμια. Τα σεισμικά κύματα που διαδίδονται στα δοκίμια μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα από έναν δέκτη. Για τα διαμήκη κύματα ο πομπός εφάπτεται στην μια άκρη του δοκιμίου και ο δέκτης στην άλλη, ενώ για τα επιφανειακά (Rayleigh) πομπός και δέκτης ακουμπούν στην επιφάνεια του κυλινδρικού δοκιμίου. Στην παραπάνω εργαστηριακή δοκιμή καταγράφεται η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη με τη βοήθεια παχύμετρου και ο χρόνος σε (μs) μέσω του οργάνου. Με τη βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων μπορούν να υπολογιστούν:

- η ταχύτητα για διαμήκη και Rayleigh κύματα (Vp),(Vs)
- ο λόγος Poisson (ν)
- το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E)
- το μέτρο διάτμησης (G)

Αρχικά μετά την καταγραφή απόστασης- χρόνου υπολογίζεται η μέση ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων :

$$V = \frac{L}{t} \quad \text{Εξίσωση 4.3.1}$$

L: απόσταση πομπού-δέκτη (m) t: χρόνος διάδοσης (sec)

Στη συνέχεια με την παραπάνω εξίσωση (2) υπολογίζεται ο λόγος Poisson(ν) :

$$\left(\frac{\mathrm{Vp}}{\mathrm{Vr}}\right)^2 = \frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)} \frac{(1+\nu)^2}{(0.87+1.12\nu)^2} \quad \text{Εξίσωση 4.3.2}$$

V_p: ταχύτητα για διαμήκη (m/s)

V_r : ταχύτητα για Rayleigh (m/s)

Από την παραπάνω εξίσωση υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας για τα διαμήκη

$$\mathrm{Vp} = \sqrt{\frac{\mathrm{Ed}(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \rightarrow \mathrm{Ed} = \frac{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} * \mathrm{Vp}^2 \quad \text{Εξίσωση 4.3.3}$$

Αντίστοιχα και για τα επιφανειακά – Rayleigh

$$\mathrm{Vr} = \frac{0.87+1.12\nu}{1+\nu} \sqrt{\left(\frac{Ed}{p}\right) * 1/(2(1+\nu)} \quad \text{Εξίσωση 4.3.4}$$

Τέλος, υπολογίζεται το μέτρο διάτμησης από τον παραπάνω τύπο :

$$G = E/2(1+\nu) \quad \text{Εξίσωση 4.3.5}$$

όπου: ν: λόγος Poisson, ρ: πυκνότητα σε g/cm^3 ή kg/m^3

4.3.2 Τρόπος Λειτουργίας Οργάνου

Η διάταξη της συσκευής ταχύτητας υπερήχων (Tico) περιλαμβάνει :

- πομπό
- δέκτη
- ενισχυτή
- παλμογράφο

Οι υπέρηχοι παράγονται από τον πομπό μέσω ενός ηλεκτροακουστικού κρυστάλλου ενώ λαμβάνονται μέσω του δέκτη και μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα. Με τη βοήθεια του ενισχυτή γίνεται η καταγραφή σε παλμογράφο. Μετριέται ηλεκτρονικά ο χρόνος διάδοσης μεταξύ πομπού και δέκτη και αν είναι γνωστή η απόσταση μεταξύ τους (ύψος δοκιμίου σε mm) μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης. Αξίζει να σημειωθεί πως οι τιμές που λαμβάνονται υπόψιν είναι εκείνες για τα διαμήκη κύματα λόγω σφαλμάτων του πειράματος που αναλύονται στο Κεφ. 7.1.2.

4.3.3 Αποτελέσματα

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς. Οι μετρήσεις έγιναν σε δοκίμια των οποίων οι διαστάσεις ήταν τέτοιες ώστε να επιτρέπουν την πραγματοποίηση καταγραφής για διαμήκη και κύματα Rayleigh (βλ εικ 5.5.1). Ως εκ τούτου πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί μόνο για δώδεκα δοκίμια εκ των τριάντα παρασκευασμένων.

Δοκίμια	Διάμετρος(cm)	Ύψος(cm)	Μάζα(kg)	Όγκος(m^3)	Πυκνότητα(kg/m^3)
SE1.1	4.70	10.40	0.44	0.00018	2450.50
SE1.2	4.71	14.32	0.58	0.00025	2338.52
SE1.3	4.70	14.96	0.58	0.00026	2250.96
SE2.1	4.70	10.26	0.38	0.00018	2135.50
SE2.2	4.71	9.56	0.35	0.00017	2103.07
SE3.1	4.70	10.35	0.37	0.00018	2045.83
SE3.3	4.70	11.33	0.39	0.00020	1975.15
SE4.1	4.70	10.77	0.44	0.00019	2344.33
SE5.1	4.71	12.66	0.55	0.00022	2477.25
SE5.2	4.71	10.60	0.47	0.00018	2548.94
SE8.1	4.70	14.33	0.47	0.00025	1903.26
SE10.2	4.71	10.41	0.37	0.00018	2039.00

Πίνακας 4.7 : Γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων

	Χρόνος(sec)	Απόσταση(m)	Vp(m/s)	Vp^2(m/s)	p(kg/m^3)	E(Gpa)	G(Gpa)
				Διαμήκη			
SE1.1	0,0000338	0,104016667	3077	9470490,31	2450	1,36	0,46
SE1.2	0,000043	0,143216667	3331	11093030,6	2339	1,52	0,51
SE1.3	0,0000509	0,149616667	2939	8640211,73	2251	3,24	1,10
SE2.1	0,000037	0,102616667	2773	7691877,49	2136	1,87	0,63
SE2.2	0,000031	0,095633333	3085	9516893,28	2103	2,28	0,77
SE3.1	0,0001362	0,10345	760	576908,284	2046	0,31	0,11
SE3.3	0,000048	0,113283333	2360	5569927,78	1975	1,25	0,42
SE4.1	0,0001131	0,107666667	952	906227,684	2344	1,43	0,54
SE5.1	0,0001229	0,126616667	1030	1061397,32	2477	0,92	0,32
SE5.2	0,000093	0,106033333	1140	1299926,9	2549	1,55	0,55
SE8.1	0,00012	0,143316667	1194	1426365,76	1903	0,59	0,20
SE10.2	0,0000355	0,104066667	2931	8593430,76	2039	1,02	0,34

Πίνακας 4.8 Καταγραφή μετρήσεων για διαμήκη

	t(μs)	t(sec)	X(m)	Vr(m/s)	Vr^2(m/s)	Ed(Pa)	Ed(Gpa)	G(GPa)
	Rayleigh							
SE1.1	70,37	0,000070	0,035	1539	2367623	19068339617,6	19,07	6,40
SE1.2	118,03	0,000118	0,055	1665	2773258	21314599299,1	21,31	7,15
SE1.3	81,67	0,000082	0,059	1470	2160053	15841423809,8	15,84	5,39
SE2.1	61,60	0,000062	0,038	1387	1922969	13437835281,0	13,44	4,54
SE2.2	55,90	0,000056	0,031	1542	2379223	16373688506,9	16,37	5,53
SE3.1	148,70	0,000149	0,037	380	144227	952966243,5	0,95	0,33
SE3.3	71,17	0,000071	0,036	1180	1392482	9000083360,1	9,00	3,04
SE4.1	70,33	0,000070	0,036	476	226557	1626367293,8	1,63	0,61
SE5.1	134,63	0,000135	0,053	515	265349	2104409341,1	2,10	0,74
SE5.2	75,33	0,000075	0,039	570	324982	2616984349,0	2,62	0,93
SE8.1	145,13	0,000145	0,052	597	356591	2201575484,5	2,20	0,75
SE10.2	79,23	0,000079	0,034	1466	2148358	14396973766,2	14,40	4,83

Πίνακας 4.9 Καταγραφή μετρήσεων για Rayleigh

v	(1-v)	1+v	(1-2v)	2(1+v)	(0.87+1,12v)^2	(1+v)^2	((0.87+1,12v)^2)/(1+v)^2
1	1	1	1				
0,49	0,510	1,49	0,020	2,98	2,013	2,22	0,907
0,49	0,510	1,49	0,020	2,98	2,013	2,22	0,907
0,47	0,530	1,47	0,060	2,94	1,950	2,16	0,902
0,48	0,520	1,48	0,040	2,96	1,981	2,19	0,905
0,48	0,520	1,48	0,040	2,96	1,981	2,19	0,905
0,45	0,550	1,45	0,100	2,9	1,888	2,10	0,898
0,48	0,520	1,48	0,040	2,96	1,981	2,19	0,905
0,33	0,670	1,33	0,340	2,66	1,537	1,77	0,869
0,43	0,570	1,43	0,140	2,86	1,827	2,04	0,893
0,40	0,600	1,40	0,200	2,8	1,737	1,96	0,886
0,46	0,540	1,46	0,080	2,92	1,919	2,13	0,900
0,49	0,510	1,49	0,020	2,98	2,013	2,22	0,907

Πίνακας 4.10 : Επεξεργασία Μετρήσεων

Εικόνα 4.7 : Αντιπροσωπευτικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων

Κεφάλαιο 5: Προσδιορισμός πορώδους και υδαταπορρόφησης

5.1 Ορισμός του πορώδους

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι πολυφασικά υλικά που αποτελούνται από στερεούς κόκκους και από τα κενά (πόρους) που δημιουργούνται μεταξύ των κόκκων περιέχοντας νερό ή/και αέρα. Ως πορώδες σε ένα πέτρωμα ορίζεται ο λόγος του όγκου των πόρων προς το συνολικό όγκο του πετρώματος επί της %. Στη παρακάτω εικόνα (Εικ.5.1) φαίνονται τα κενά που δημιουργούνται (πόροι) μεταξύ των κόκκων ενός πετρώματος.

5.1.2 Τύποι πορώδους

Σύμφωνα με την προέλευση του πετρώματος το πορώδες χωρίζεται σε πρωτογενές και δευτερογενές (Χατζηαντωνίου, 2021) :

- Πρωτογενές: Δημιουργία κατά την ιζηματογένεση του πετρώματος

  →Διακοκκικό : Αποτελείται από διάκενα μεταξύ των κόκκων

  →Ενδοσωματιδιακό : Αποτελείται από διάκενα μέσα στη δομή των κόκκων

- Δευτερογενές : Δημιουργείται από φαινόμενα όπως η ανακρυστάλλωση, η αφυδάτωση ή η ρηγμάτωση και η παρουσία ρωγματόσεων. Το δευτερογενές πορώδες οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης και διάλυσης

Τα ψαμμιτικά πετρώματα συνήθως έχουν διακοκκικό πορώδες ενώ τα ανθρακικά στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν δευτερογενές πορώδες.

Οι τιμές του πορώδους που χαρακτηρίζουν ένα πέτρωμα-ταμιευτήρα είναι:

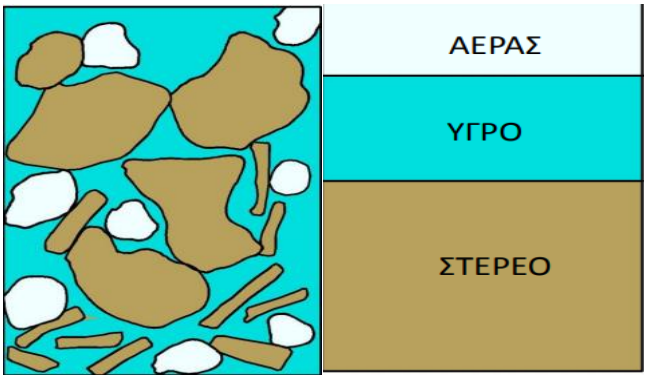
• Χαμηλό πορώδες, $Pt < 5$ %

• Μέτριο πορώδες, $5\ \% < Pt < 10\ \%$

• Μέσο πορώδες, $10\ \% < Pt < 20\ \%$

• Καλό πορώδες, $20\ \% < Pt < 30\ \%$

• Πολύ καλό πορώδες, $Pt > 30$ %



Εικόνα 5.1 : Φάσεις πετρώματος (Γιώτης, 2021)

Ολικό ή απόλυτο πορώδες

$$P_t = \frac{\text{Ολικός όγκος πόρων (PV)}}{\text{Ολικός όγκος πετρώματος (BV)}} \text{ x } 100 \quad \text{Εξίσωση 5.1}$$

όπου:

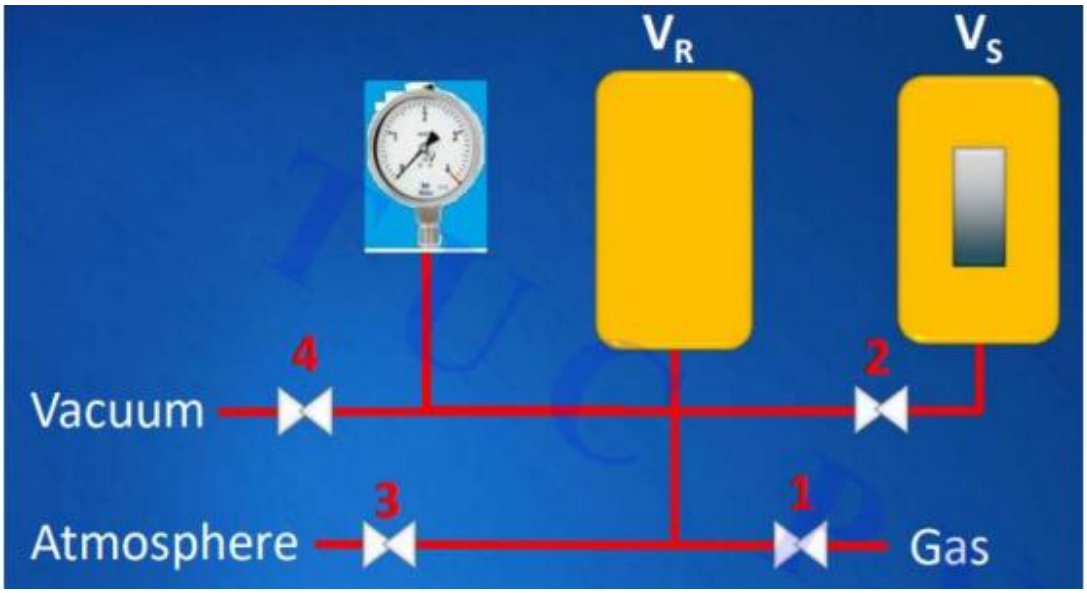
• PV- Pore Volume: ολικός όγκος πόρων

• GV-Grain Volume: συνολικός όγκος των κόκκων του πετρώματος

• BV-Bulk Volume: ολικός όγκος δείγματος όπου BV=PV+GV

5.1.3 Ποροσιμετρία τύπου Boyle

Για τον προσδιορισμό του πορώδους ενός πετρώματος πραγματοποιείται η μέθοδος ποροσιμετρίας βασισμένη στο νόμο του Boyle σύμφωνα με τον οποίο σε μια ισόθερμη εκτόνωση το γινόμενο του όγκου επί την πίεση παραμένει σταθερό. Στη διάταξη παρατηρείται ένα δοχείο V_r (cm^3) όπου εισάγεται ο αέρας της αντλίας, ένα δοχείο V_s (cm^3) όπου εισάγεται το εξεταζόμενο δοκίμιο, ένα μανόμετρο για την μέτρηση της πίεσης πριν (Pin) και μετά (Pfinal) την ισόθερμη εκτόνωση αέρα, μια αντλία κενού για την απομάκρυνση αέρα από το δοχείο V_s και 4 βαλβίδες που ρυθμίζουν τις ροές των αγωγών της διάταξης.



Εικόνα 5.2: Διάταξη τύπου Boyle (Γιώτης, 2021)

Σύμφωνα με τον νόμο του Boyle για την μεταβολή της πίεσης στη διάταξη ισχύει:

$$Pinitial * VR = Pfinal * (VR + VS - GV) \quad \text{(Εξίσωση 5.2)}$$

Όπου:

$P_{initial}$: η αρχική τιμή της πίεσης πριν την μεταβολή

P_{final}: η τελική τιμή της πίεσης μετά τη μεταβολή

V_R: ο όγκος του δοχείου V_S: ο όγκος του δοχείου που φιλοξενεί το δοκίμιο

5.1.4 Εφαρμογή της μεθόδου- Αποτελέσματα

Αρχικά πραγματοποιείται η βαθμονόμηση του οργάνου η οποία γίνεται με τη βοήθεια 14 σφαιρών διαμέτρου (d=1/2 in) και όγκου (Vb=0.524 in3) Κατά τη βαθμονόμηση εκτελούνται δεκατέσσερις διαδοχικές μετρήσεις με διαδοχικά αυξανόμενο αριθμό σφαιρών. Τα βήματα της βαθμονόμησης εκτελούνται με βάση τη διάταξη του οργάνου και ελέγχοντας τις ροές μέσω των βαλβίδων. Δεδομένης της αρχικής κατάστασης του συστήματος με τις βαλβίδες 1 και 4 κλειστές (Εικόνα 8.5) η διαδικασία εξελίσσεται ως εξής:

Βήμα 1→ Άνοιγμα της βαλβίδας 3

Βήμα 2→ Άνοιγμα του δοχείου V_S, τοποθέτηση των κ (0 έως 14) σφαιρών βαθμονόμησης

Βήμα 3→ Κλείσιμο της βαλβίδας 3

Βήμα 4→ Άνοιγμα της βαλβίδας 4 έως ότου επέλθει η επιθυμητή τιμή του κενού P_0

Βήμα 5→ Κλείσιμο των βαλβίδων 2 και 4

Βήμα 6→ Ομαλό άνοιγμα της βαλβίδας 1 που επιτυγχάνει ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης μέχρι τη τιμή αναφοράς $P_{initial}$. Σε περίπτωση υπέρβασης της πίεσης αναφοράς η παροχή αέρα θα πρέπει να κλείσει από τη βαλβίδα 1 και να πραγματοποιηθεί ομαλή εκτόνωση όγκου δοχείου VR μέσω της βαλβίδας 3 μέχρι την επιθυμητή $P_{initial}$. \

Βήμα 7→ Κλείσιμο των βαλβίδων 1 και 3 8. Άνοιγμα της βαλβίδας 2 και καταγραφή της πίεσης P_{final}

5.1.5 Εφαρμογή της μεθόδου- Αποτελέσματα

Δείγμα SE2				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
2.2	5.02	2.49	46.40	56%

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE2

Δείγμα SE3				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
3.2	5.125	2.26	48.56	41%

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE3

Δείγμα SE5				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
5.1	4.9	2.29	55.27	21%

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE5

Δείγμα SE6				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
6.1	5.14	2.26	49	38%
6.2	4.92	2.25	54.78	26%

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE6

Δείγμα SE7				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
7.1	4.9	2.258	56.38	18.5%
7.2	3.835	2.255	38.45	8.8%

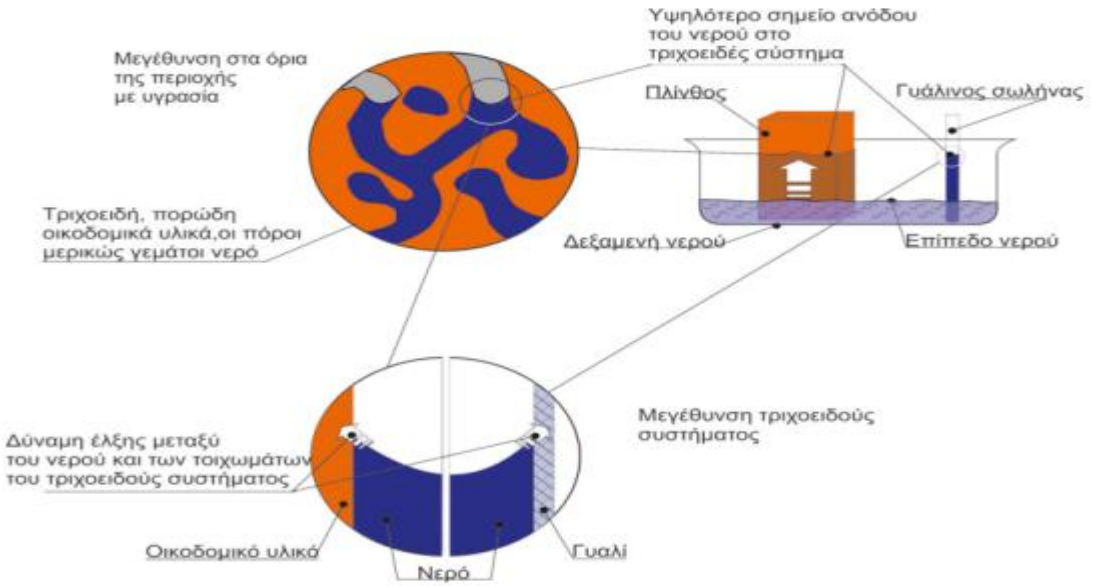
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE7

Δείγμα SE9				
Δοκίμιο	Διαστάσεις(cm)		Βάρος (gr)	Πορώδες %
	Ύψος(cm)	Διάμετρος(cm)		
9.1	3.44	2.235	33.14	
9.2	5.075	2.235	51.451	34.03%

Πίνακας 5.6 : Αποτελέσματα πορώδους δοκιμίου SE9

5.2 Μέθοδος προσδιορισμού συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης

Το νερό καθίσταται βασικός παράγοντα φθοράς των ιστορικών κτιρίων. Το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης αποτελεί ένα μηχανισμό διείσδυσης νερού στο πέτρωμα. Σε πορώδεις λίθους παρατηρείται η αναρρίχηση του νερού που εισέρχεται στο πέτρωμα κατά μήκος του υλικού, κατόπιν εμβάπτισης του στην άκρη του δοκιμίου. Εκφράζει το ρυθμό απορρόφησης υγρασίας μέσω των τριχοειδών πόρων και μετριέται σε: gr απορροφούμενου νερού / διαβρεχόμενη επιφάνεια δοκιμίου. Το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης βασίζεται στις δυνάμεις συνάφειας.

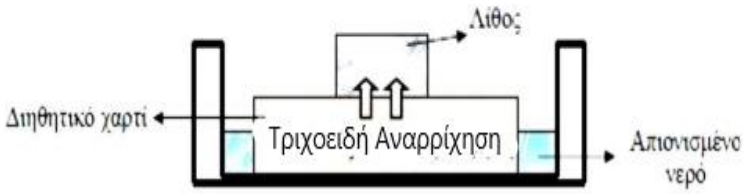


Εικόνα 5.1 : φαινόμενο Τριχοειδούς Αναρρίχησης (Λιονάκης, 2011)

Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του νερού και των τοιχωμάτων των πόρων των χρησιμοποιούμενων δοκιμίων έχουν μεγαλύτερες τιμές από τις δυνάμεις συνοχής των μορίων του νερού. Στο εσωτερικό των δοκιμίων καθίσταται δυνατή η επίτευξη ανοδικής πορείας του νερού μέσω της ανάπτυξης δυνάμεων πρόσφυσης και συνοχής οι οποίες επικρατούν της βαρυτικής (Λιονάκης, 2011).

5.2.1 Εφαρμογή της μεθόδου

Για τη μέτρηση του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης η διαδικασία ήταν η εξής: Τα δοκίμια ξηράθηκαν για 48h, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε στρώμα διηθητικού χαρτιού εμποτισμένο σε απιονισμένο νερό. Έπειτα τα δοκίμια ζυγίζονται. Οι ζυγίσεις έγιναν αρχικά ανά 1’ (δέκα φορές), στη συνέχεια ανά 5’ (πέντε φορές), έπειτα ανά 15’ (δύο φορές), μετά ανά 30’ (τρεις φορές), αργότερα ανά ώρα (οκτώ φορές), η επόμενη μετά από 24h και η τελευταία μετά από 48h. Η παρακάτω εικόνα (1) αναπαριστά την πειραματική διαδικασία. Η εικόνα 2 απεικονίζει δοκίμια 4h μετά την έναρξη του πειράματος. Ευδιάκριτο είναι το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης.



Εικόνα 5.2 : Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μέτρησης της τριχοειδούς απορρόφησης (Π. Δημητριάδου, 2018)

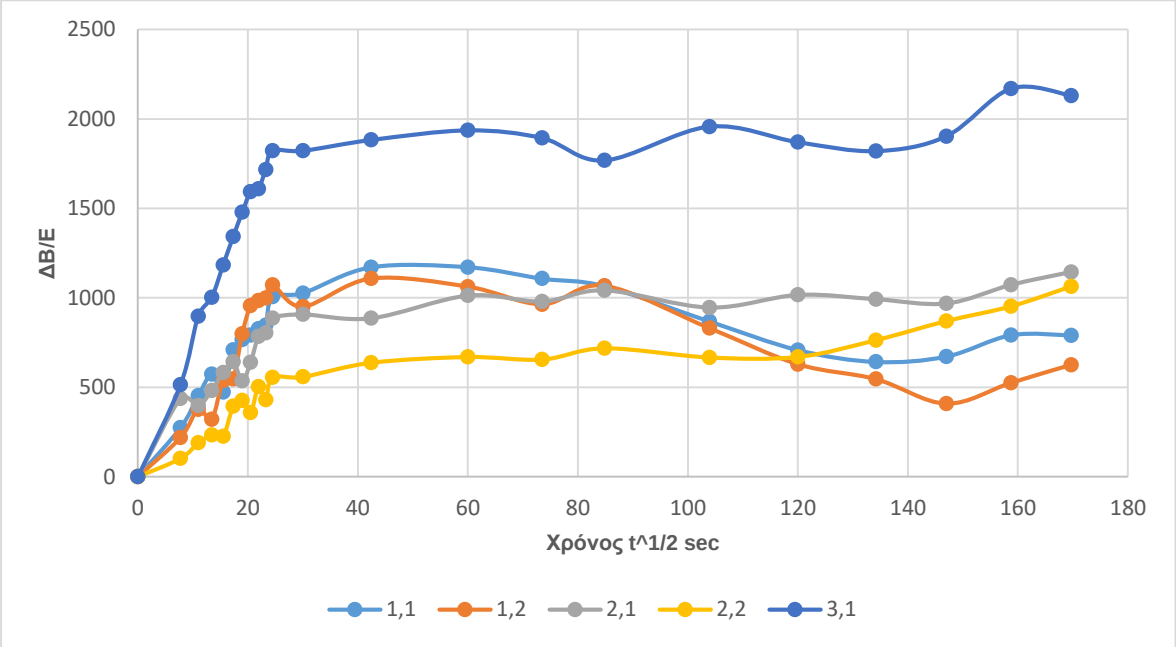
Εικόνα 5.3: Δείγματα μετά από εμβάπτιση τεσσάρων ωρών

5.2.2 Υπολογισμοί

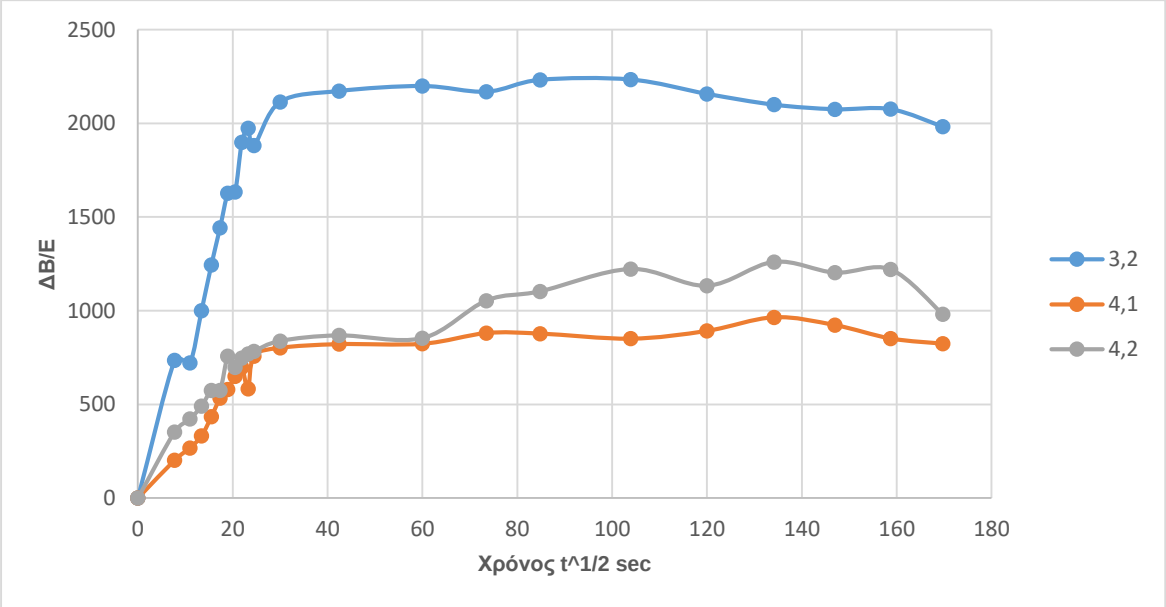
Το πρώτο βήμα είναι η συνεχής καταγραφή του βάρους των δοκιμίων και ο υπολογισμός της διαφοράς βάρους των δοκιμίων ΔΒ (μέτρηση στον εκάστοτε χρόνο – μέτρηση σε χρόνο 0'), καθώς και το εμβαδόν της επιφάνειας που ακουμπά στο νερό Ε (cm^3). Στη συνέχεια δημιουργείται ένα διάγραμμα που αναπαριστά την καμπύλη τριχοειδούς αναρρίχησης **(ΔΒ/Ε – $\sqrt{t}$).** Οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης μπορούν να δώσουν πληροφορίες για το ενεργό πορώδες. Υψηλές τιμές του συντελεστή υποδηλώνουν ότι το ενεργό πορώδες αποτελείται από μικρούς πόρους, ενώ χαμηλές τιμές καταδεικνύουν ποσοστό μεγάλων πόρων μεγαλύτερο των μικρών.

Συντελεστής τριχοειδούς	gr/m^2*sec^1/2
1.1	39.10
1.2	47.48
2.1	28.71
2.2	22.48
3.1	67.42
3.2	76.56
4.1	29.28
4.2	28.58
6.1	30.19
6.2	24.59
7.1	28.20
7.2	18.84
8.1	48.90
8.2	38.17
9.1	37.23
9.2	14.21
10.1	28.06
10.2	39.79

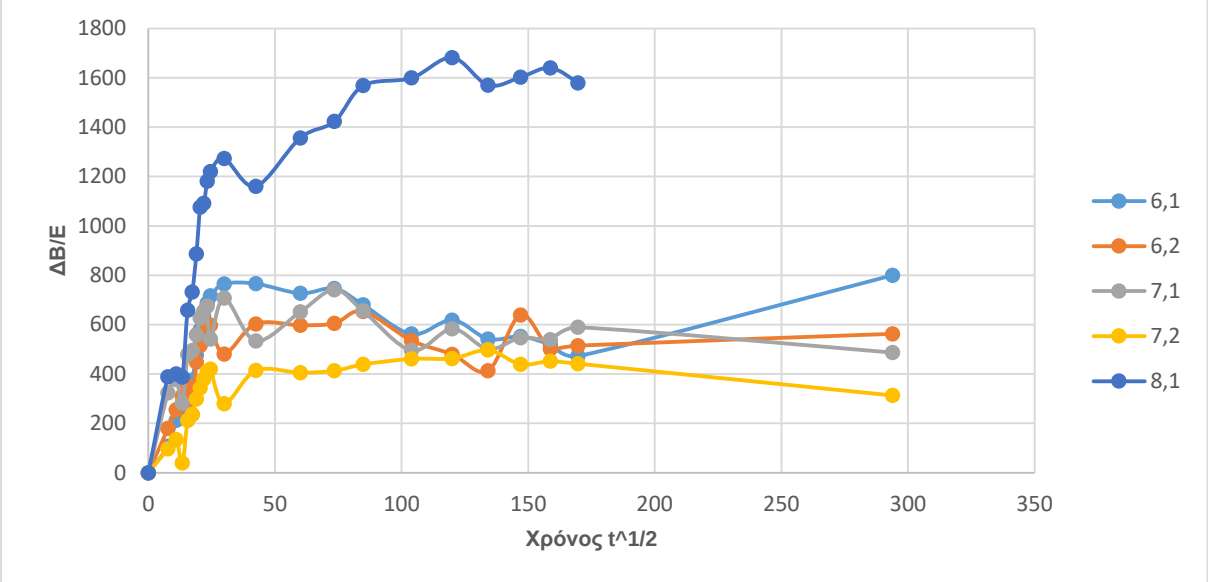
Πίνακας 5.7 : Αποτελέσματα υπολογισμού συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης



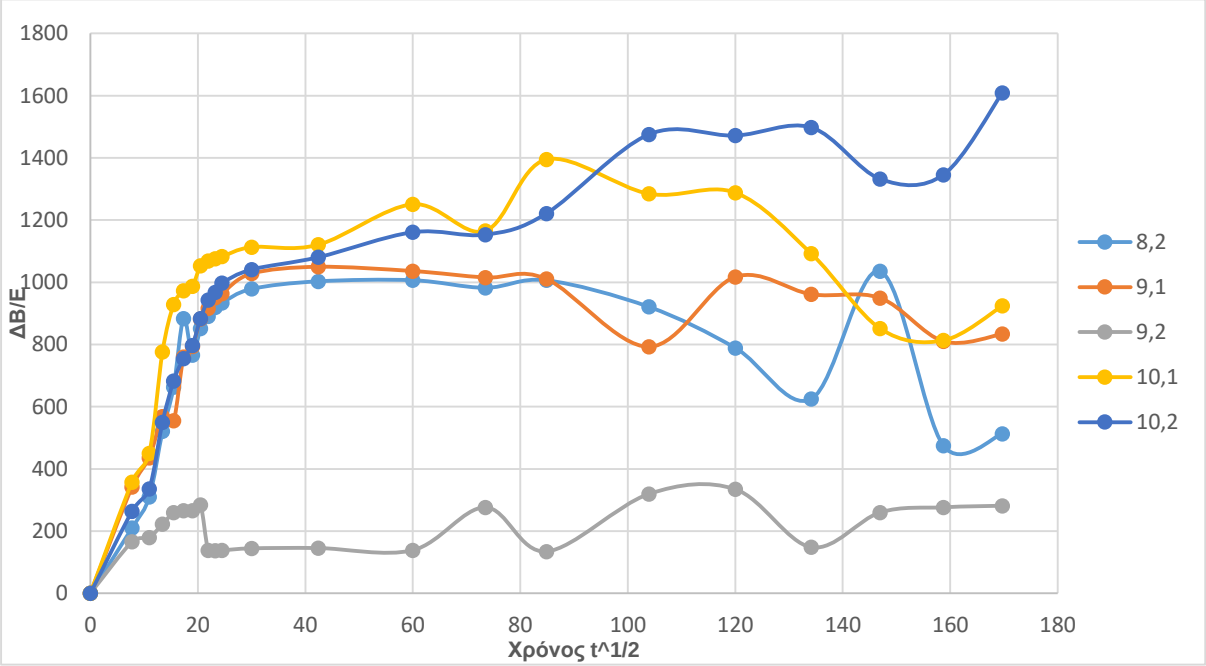
Εικόνα 5.4 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 1.1 – 3.1



Εικόνα 5.5 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 3.2 – 4.2



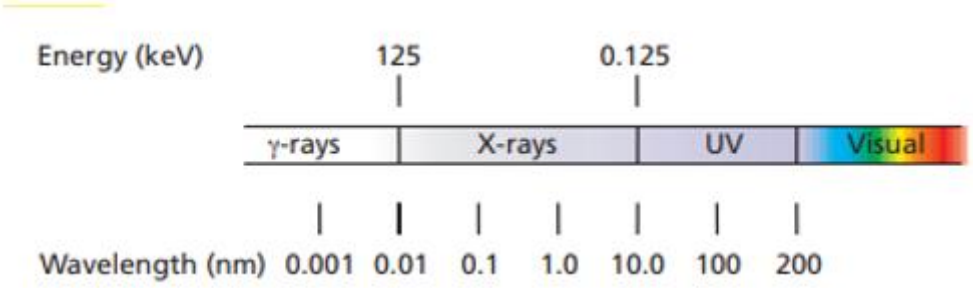
Εικόνα 5.6 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 6.1 – 8.1



Εικόνα 5.7 : Διάγραμμα καμπύλης τριχοειδούς αναρρίχησης για δείγματα 8.2 – 10.2

Κεφάλαιο 6: Εργαστηριακές Μέθοδοι Ακτίνων –Χ

Οι ακτίνες-Χ μπορούν να θεωρηθούν είτε ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα με τα αντίστοιχα μήκη κύματος είτε ως δέσμες φωτονίων σε σχέση με την ενέργεια που τους αντιστοιχεί. Στη Εικ 6 φαίνεται ότι οι ακτίνες-Χ έχουν μήκη κύματος και ενέργεια ανάμεσα στις ακτίνες-γ και στο υπεριώδης φως. Τα μήκη κύματος των ακτίων-Χ έχουν φάσμα από 0.01 μέχρι 10nm, που αντιστοιχεί σε φάσμα ενέργειας από 0.125 μέχρι 125keV . Το μήκος κύματος των Α-Χ είναι αντιστρόφως ανάλογο της ενέργειας τους σύμφωνα με τη σχέση Ε*λ=hc* Ε είναι η ενέργεια σε keV και λ το μήκος κύματος σε nm. Ο όρος hc προέρχεται από τη σταθερά του Planck και την ταχύτητα του φωτός, όπου μετράται σε keV και nm με σταθερή τιμή 1.23985.



Εικόνα 6: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Brower.P, 2010)

6.1 Παρασκευή Δειγμάτων XRD – XRF

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων φθορισιμετρίας (XRF) και περιθλασιμετρίας (XRD) ακτινών – Χ προηγείτο το στάδιο της προετοιμασίας δειγμάτων. Για την προπαρασκευή των δειγμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Συγκέντρωση μικρών κομματιών από τους πυρήνες δειγμάτων (καρότα)
- θραύση μέσω σιαγωνοτού θραυστήρα (Εικ.6.1) με στόχο την απόσπαση κομματιών σε μικρότερα (χαλίκια)
- Λειοτρίβηση των δειγμάτων με τη χρήση πλανητικού (κονιοποιητής) Εικ.6.2 για τη δημιουργία κονιαμάτων (5-10μm). Αρχικά ζυγίζονται τριάντα γραμμάρια από τα δείγματα και τοποθετούνται ανά ζεύγη στα μπολ όπου εμπεριέχονται 10 μπίλιες πορσελάνης Εικ.6.3. Το μηχάνημα μπαίνει σε λειτουργία με 200 στροφές/min για 15΄-20΄ και μέσω της φυγόκεντρου δύναμης επιτυγχάνεται η δημιουργία κονιαμάτων
- Στο τελικό στάδιο τα κονιάματα τοποθετούνται στους δειγματοφορείς

Εικόνα 6.1 Σιαγωνοτός θραυστήρας

Εικόνα 6.2 Πλανητικός λειοτριβητής

Εικόνα 6.3 : Μπολ και μπίλιες πλανητικού

6.2 Περιθλασιμετρία Α-Χ (XRD)

Η περιθλασιμετρία Α-Χ(X-Ray Diffraction) έχει σαν στόχο την εξέταση της κρυσταλλικής δομής καθώς και των ορυκτών φάσεων του πετρώματος με ποιοτική και ποσοτική ανάλυση. Η παραπάνω μέθοδος βασίζεται στο φαινόμενο περίθλασης Α-Χ. Μονοχρωματική ακτινοβολία Α-Χ με γνωστό μήκος κύματος(λ) προσπίπτει στα πλεγματικά επίπεδα των εξεταζόμενων δοκιμίων και στη συνέχεια προσδιορίζεται η απόσταση μεταξύ πλεγματικών επιπέδων (d) που είναι μοναδικά για κάθε προσδιοριζόμενο ορυκτό. Μέσω της εξίσωσης Bragg γίνεται αντιληπτό το παρακάτω φαινόμενο (Χατζηαντωνιου, 2021):

$$n * \lambda = 2 * d * sin\theta$$

λ: μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

n: ακέραιος αριθμός που αντιπροσωπεύει την τάξη της ανάκλασης

d: η απόσταση μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων

θ: προσπίπτουσα γωνία της ακτινοβολίας

6.2.1 Εφαρμογή της μεθόδου Ορυκτολογικής Ανάλυσης XRD

Κατόπιν της προπαρασκευής των δειγμάτων οι δειγματοφορείς τοποθετούνται στο μηχάνημα περιθλασιμετρίας Bruker AXS D8 ADVANCE XRD για την επίτευξη της διαδικασίας .

Το περιθλασίμετρο αποτελείται από (Χ.Τάλαρου, 2021) :

• μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης (μια γεννήτρια)

• λυχνία ακτινών-Χ (οι ακτίνες-Χ παράγονται σε σωλήνες υψηλού κενού)

• γωνιόμετρο (βρίσκεται πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ακτίνες-Χ)

• απαριθμητής ακτινών-Χ με τη μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων

• μονάδα μικροϋπολογιστή (αξιολογεί τα δεδομένα από την εξέταση του δείγματος).

Το μηχάνημα βασίζεται στη γεωμετρία Bragg-Brentano όπου προσφέρεται υψηλή διακριτικότητα και ανάλυση έντασης της ακτινοβολίας. Αρχικά το δείγμα τοποθετείται στην τράπεζα όπου προσπίπτει η ακτινοβολία. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το δείγμα με τη βοήθεια ανιχνευτή καταγράφεται σε Η/Υ και με το κατάλληλο λογισμικό δημιουργείται το διάγραμμα της έντασης σκεδαζόμενης ακτινοβολίας και γωνίας 2θ (Ζ. Χατζηαντωνίου, 2021).

Εικόνα 6.4 Περιθλασίμετρο Bruker AXS D8 ADVANCE XRD

6.2.3 Αποτελέσματα

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα των ακτινοδιαγραμμάτων. Η ερμηνεία τους κρίνεται αρκετά σημαντική διότι δίνουν μια ξεκάθαρη εικόνα της ορυκτολογικής σύστασης του πετρώματος με αποτέλεσμα συντελούν στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Η περιεκτικότητα των διαφόρων ορυκτών είναι ποσοστιαία. (Πίν.6.1)

Δείγματα	**1-1**	**2-1**	**2-3**	**3-2**	**3-3**	**4-1**	**5-2**	**6-1**	**7-3**	**8-2**	**8-3**	**9-2**	**10-1**	**10-2**
Ασβεστίτης (CaCO3)	86.6	-	94.8	95.4	-	-	-	88	-	-	-	-	-	96
Μαγνησιούχος Ασβεστίτης (Ca0.9Mg0.1CO3)	7.4	89.5	-	-	74.7	77.6	63.7	-	71.8	80.5	89.2	79.7	88.2	-
Χαλαζίας (SiO2)	1.6	3	1.3	1	4	3.6	6.1	1.9	4.6	4.3	2.6	6	3.1	1
Αραγωνίτης (CaCO3)	3.5	4.7	3.5	2.8	11.7	11.8	12.6	6.8	19.3	13.3	6.8	12.7	6.6	2.4
Δολομίτης (CaMg[CO3]2	1	1.4	0.4	0.8	3.4	7.1	17.5	3.2	4.3	1.9	1.4	1.6	2.1	0.5
Αλίτης(NaCl)	-	1.4	-	-	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 6.1 : Ποσοστιαία ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ

- **Δείγματα Ομάδας SE1**: Το δείγμα της Ομάδας SE1 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη (CaCO3) 86.6%, σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 7.4% σε Χαλαζία (SiO2) 1.6% , Αραγωνίτη (CaCO3) 3.5% και σε Δολομίτη1%

- **Δείγματα Ομάδας SE2:** Το δείγμα της Ομάδας **SE2.1** εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3)89.5% , σε Χαλαζία (SiO2) 3% , Αραγωνίτη (CaCO3) 4.7% και σε Δολομίτη1.4% και Αλίτη 1.4% ενώ το δείγμα **SE2.3** σε Ασβεστίτη (CaCO3) 94.8%, σε σε Χαλαζία (SiO2) 1.3% , Αραγωνίτη (CaCO3) 3.5% και σε Δολομίτη0.4%

- **Δείγματα Ομάδας SE3**: Το δείγμα της Ομάδας **SE3.2** εμφανίζει περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη (CaCO3) 95.4% σε Χαλαζία (SiO2) 1% , Αραγωνίτη (CaCO3) 2.8% και σε Δολομίτη 0.8% ενώ στο δείγμα **SE3.3** εμφανίζεται περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 74.7% σε Χαλαζία (SiO2) 4% , Αραγωνίτη (CaCO3) 11.7% και σε Δολομίτη3.4%

- **Δείγματα Ομάδας SE4:** Το δείγμα της Ομάδας SE4 εμφανίζει περιεκτικότητα σε σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3)77.6% , σε Χαλαζία (SiO2) 3.6% , Αραγωνίτη (CaCO3) 11.8 % και σε Δολομίτη 7.1%.

- **Δείγματα Ομάδας SE5:** Το δείγμα της Ομάδας SE5 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 63.7% σε Χαλαζία (SiO2) 6% , Αραγωνίτη (CaCO3) 12.6% και σε Δολομίτη 17.5%

- **Δείγματα Ομάδας SE6:** Το δείγμα της Ομάδας SE6 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη (CaCO3) 88%, σε Χαλαζία (SiO2) 1.9% , Αραγωνίτη (CaCO3) 6.8% και σε Δολομίτη 3.2%

- **Δείγματα Ομάδας SE7:** Το δείγμα της Ομάδας SE7 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 71.8% σε Χαλαζία (SiO2) 4.6% , Αραγωνίτη (CaCO3) 19.3% και σε Δολομίτη 4.3%

- **Δείγματα Ομάδας SE8: :** Το δείγμα SE8.2 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 80.5% σε Χαλαζία (SiO2) 4.3% σε, Αραγωνίτη (CaCO3) 13.3% και σε Δολομίτη 1.9% ενώ το δείγμα SE8.3 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 89.2% σε Χαλαζία (SiO2) 2.6% σε, Αραγωνίτη (CaCO3) 6.8% και σε Δολομίτη 1.4%

- **Δείγματα Ομάδας SE9:** Το δείγμα της Ομάδας SE9 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 79.7% σε Χαλαζία (SiO2) 6% , Αραγωνίτη (CaCO3) 12.7% και σε Δολομίτη 1.6%

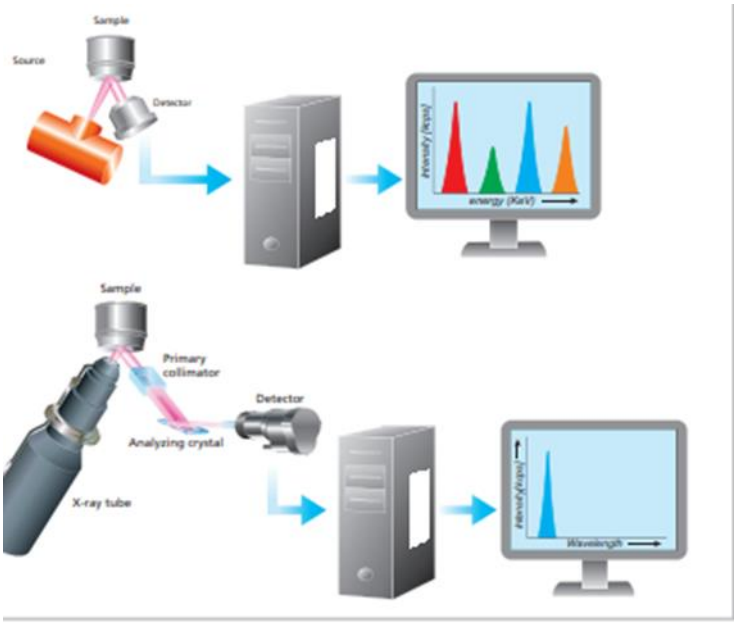
- **Δείγματα Ομάδας SE10:** Τα δείγμα **SE10.1** εμφανίζει περιεκτικότητα Το δείγμα SE8.2 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Ca0.9Mg0.1CO3) 88.2% σε Χαλαζία (SiO2) 3.1% σε, Αραγωνίτη (CaCO3) 6.6% και σε Δολομίτη 2.1% ενώ το δείγμα **SE10.3** εμφανίζει περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη (CaCO3) 96% σε Χαλαζία (SiO2) 1% , Αραγωνίτη (CaCO3) 2.4% και σε Δολομίτη 0.5%

6.3 Μέθοδος XRF

Το XRF είναι αναλυτική μέθοδος προσδιορισμού χημικής σύστασης για κάθε είδος υλικού. Τα υλικά μπορεί να είναι στερεά, υγρά, σκόνη, φιλτραρισμένα καθώς και οποιαδήποτε άλλη μορφή. Επιπρόσθετα με το XRF μπορεί να προσδιοριστεί το πάχος της σύνθεσης των στρωμάτων. Η μέθοδος είναι γρήγορη, ακριβής και μη καταστροφική, ενώ συνήθως απαιτείται ελάχιστος χρόνος για την προετοιμασία δειγμάτων. Έχει ευρεία εφαρμογή σε βιομηχανίες μετάλλων, τσιμέντου, πετρελαίου, πολυμερή υλικών και τροφίμων καθώς και στην εξόρυξη, στην ορυκτολογία, στη γεωλογία και στην περιβαλλοντική ανάλυση νερού και αποβλήτων. Τα φασματόμετρα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: energy dispersive systems (EDXRF) και wavelength dispersive systems (WDXRF). Στο EDXRF το φάσμα στοιχείων που καλύπτεται είναι από νάτριο (Na) μέχρι ουράνιο (U) ενώ για το WDXRF το φάσμα είναι ακόμη μεγαλύτερο από το βηρύλλιο (Be) μέχρι ουράνιο (U). Το εύρος συγκεντρώσεων που μπορεί να καλύψει είναι από πολύ μικρά ποσοστά μέχρι και εκείνα που φτάνουν στο 100%. Γενικότερα τα στοιχεία με μεγαλύτερο ατομικό αριθμό έχουν καλύτερα όρια ανίχνευσης από τα στοιχεία που έχουν μικρότερο ατομικό αριθμό. Η ακρίβεια και η αναπαραγωγικότητα του XRF είναι αρκετά υψηλή. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη όταν διατίθενται πρότυπα δείγματα αλλά ακόμα και σε εφαρμογές όπου δεν υφίστανται ειδικά πρότυπα.

6.3.1 Φασματόμετρα XRF

Η βασική διάταξη για όλα τα φασματόμετρα αποτελείται από μία πηγή, το δείγμα και ένα σύστημα ανίχνευσης. Η πηγή ακτινοβολεί στο δείγμα και ο ανιχνευτής μετρά την ακτινοβολία από όπου προήλθε από το δείγμα. Στο φασματόμετρο EDXRF εμπεριέχεται ένας ανιχνευτής ικανός να υπολογίσει διαφορετικές τιμές ενέργειας της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας που έρχεται απευθείας από το δείγμα. Ο ανιχνευτής μπορεί να χωρίσει την ακτινοβολία από το δείγμα σε ακτινοβολία των στοιχείων στο δείγμα. Ο διαχωρισμός αυτός ονομάζεται διασπορά. Το φασματόμετρο WDXRF χρησιμοποιεί έναν κρύσταλλο ανάλυσης για να διαδώσει τις διάφορες πηγές ενέργειας. Η ακτινοβολία έρχεται από το δείγμα και προσπίπτει στον κρύσταλλο. Ο κρύσταλλος περιθλά την ενέργεια σε διάφορες κατευθύνσεις όπως ένα πρίσμα που διαχέει διαφορετικά χρώματα σε διαφορετικές κατευθύνσεις.



Εικόνα 6.6**:** Διάταξη EDXRF και WDXRF

6.3.2 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα φασματοσκοπίας φθορισμού ακτινών -Χ δείχνουν πως τα δείγματα είναι ασβεστιτικής σύστασης εφόσον το επικρατέστερο χημικό στοιχείο είναι το ασβέστιο με μέση συγκέντρωση CaO 55% . Δευτερευόντως τα στοιχεία που περιέχονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις είναι το οξείδιο μαγνησίου (Mg) εμφανίζοντας τιμές 0.9% -2.8% ,το οξείδιο πυριτίου (Si) 0.7% - 1.7% το οξείδιο αργιλίου (Al) 0.14% - 0.42% και το οξείδιο του νατρίου (Na) 0.7% -1.9%.

Τα ιχνοστοιχεία τα οποία συντελούν στην τελική σύσταση των δειγμάτων , απαντώνται σε μικρές συγκεντρώσεις και εκφράζονται σε ppm, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις εξ αυτών να καταλαμβάνονται από το χλώριο (Cl) ,το σίδηρο (Fe), το θείο (S) και το στρούντιο (Sr).

Concetracion %							
Symbol	Elements	SE1.1	SE2.1	SE2.3	SE3.2	SE3.3	SE4.1
Na2O	Sodium	0.82	0.77	0.93	1,25	1,98	1,22
MgO	Magnesium	2,8	1,15	0.91	0.99	1,13	1,26
Al2O3	Aluminum	0.31	0.27	0.22	0.20	0.14	0.42
SiO2	Silicon	1,70	1,34	1,16	0.84	0.74	1,10
P2O5	Phosphorus	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
SO3	Sulfur	0.18	0.06	0.10	0.15	0.16	0.16
Cl	Chlorine	0.01	0.04	0.09	0.17	0.51	0.16
CaO	Calcium	**55.62**	**56.98**	**57.81**	**57.00**	**56.34**	**56.64**
Fe2O3	Iron	0.11	0.09	0.13	0.06	0.05	0.15
SrO	Strontium	0.09	0.05	0.06	0.08	0.12	0.10

Πίνακας 6.2 : Ποσοτική κατανομή κύριων στοιχείων με τη μέθοδο EDXRF

Concentracion %									
Symbol	Elements	SE5.2	SE6.1	SE7.3	SE8.2	SE8.3	SE9.2	SE10.1	SE10.3
Na2O	Sodium	0.84	0.91	0.88	0.93	0.85	0.83	0.78	0.79
MgO	Magnesium	2,67	1,66	1,92	0.81	0.87	1,20	1,02	1,02
Al2O3	Aluminum	0.41	0.31	0.33	0.34	0.25	0.20	0.20	0.15
SiO2	Silicon	1,28	0.93	0.88	1,03	0.99	0.82	0.91	0.80
P2O5	Phosphorus	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05
SO3	Sulfur	0.27	0.16	0.19	0.10	0.07	0.14	0.07	0.08
Cl	Chlorine	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
CaO	Calcium	**54.86**	**56.16**	**55.87**	**56.76**	**57.84**	**57.00**	**57.22**	**57.48**
Fe2O3	Iron	0.13	0.06	0.07	0.10	0.09	0.00	0.09	0.07
SrO	Strontium	0.11	0.11	0.10	0.10	0.06	0.17	0.06	0.06

Πίνακας 6.3 : Ποσοτική κατανομή κύριων στοιχείων με τη μέθοδο EDXRF

Trace ppm							
Symbol	Elements	SE1.1	SE2.1	SE2.3	SE3.2	SE3.3	SE4.1
P	Phosphorus	243	165	169	175	201	212
S	Sulfur	738	237	398	612	622	632
Cl	Chlorine	148	364	892	1686	1.000	1553
Ti	Titanium	30	30	48	0	35	54
V	Vanadium	43	44	42	45	0	45
Mn	Manganese	41	36	33	41	42	44
Fe	Iron	790	602	937	445	369	1071
Br	Bromine	6	6	11	20	37	14
Sr	Strontium	751	460	533	681	983	877
Y	Yttrium	5	7	7	6	6	5
Pb	Lead	7	0	0	5	5	5

Πίνακας 6.5 : Αποτελέσματα συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων (ppm) XRF

Trace ppm									
Symbol	Elements	SE5.2	SE6.1	SE7.3	SE8.2	SE8.3	SE9.2	SE10.1	SE10.3
P	Phosphorus	234	216	223	212	223	181	222	225
S	Sulfur	1065	658	755	401	298	543	262	327
Cl	Chlorine	343	304	371	370	428	247	201	213
Ti	Titanium	66	52	36	40	26	49	42	51
V	Vanadium	47	45	45	46	42	0	45	48
Mn	Manganese	45	53	33	41	43	36	39	33
Fe	Iron	944	394	509	687	611	486	616	461
Br	Bromine	7	9	8	6	5	7	0	0
Sr	Strontium	960	921	871	822	479	1461	505	531
Y	Yttrium	5	5	0	6	7	7	6	7
Pb	Lead	0	6	0	0	0	0	5	0

Πίνακας 6.6 : Αποτελέσματα συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων (ppm) XRF

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα - Συζήτηση

7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Κρίσιμο στοιχείο σε μία μελέτη αποτελεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα στοιχεία που έχουν αποτυπωθεί στην σχετική βιβλιογραφία. Η αξιολόγηση των δεδομένων κάθε έρευνας , βασίζονται ακριβώς στην σύγκριση . Η διαφοροποίηση ωστόσο των συνθηκών και των επιμέρους στοιχείων που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε έρευνα δημιουργεί σε πολλές περιπτώσεις τις συνθήκες για την απόδοση της πραγματικότητας με πιο αντικειμενικό τρόπο, χωρίς αυτό να αποκλείει και τις περιπτώσεις που τα αποτελέσματα μεταξύ αντίστοιχων ερευνών ταυτίζονται. Στη .παρούσα εργασία θα συγκριθούν οι μηχανικές ιδιότητες και το πορώδες με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από προγενέστερες εργασίες που είναι οι ακόλουθες :

- Μελέτη των δομικών λίθων του λιμενοβραχίονα Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης του» του κ. Γεωργίου Θ. Στεφανογιάννη (1995)
- Μελέτη φυσικών και χημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων των Νεωρίων Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης των, του κ. Δημήτριου Γ. Παππά (1996)
- Μελέτη Φυσικοχημικών ιδιοτήτων Δομικών Λίθων από ιστορικά λατομικούς χώρους του νομού Χανίων, του κ. Ζαφείρη Χατζηαντωνίου (2021)

Στην εν λόγω μελέτη πραγματοποιήθηκε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης για δέκα δείγματα (**SE1 – SE10**) . Στη μελέτη του κ. Γεωργίου Θ. Στεφανογιάννη (1995) μελετήθηκαν 6 δοκίμια εκ των οποίων τα 3 προέρχονται από το Λατομείο του Σταυρού (**S1-S3**) και 3 από το λατομείο των Αγίων Αποστόλων(**A1-A3)** . Αντίστοιχα στη μελέτη του κ. Δημήτριου Γ. Παππά (1996*)* πραγματοποιήθηκε η ίδια δοκιμή σε 4 δοκίμια τα οποία ελήφθησαν από το Λατομείο των Αγίων Αποστόλων (**AA1-AA4)**. Τέλος από την μελέτη του κ. Ζαφείρη Χατζηαντωνίου (2021) συλλέχθηκαν στην ανατολική πλευρά του Ενετικού λιμενοβραχίονα (κοντά στο Νεώριο Μόρο) και τέσσερα (4) στη δυτική πλευρά αυτού (εμπρός από τον Προμαχώνα Αγίου Νικολάου του Μώλου). Με βάση τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων από όλες τις παραπάνω μελέτες παρατηρούνται οι εξής διαφορές.

- Τα δείγματα του λατομείου Σταυρού παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής μονοαξονικής θλίψης $\bar{C}\mathbf{0} = \mathbf{10.63}(\boldsymbol{MPa})$ και μέση τιμή για το μέτρο ελαστικότητας $\bar{E} = \mathbf{7.62}(\boldsymbol{GPa})$.
- Τα δείγματα του λατομείου Αγίων Αποστόλων παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής μονοαξονικής θλίψης $\bar{C}\mathbf{0} = \mathbf{11.09}(\boldsymbol{MPa})$ και μέση τιμή για το μέτρο ελαστικότητας $\bar{E} = 7.07(\boldsymbol{GPa})$
- Τα δείγματα του λιμενοβραχίωνα Χανίων παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής μονοαξονικής θλίψης $\bar{C}\mathbf{0} = \mathbf{4.85}(\boldsymbol{MPa})$ και μέση τιμή για το μέτρο ελαστικότητας $\bar{E} = 1.33(\boldsymbol{GPa})$

Στη παρούσα μελέτη παρουσιάζονται διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες για κάθε ομάδα δειγμάτων, πιο αναλυτικά

- Ομάδα SE1: $\bar{C}0$ = 40.02 (MPa) , $\bar{E}$ =18,32 (GPa)
- Ομάδα SE2 : $\bar{C}0$ = 13.97 (MPa) , $\bar{E}$ =2.38(GPa)
- Ομάδα SE3 : $\bar{C}0$ =7.35 (MPa) , $\bar{E}$ = 6.10 (GPa)
- Ομάδα SE4 : $\bar{C}0$ = 17.52(MPa) , $\bar{E}$ = 14.89 (GPa)
- Ομάδα SE5 : $\bar{C}0$ = 43.97 (MPa) , $\bar{E}$ = 32.19 (GPa)
- Ομάδα SE6 : $\bar{C}0$ = 20.13 (MPa) , $\bar{E}$ = 14.12 (GPa)
- Ομάδα SE7 : $\bar{C}0$ = 50.28(MPa) , $\bar{E}$ = 32.21 (GPa)
- Ομάδα SE8 : $\bar{C}0$ = 6.71(MPa) , $\bar{E}$ = 4.77(GPa)
- Ομάδα SE9 : $\bar{C}0$ = 11.88(MPa) , $\bar{E}$ = 7.56(GPa)
- Ομάδα SE10 : $\bar{C}0$ = 15.52(MPa) , $\bar{E}$ = 11.61 (GPa)

Αρχαία Λατομεία Χανίων	Δείγματα	σmax(Mpa)	E(Gpa)	
Α.Αποστόλοι	A1	8.04	4.98	Στεφανογιάννης.Γ (1995)
	A2	10.09	9.30	
	A3	13.24	7.86	
Σταυρός , Ακρωτήρι	S1	8.56	6.07	
	S2	10.24	8.23	
	S3	13.60	9.31	
Α.Αποστόλοι	AA2	13.91	8.03	Παππάς. Δ(1996)
	AA3	11.2	5.63	
	AA4	10.96	6.13	
Λιμενοβραχίωνας Χανίων	L1	5.32	1.60	Χατζηαντωνίου. Ζ (2021)
	L2	5.03	1.36	
	L3	5.06	1.39	
	L4	2.85	1.11	
	L5	6.01	1.21	
Σταυρός , Ακρωτήρι	SE1	40.02	18.32	Λουφαρδάκη. Θ (2022)
	SE2	13.97	2.38	
	SE3	7.35	6.10	
	SE4	17.52	14.89	
	SE5	43.97	32.19	
	SE6	20.13	14.12	
	SE7	50.28	32.21	
	SE8	6.71	4.77	
	SE9	11.88	7.56	
	SE10	15.52	11.61	

Πίνακας 7.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων

7.1.1 Σύγκριση πορώδους

Επί των δειγμάτων που εξετάστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες υπολογίστηκε επίσης το πορώδες αυτών. Στην μελέτη του κ. Γεωργίου Θ. Στεφανογιάννη (1995) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 5 δοκίμια, στην μελέτη του κ. Ζαφείρη Χατζηαντωνίου (2021) σε 6 δοκίμια ενώ στη συγκεκριμένη μελέτη υπολογίστηκε το πορώδες σε 10 δοκίμια . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πιν.7.2).

Τοποθεσία	Δείγματα	φ %
Λιμενοβραχίωνας Χανίων	T3,T5,T7	35 -45%
	T9	15.17 %
	T6	12%
Λιμενοβραχίωνας Χανίων	L1	43%
	L3	29%
	L6	46%
	L2,L4,L5	45%
Αρχαίο Λατομείο Σταυρού(East)	SE2.2	56%
	SE3.2	41%
	SE4.1	16%
	SE5.1	21%
	SE6.1	38%
	SE6.2	26%
	SE7.1	19%
	SE7.2	9%
	SE8.2	38%
	SE9.2	34%

Στεφανογιάννης.Γ (1995)

Χατζηαντωνίου. Ζ (2021)

Λουφαρδάκη. Θ (2022)

Πίνακας 7.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας καταγραφής μετρήσεων για τον υπολογισμό πορώδους

7.1.2 Καταστροφικές και μη καταστροφικές μέθοδοι

Συγκεντρώνοντας τις τιμές της μονοαξονικής θλίψης με εκείνες των υπερήχων είναι εμφανής μια μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών. Το στατικό μέτρο ελαστικότητας είναι μεγαλύτερο από το δυναμικό πειραματικά. Οι μεγάλες αποκλίσεις οφείλονται στο σύνολο σφαλμάτων και των δύο δοκιμών .

Στην δοκιμή μονοαξονικής θλίψης τυχόν σφάλματα μπορούν να προκύψουν για τους εξής λόγους:

- Ραγδαία αύξηση φορτίου πρέσας
- Παράλειψη ορισμένων μετρήσεων(σημεία καμπύλης τάσεων)
- Μη παραλληλία βάσεων λόγω ανομοιογένειας υλικού

Για την μέθοδο των υπερήχων τα σφάλματα προκύπτουν για τους εξής λόγους :

- Κατά την καταγραφή μετρήσεων των επιφανειακών κυμάτων υπάρχει δυσκολία τοποθέτησης trancuders λόγω διατομής και μήκους δοκιμίου.
- Ανομοιογένεια υλικού (οπές, ασυνέχειες, ρωγμές)

Γίνεται κατανοητό ότι ποιο αξιόπιστα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν οι τιμές της μονοαξονικής θλίψης καθώς υπήρχε η δυνατότητα να γίνουν μετρήσεις σε τριάντα δοκίμια, τρία δοκίμια αντιστοιχούσαν για κάθε δείγμα. Αντίστοιχα για τη δοκιμή των υπερήχων έγινε καταγραφή μόνο για δώδεκα δοκίμια.

Συνεπώς προχωρώντας στα συμπεράσματα, από τις συγκρίσεις προκύπτει ότι οι τιμές αντοχής της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης δεν απέχουν με τις αντίστοιχες τιμές από τις προαναφερθείσες μελέτες, επιβεβαιώνεται δε ότι οι πωρόλιθοι των Χανίων έχουν μέση αντοχή 10 – 15 MPa. Πέραν όμως της αντοχής παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα στις τιμές του πορώδους ως επακόλουθο της σύγκρισης με το εύρος τιμών να είναι μεγάλο. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα του πορώδους στη παρούσα έρευνα ξεκινούν από 10% - 56% , ενώ οι τιμές για τις υπόλοιπες είναι 30% - 45% (Ζ.Χατζηαντωνίου, 2021) και 10% - 45 % (Γ.Στεφανογιάννης, 1995) αντίστοιχα. Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ότι το πορώδες των πετρωμάτων χαρακτηρίζεται πολύ καλό. Επιπροσθέτως αξίζει να σημειωθεί πως οι περισσότερες τιμές ταχύτητας διάδοσης για διαμήκη κύματα Vp(m/s) που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο υπερήχων κυμαίνονται μεταξύ 2000 m/s - 3085 m/s ταυτίζονται με εκείνες αντίστοιχης βιβλιογραφίας για παρόμοια ψαμμιτικά πετρώματα (Κούκης & Σαμπατάκης, 2002).

7.2 Συμπεράσματα

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα μετά την εκπόνηση των εργαστηριακών μεθόδων παρουσιάζεται η συνολική εικόνα των δειγμάτων στους παρακάτω πίνακες :

Δείγμα	**Co (MPa)**	**C1(MPa)**	**C2 (MPa)**	**E (GPa)**	**Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec^$^{1/2}$)**
SE1	40.01	58.01	41.3	18.32	43.3
Σχολιασμός					
Το δείγμα SE1 πρόκειται για πέτρωμα ασβεστιτικής σύστασης (με ασβεστίτη 86.6%). Το χρώμα είναι καστανοφαίο. Οι τιμές αντοχής είναι υψηλές λόγω συνεκτικότητας που πιθανώς να οφείλεται στη πλήρωση πόρων με υλικό ανθρακικής σύστασης. Μακροσκοπικά παρατηρείται κοκκομετρική ομοιογένεια, αισθητή είναι η παρουσία μικροεγκοίλων κατά μήκος των δοκιμίων τα οποία είναι καλά ταξινομημένα.					

Πίνακας 7.2.1: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE1.

Δείγμα	**Co (MPa)**	**C1(MPa)**	**C2 (MPa)**	**E (GPa)**	**φ %**	**Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec^$^{1/2}$)**
SE2	13.97	15.75	14	2.38	56	23.6
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE2 εμφανίζει περιεκτικότητα σε μαγνησιούχο ασβεστίτη 89.5% (δοκίμιο SE2.1) και ασβεστίτη 94.8% (δοκίμιο SE2.3). Για τον ακριβή προσδιορισμό του ορυκτού απαιτείται μικροανάλυση, σε κάθε περίπτωση το ορυκτό μπορεί να χαρακτηριστεί ασβεστίτης με χρώμα αχυρόχρωμο. Το πορώδες είναι πολύ καλό καθώς και η διαβάθμιση κόκκων και μικροεγκοίλων.						

Πίνακας 7.2.2: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE2.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης ($gr/m^2*sec^{\wedge 1/2}$)
SE3	7.35	8.20	7.29	6.10	41	72
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE3 πρόκειται για πέτρωμα ασβεστιτική σύστασης (δοκίμιο SE3.2 με ασβεστίτη 95.4% και δοκίμιο SE3.3 με μαγνησιούχο ασβεστίτη 75%) . Το χρώμα του είναι λευκοκίτρινο – αχυρόχρωμο και το πορώδες του πολύ καλό. Ανομοιόμορφη ταξινόμηση κόκκων και εμφανή η παρουσία αρκετών ανομοιογενών εγκοίλων.						

Πίνακας 7.2.3: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE3.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης ($gr/m^2*sec^{\wedge 1/2}$)
SE4	17.52	19.65	17.47	14.89	16	28.9
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE4 έχει ασβεστιτική σύσταση (περιεκτικότητα μαγνησιούχου ασβεστίτη 77.6%), χρώμα καστανοφαίο με πορτοκαλί τόνο. Παρουσιάζει μέσο πορώδες. Στο δείγμα δεν υπάρχει καλή ταξινόμηση κόκκων με αποτέλεσμα την ανομοιογένεια υλικού .						

Πίνακας 7.2.4: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE4.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %
SE5	43.97	50.26	44.68	32.19	21
Σχολιασμός					
Το δείγμα SE5 εμφανίζει περιεκτικότητα σε μαγνησιούχο ασβεστίτη 63.7%. Το χρώμα είναι σκούρο φαίο. Το πορώδες του δείγματος είναι καλό. Οι τιμές αντοχής είναι υψηλές λόγω συνεκτικότητας που πιθανώς να οφείλεται στη πλήρωση πόρων με υλικό ανθρακικής σύστασης ή/και την ύπαρξη ασβεστιτική κρούστας. Μακροσκοπικά παρουσιάζεται ανομοιογένεια κοκκομετρίας και μικροεγκοίλων. Επιπλέον παρατηρούνται διάκενα εκατέρωθεν των παράπλευρων επιφανειών στα δοκίμια.					

Πίνακας 7.2.5: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE5.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec$^{\wedge 1/2}$)
SE6	20.13	22.51	20.02	14.12	32	27.4
Σχολιασμός						
Το δείγμα της Ομάδας SE6 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη 88% . Το χρώμα είναι αχυρόχρωμο – λευκοκίτρινο και το πορώδες πολύ καλό. Φτωχή ταξινόμηση κόκκων. Εμφάνιση διάκενων και μικροεγκοίλων ανομοιογενώς ταξινομημένα.						

Πίνακας 7.2.6: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE6.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec$^{\wedge 1/2}$)
SE7	50.28	55.73	49.55	32.21	15	23.52
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE7 εμφανίζει περιεκτικότητα σε Μαγνησιούχο Ασβεστίτη 72% Το χρώμα είναι αχυρόχρωμο- λευκοκίτρινο με πορτοκαλί τόνο και παρατηρείται ανομοιόμορφη ταξινόμηση κόκκων. Το δείγμα είναι συμπαγές με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται τιμές αντοχής αρκετά υψηλές που πιθανώς να οφείλεται στη πλήρωση πόρων με υλικό ανθρακικής σύστασης.						

Πίνακας 7.2.7: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE7.

` Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec^$^{1/2}$)
SE8	6.71	7.55	6.71	4.77	38	43.54
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE8 είναι ασβεστιτικής σύστασης με περιεκτικότητα σε μαγνησιούχο ασβεστίτη 76%. Το χρώμα είναι καστανοφαίο με πορτοκαλί τόνο .Το πορώδες χαρακτηρίζεται πολύ καλό ενώ. στα δοκίμια δεν παρατηρείται ομοιογένεια στη διαβάθμιση κόκκων .Εμφάνιση εγκοίλων διαφορετικού μεγέθους και σχήματος.						

Πίνακας 7.2.8: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE8.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	φ %	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m^2*sec^$^{1/2}$)
SE9	11.88	13.3	11.8	7.56	34	25.72
Σχολιασμός						
Το δείγμα SE9 εμφανίζει ασβεστιτική σύσταση με περιεκτικότητα σε μαγνησιούχο ασβεστίτη 80% Το χρώμα είναι λευκοκάστανο. Τα δοκίμια της ομάδας είναι αδρόκοκκα παρουσιάζοντας έγκοιλα ανομοιογενώς κατανεμημένα.						

Πίνακας 7.2.9: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE9.

Δείγμα	Co (MPa)	C1(MPa)	C2 (MPa)	E (GPa)	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης (gr/m²*sec^1/2)
SE10	15.52	17.55	15.60	11.61	33.93
Σχολιασμός					
Το δείγμα SE10 εμφανίζει ασβεστιτική σύσταση (δοκίμιο SE10.1 με περιεκτικότητα σε μαγνησιούχο ασβεστίτη 88.2% και δοκίμιο SE10.2 με περιεκτικότητα σε ασβεστίτη 96%). Το χρώμα είναι λευκοκάστανο και τα δοκίμια είναι αδρόκοκκα. Παρουσιάζονται έγκοιλα ανομοιογενώς κατανεμημένα.					

Πίνακας 7.2.10: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος SE10.

Συνοψίζοντας τις παρατηρήσεις πεδίου καθώς και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, τα συμπεράσματα που προέκυψαν μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Οι δομικοί λίθοι από την ανατολική πλευρά του ιστορικού λατομικού χώρου του Σταυρού Ακρωτηρίου παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια προς την ορυκτολογική τους σύσταση.
- Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων περιλαμβάνει ασβεστίτη, ασβεστίτη με υψηλή περιεκτικότητα σε Mg και δευτερευόντως χαλαζία, αραγωνίτη, δολομίτη. Υπάρχουν δείγματα με αλίτη. Τα δείγματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως καθαροί ασβεστόλιθοι και μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι.
- Ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης προκύπτει ότι είναι συνάρτηση του πορώδους δηλαδή ο ρυθμός απορροφητικότητας του νερού σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος πόρων του πετρώματος.
- Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις τιμές αντοχής και μέτρου ελαστικότητας που κυμαίνονται από 6.71 MPa μέχρι 50.28 και 2.38 GPa – 32.21 GPa αντίστοιχα.
- Τα πορώδη έχουν εύρος τιμών από 9% - 56% με την πλειονότητα των δειγμάτων να παρουσιάζει τιμές 30% - 50%.
- Υπάρχει σύμπνοια μεταξύ των τιμών ταχύτητας διάδοσης κυμάτων εντός ψαμμιτικών πετρωμάτων όπως προκύπτει από βιβλιογραφικές πηγές και των υπό εξέταση ψαμμιτικών δειγμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- **Αγιουτάντης Ζ. (2010)**: Στοιχεία Γεωμηχανικής: Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις «ΙΩΝ», έκδ. 1η , σελ. 102-105, 255-264. .
- **Γιανναράκης Ι. (2018)**: Προσδιορισμός των Μηχανικών Χαρακτηριστικών και Μελέτη Υδαταπορροφητικότητας του Σκυροδέματος Ηλικίας 28 ημερών και 45 ετών με Καταστροφικές Μεθόδους και με την Μη Καταστροφική Μέθοδο των Υπερήχων, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Εφαρμοσμένη Μηχανική, Τομέας Μηχανικής, ΣΕΜΦΕ
- **Γιώτης Α. (2021):** Σημειώσεις μαθήματος Εκμετάλλευσης Ταμιευτήρων της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- **Δημητριάδου Π. (2018):** Έξυπνα υλικά νανοτεχνολογίας για την προστασία πορώλιθων, μαρμάρων, κονιαμάτων και τοιχογραφιών. Μεταπτυχιακή εργασία Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά
- **Καραγεωργίου Ε.Δ., Τσαϊλά – Μονόπωλη Σ., 1971:** Γεωλογικός χάρτης 1:50000, φύλλο Χανιά, Έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- **Καραγιάννης Ν., Καρόγλου Μ., Μπακόλας Α., Μοροπούλου Α (2015):** Επίδραση της θερμοκρασίας στον συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης ιστορικών και παραδοσιακών υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, , Αθήνα
- **Κουκουβού Α. (2010) :** Λατομεία πωρόλιθου στην περιοχή της αρχαίας Βέροιας για τη λατομία οικοδομικού λίθου στην αρχαιότητα. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας, Α.Π.Θ.
- **Λιονάκης Ε. (2011)** : Μελέτη Σύνθεσης Κονιαμάτων με Νανο - Υλικά και Ιπτάμενη Τέφρα Μεταπτυχιακή Διατριβή , Πολυτεχνείο Κρήτης , Χανιά.
- **Μανούτσογλου Ε. (2018):** Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, σελ. 55.
- **Μανωλιούδης Σ.Μ (2013):** Από τα αρχαία λατομεία στα μνημεία του πολιτισμού, Μυθικοί ήρωες και αινίγματα
- **Μαρινάκης Δ. (2021**): Σημειώσεις μαθήματος Εκμετάλλευσης Ταμιευτήρων της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ. κ.α. (1983**): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2η έκδοση, Αθήνα
- **Προβιδάκης Κ. (2021)**: Σημειώσεις μαθήματος Ενόργανη Παρακολούθηση Μνημειακών Κατασκευών Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- **Παπανακλής Σ.Θ. (2007) :** Προσδιορισμός Μηχανικών Παραμέτρων του βραχώδους υλικού και εφαρμογή αυτών στην εκτίμηση της αντοχής και παραμορφωσιμότητας της. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πάτρας

- **Τάλαρου Χ. (2021**): Εργαστηριακή διερεύνηση της επίδρασης της διαβρεξιμότητας του πετρώματος επί των καμπυλών σχετικών διαπερατοτήτων νερού-πετρελαίου σε πυρήνες υπόγειων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά
- **Τσιλιγκάκη Ε. (2014):** Τα αρχαία λατομεία της Κρήτης, Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης.
- **Φυτρολάκης Ν. (1980):** Η γεωλογική δομή της Κρήτης, Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π., 1980,σελ. 54-54
- **Χατζηαντωνίου Ζ. (2021)**: Μελέτη Φυσικοχημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων από ιστορικά Λατομικούς χώρους του νομού Χανίων, Διπλωματική Εργασία Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Διεθνής

- **Brower.P (2010)** : Theory of XRF: Getting acquainted with the principles, Netherlands, Panalytical B.V
- **Creutzburg, N. κ.α. (1977):** Γεωλογικός χάρτης 1:200.000, Νήσος Κρήτη, Έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- **Dornsiepen, U.F. & Manutsoglu, E. (1994)**: Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes. Z. dt. geol. Ges., p. 145, 286-303
- **Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre (1982):** A late Oligocene/early Miocene high-pressure belt in the external Hellenides, Geol. Jb., E23, p. 165-206.
- **Zamani, A. and H. Maroukian (1981):** A morphotectonic investigation in Northwestern Crete: The peninsula of Akrotiri. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl. Bd. 40: 151-164.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1: Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας

Παράρτημα 2: Φωτογραφίες δοκιμίων μονοαξονικής θλίψης

Παράρτημα 3: Φωτογραφίες δοκιμίων πορομετρίας – συντελεστή τριχοειδούς

Παράρτημα 4: Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων

Παράρτημα 5: Ακτινοδιαγράμματα με ημιποσοτικό προσδιορισμό ορυκτών

Παράτημα 6: Αποτελέσματα μεθόδου XRF

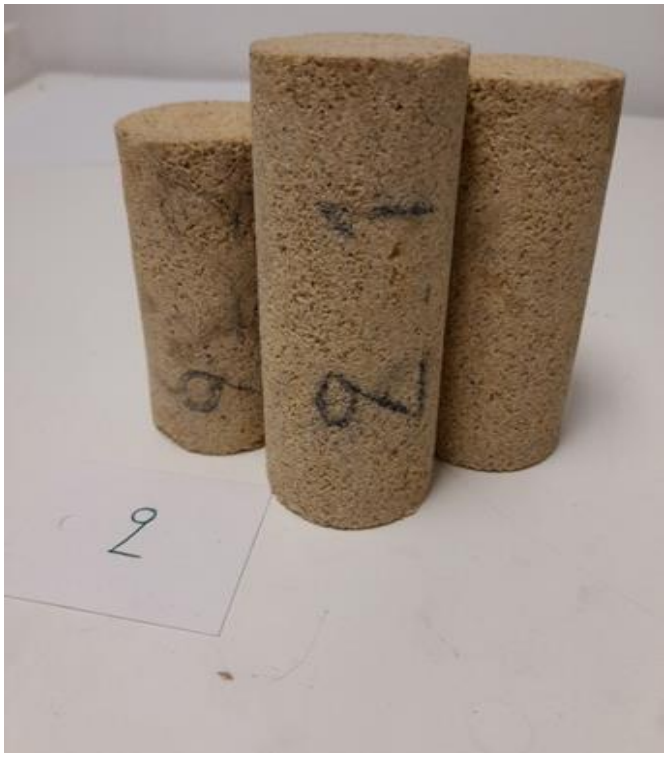
Παράρτημα 1 : Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας

(φωτογραφίες Μανούτσογλου, 2022)

Παράρτημα 2 : Φωτογραφίες δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν στις μεθοδολογίες μονοαξονικής θλίψης και υπερήχων

Ομάδα δειγμάτων SE1 (δοκίμια από δείγμα 1)

Ομάδα δειγμάτων SE2 (δοκίμια από δείγμα 2)

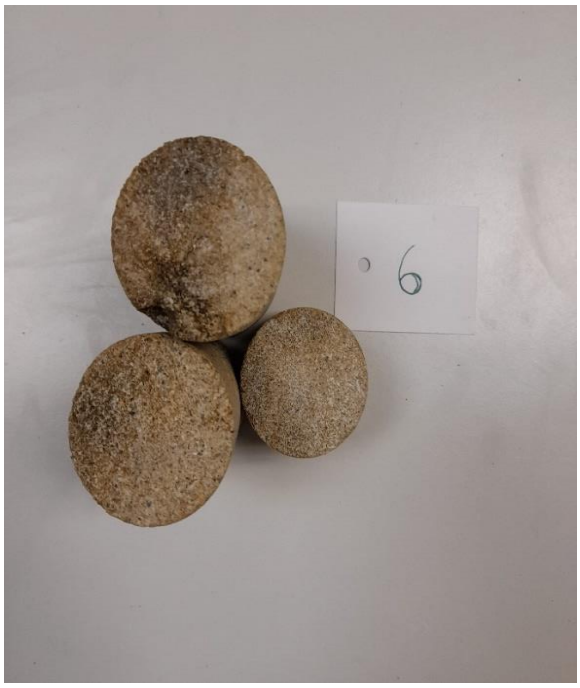


Ομάδα δειγμάτων SE3 (δοκίμια από δείγμα 3)

Ομάδα δειγμάτων SE4 (δοκίμια από δείγμα 4)

Ομάδα δειγμάτων SE5 (δοκίμια από δείγμα 5)

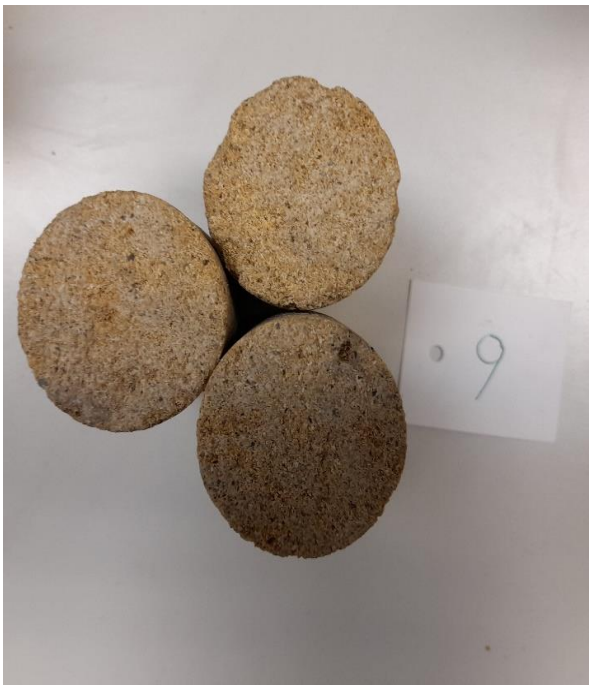
Ομάδα δειγμάτων SE6 (δοκίμια από δείγμα 6)

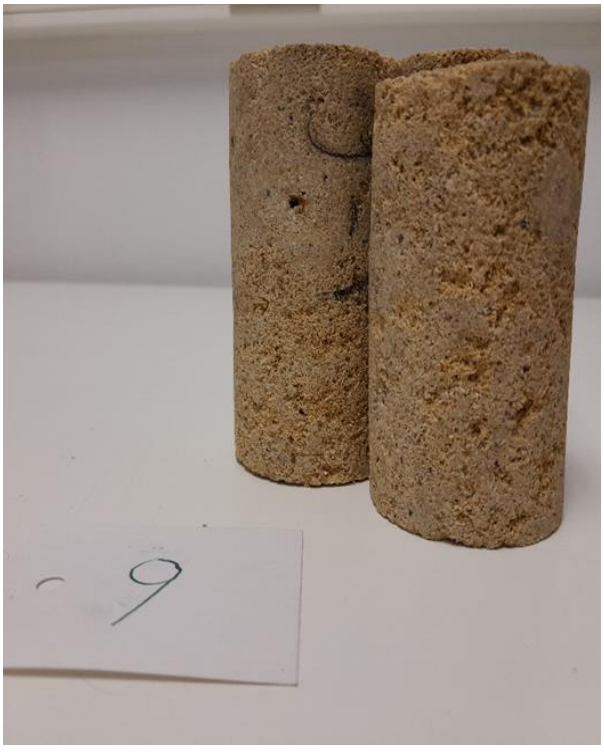


Ομάδα δειγμάτων SE7 (δοκίμια από δείγμα 7)

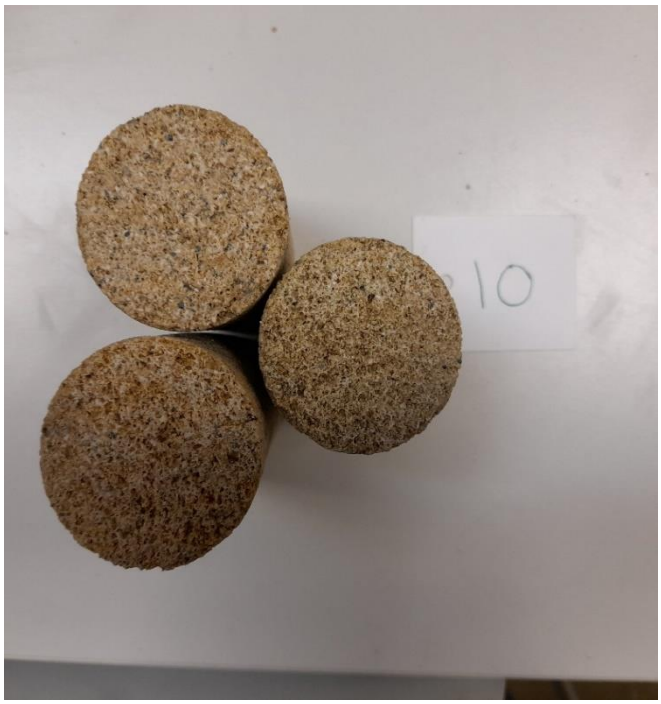
Ομάδα δειγμάτων SE8 (δοκίμια από δείγμα 8)

Ομάδα δειγμάτων SE9 (δοκίμια από δείγμα 9)



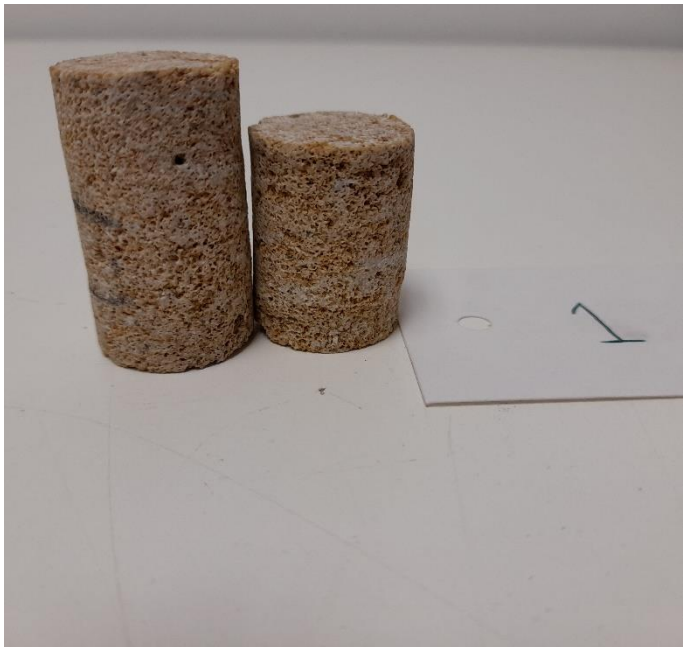


Ομάδα δειγμάτων SE10 (δοκίμια από δείγμα 10)

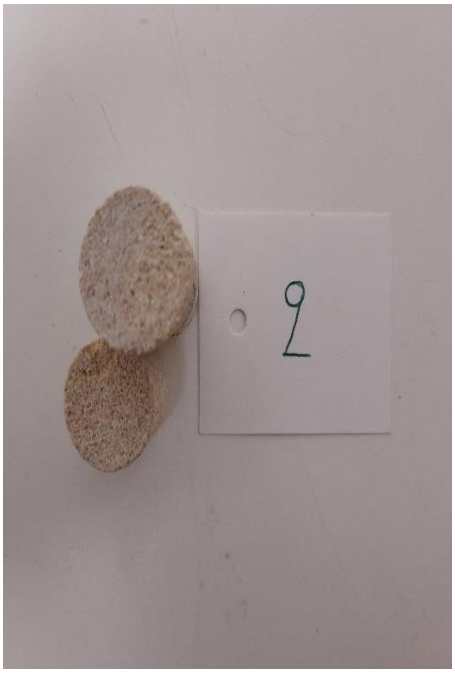


Παράρτημα 3: Φωτογραφίες Δοκιμίων ποροσιμετρίας – συντελεστή τριχοειδούς

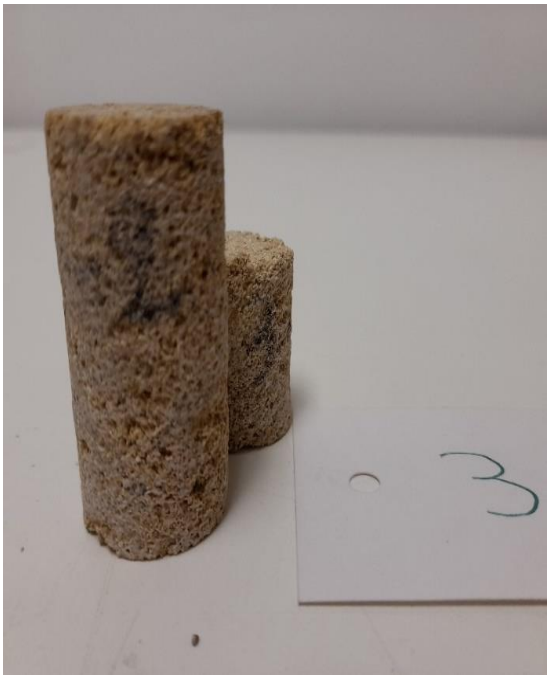
Ομάδα δειγμάτων SE1



Ομάδα δειγμάτων SE2



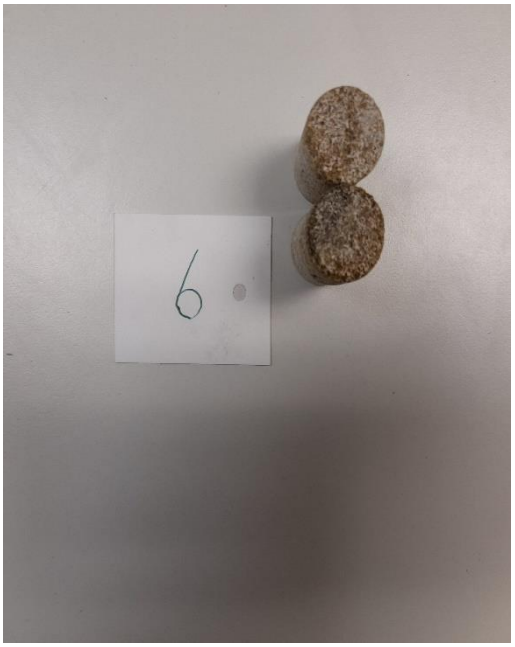
Ομάδα δειγμάτων SE3

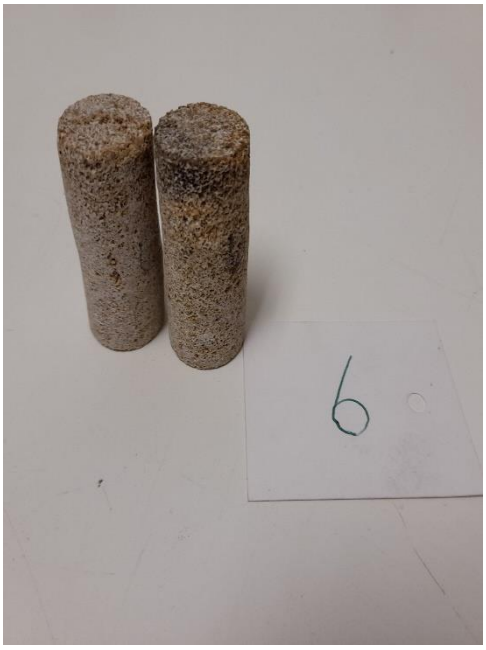


Ομάδα δειγμάτων SE4

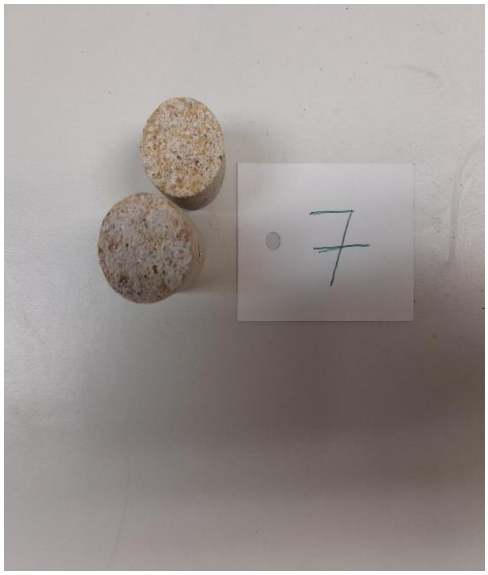
Ομάδα δειγμάτων SE5

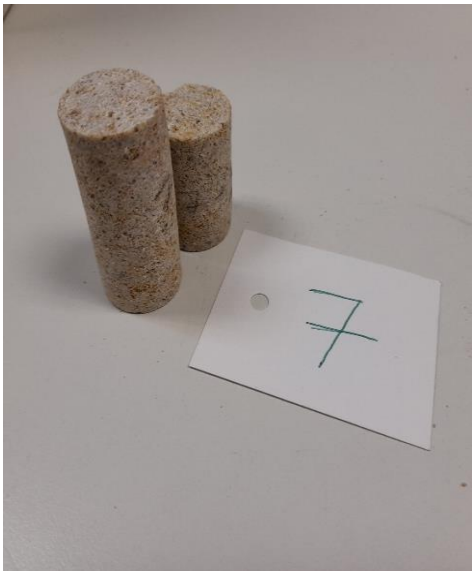
Ομάδα δειγμάτων SE6



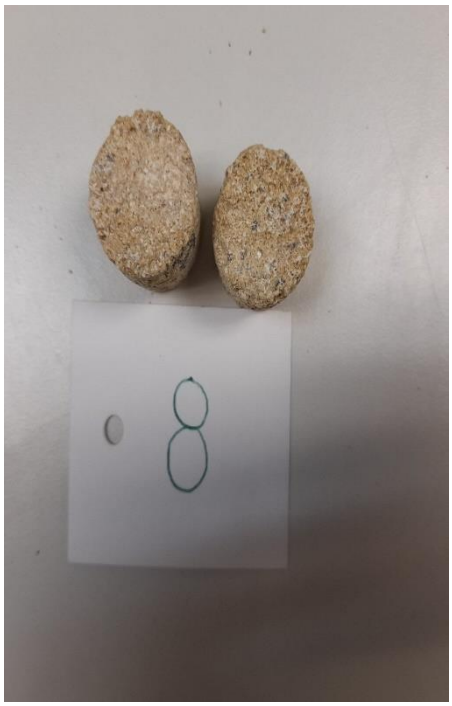


Ομάδα δειγμάτων SE7

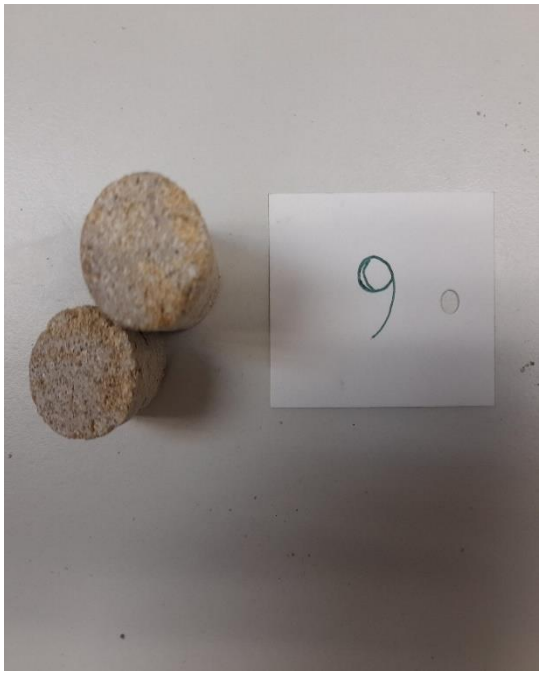




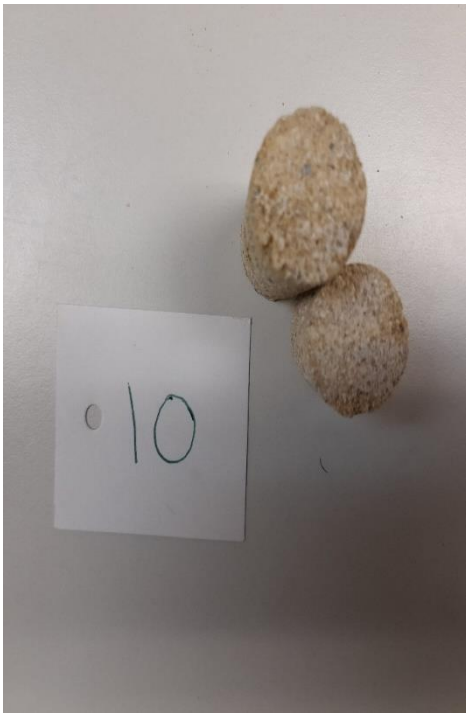
Ομάδα δειγμάτων SE8

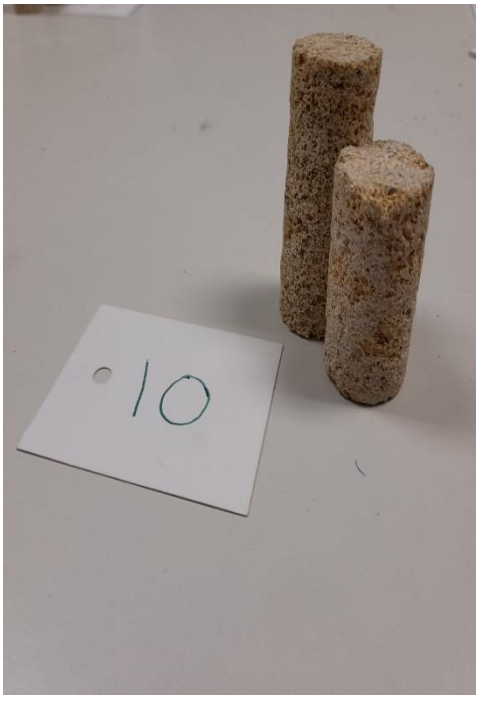


Ομάδα δειγμάτων SE9



Ομάδα δειγμάτων SE10

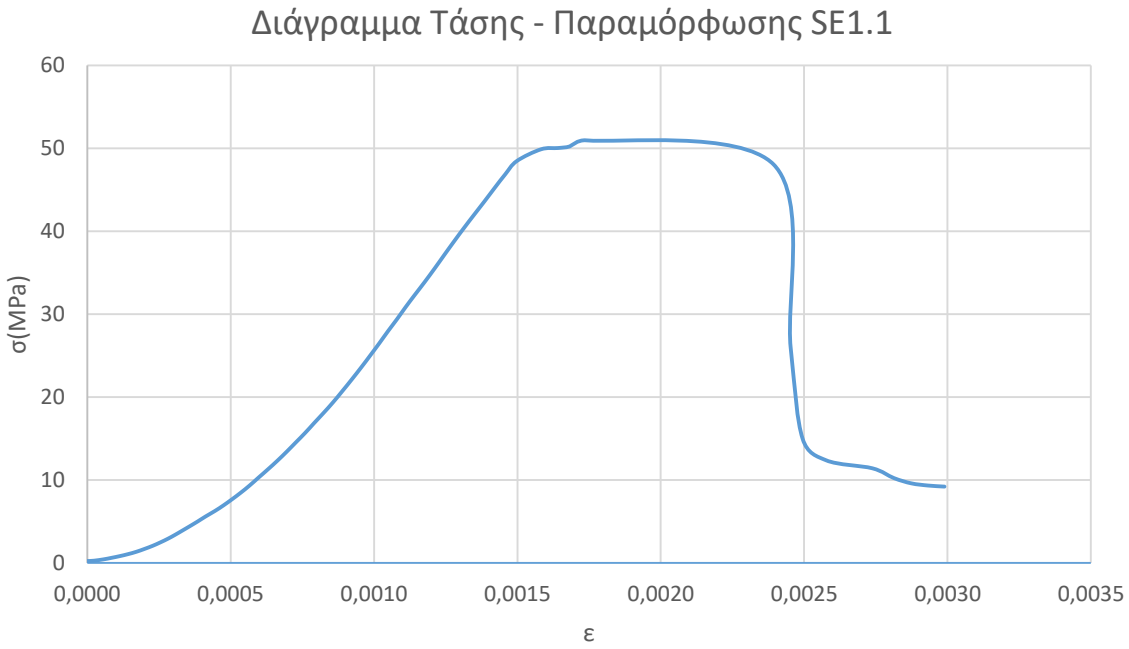




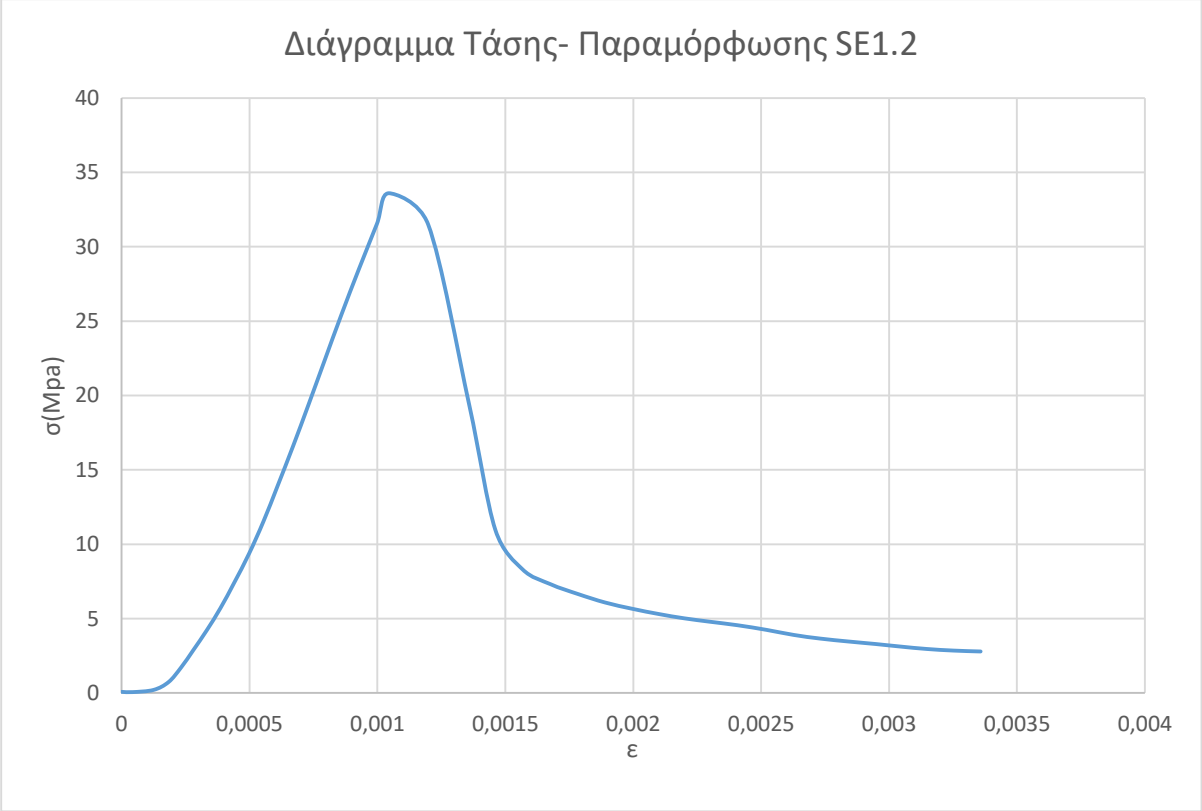
Παράρτημα 4 : Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων

Ομάδα δειγμάτων SE1

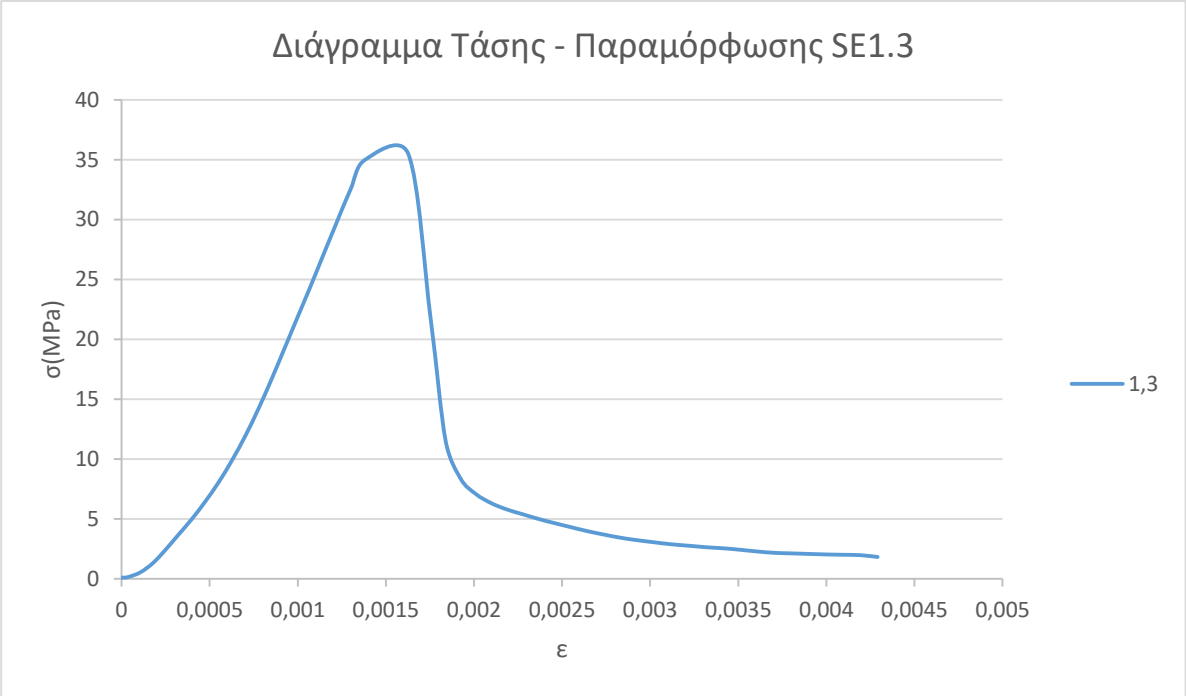
Δοκίμιο SE1.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,40	4,7	17,34	2,21	50,95	58,01	51,57	46,97
Σχόλια/Παρατηρήσεις : Οι άκρες στις βάσεις του δοκιμίου έχουν τραχιά μορφή .Έλλειψη μάζας στην άκρη μίας βάσης. Η απέναντι βάση καθώς και η παράπλευρη επιφάνεια είναι ομαλή και πλήρης.							



Δοκίμιο SE1.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
14,32	4,71	17.38	3,04	33,6	39,49	35,10	6,11
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει μακροπορώδες, οι άκρες των βάσεων και στις δύο πλευρές εμφανίζουν αιχμές λόγω θραύσης. Η παράπλευρη επιφάνεια είναι ομαλή.							

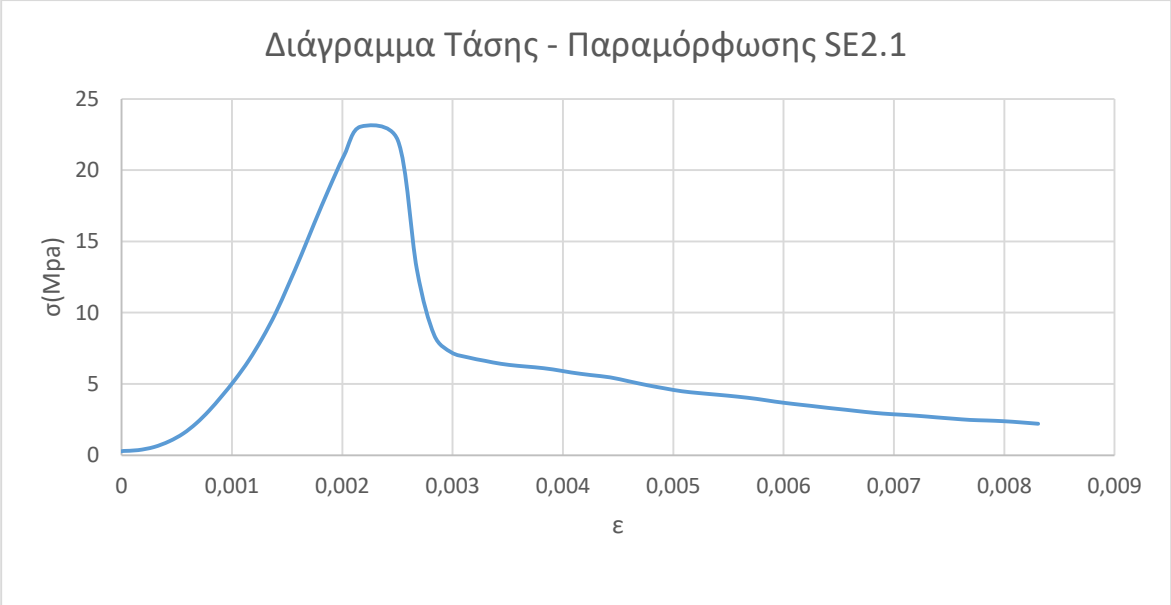


Δοκίμιο SE1.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
14,96	4,7	17,34	3,18	35,5	41,88	37,23	1,89
Σχόλια/Παρατηρήσεις : Όμοια χαρακτηριστικά με δοκίμιο SE1.2							



Ομάδα δειγμάτων SE2

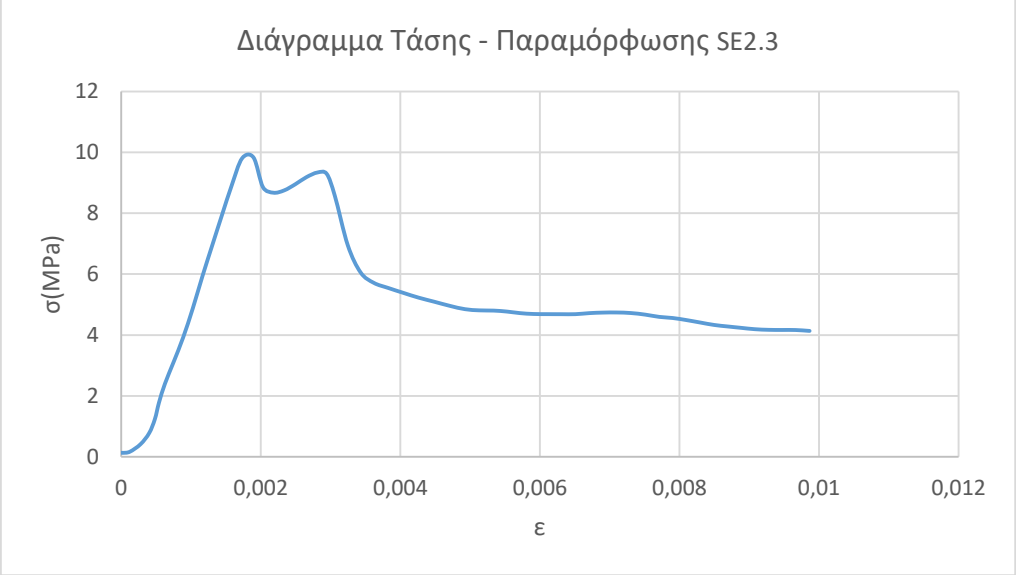
Δοκίμιο SE2.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,26	4,7	17,34	2,18	23,05	26,20	23,29	7,07
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Οι βάσεις είναι συμπαγείς και χωρίς απώλειες. Η παράπλευρη επιφάνεια του δοκιμίου είναι ομαλή σε ολόκληρη την έκταση του δοκιμίου.							



Δοκίμιο SE2.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,26	4,7	17,40	2,18	23,05	26,20	23,29	7,07

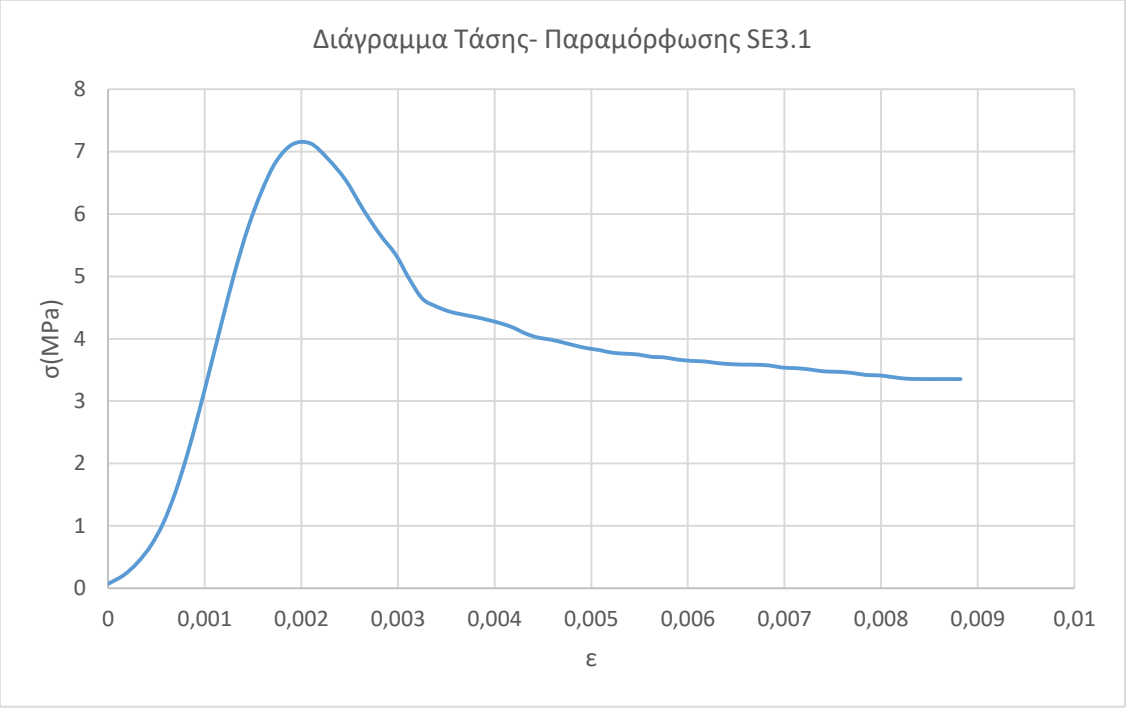
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με δοκίμιο SE2.2.

Δοκίμιο SE2.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,23	4,7	17,34	1,75	9,83	10,86	9,66	0,0017
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με SE2.1							

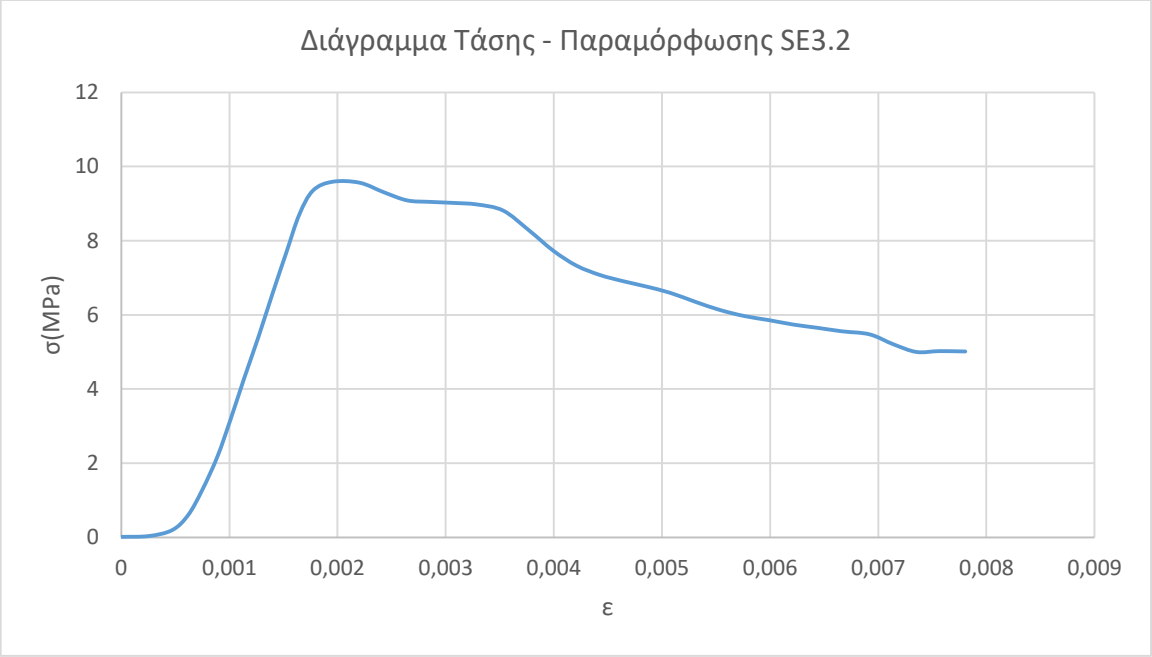


Ομάδα δειγμάτων SE3

Δοκίμιο SE3.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,35	4,7	17,34	2,20	7,13	8,11	7,21	3,58
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Οι βάσεις του δοκιμίου έχουν τραχιά μορφή και παρουσιάζουν αιχμές στις άκρες. Η παράπλευρη επιφάνεια είναι ομαλή πέραν μιας οπής κοντά στο κέντρο του δοκιμίου.							



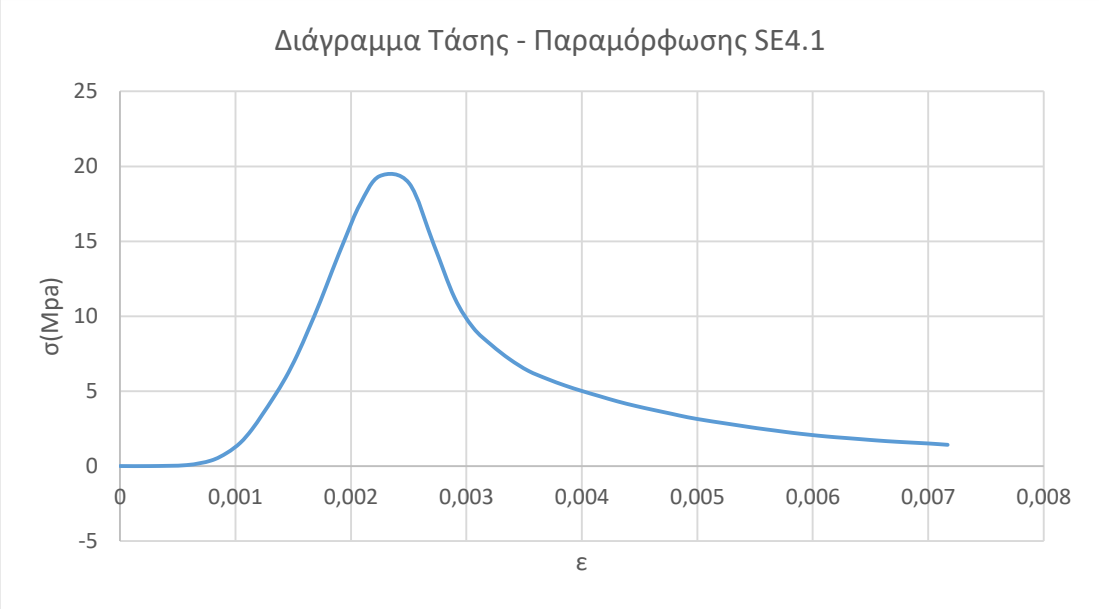
Δοκίμιο SE3.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
7,2	4,74	17,66	1,52	9,58	10,37	9,21	8,71
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με SE3.1. Οι παράπλευρες επιφάνειες είναι ομοιόμορφες.							



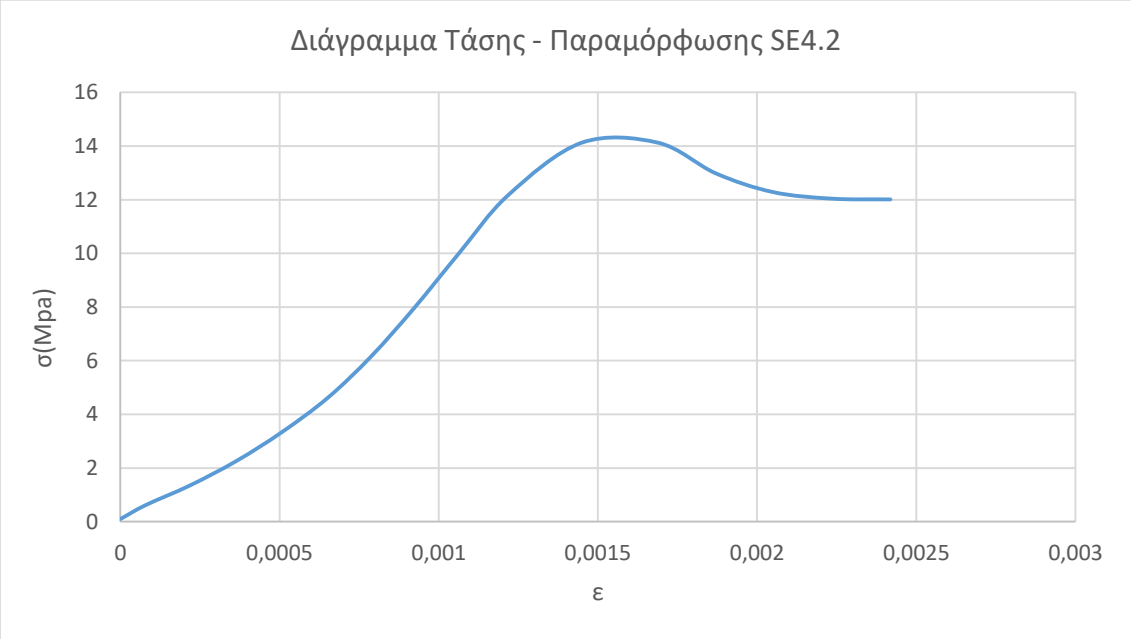
Δοκίμιο SE3.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
11,33	4,7	17,34	2,41	5,33	6,13	5,45	6,02
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια χαρακτηριστικά με SE3.1 , SE3.2. Α . Έλλειψη υλικού στο χείλος της μίας βάσης.							

Ομάδα δειγμάτων SE4

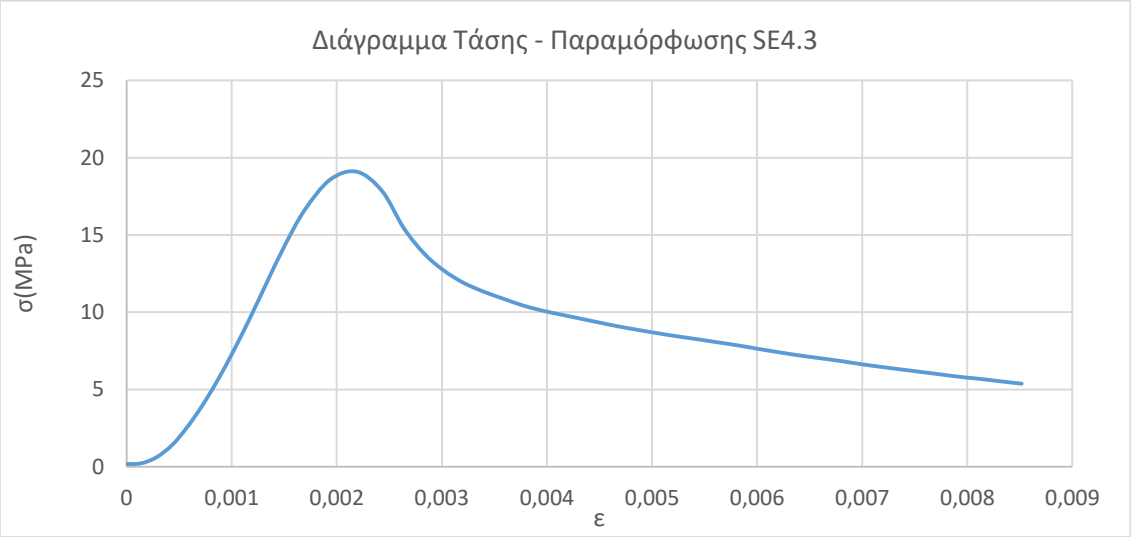
Δοκίμιο SE4.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,77	4,70	17,35	2,29	19,34	22,10	19,65	17,73
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Στη παράπλευρη επιφάνεια του δοκιμίου παρουσιάζεται ασυνέχεια ξεκινώντας από τη μία βάση μέχρι το ½ του ύψους του . Αισθητή είναι η έλλειψη μάζας σε αρκετά σημεία καθώς και στο χείλος της βάσης.							



Δοκίμιο SE4.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,75	4,74	17,61	1,85	14,12	15,72	13,98	13,45
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Οι βάσεις του δοκιμίου είναι πλήρεις, εμφανίζονται μικρές αιχμές περιμετρικά της βάσης. Οι παράπλευρες επιφάνειες δεν εμφανίζουν κάποια ιδιαιτερότητα.							

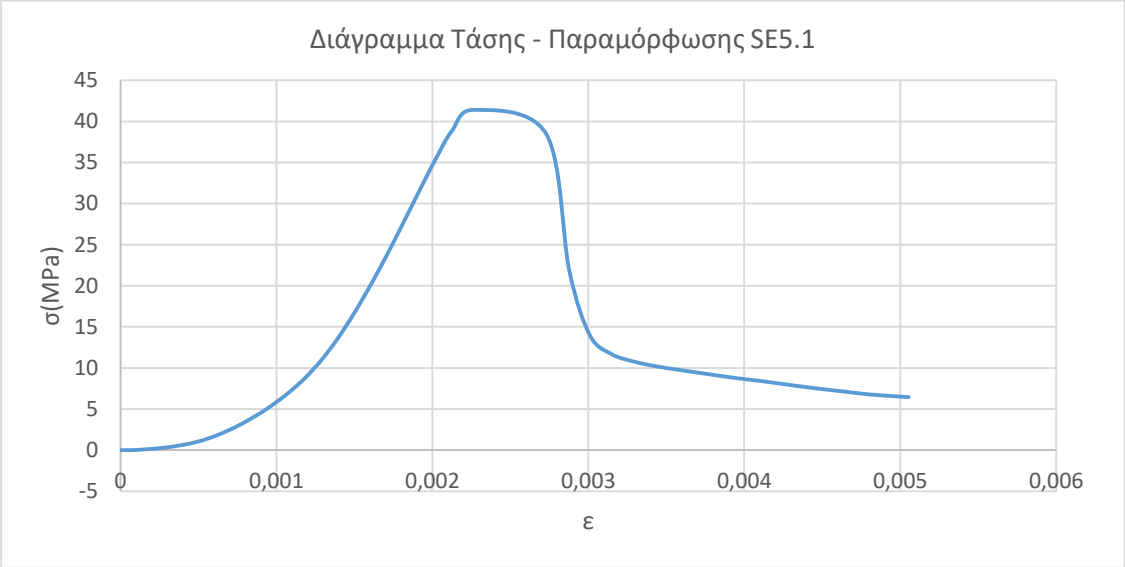


Δοκίμιο SE4.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,35	4,71	17,40	1,77	19,09	21,14	18,79	13,49
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει παραπλήσια χαρακτηριστικά με SE4.1.							

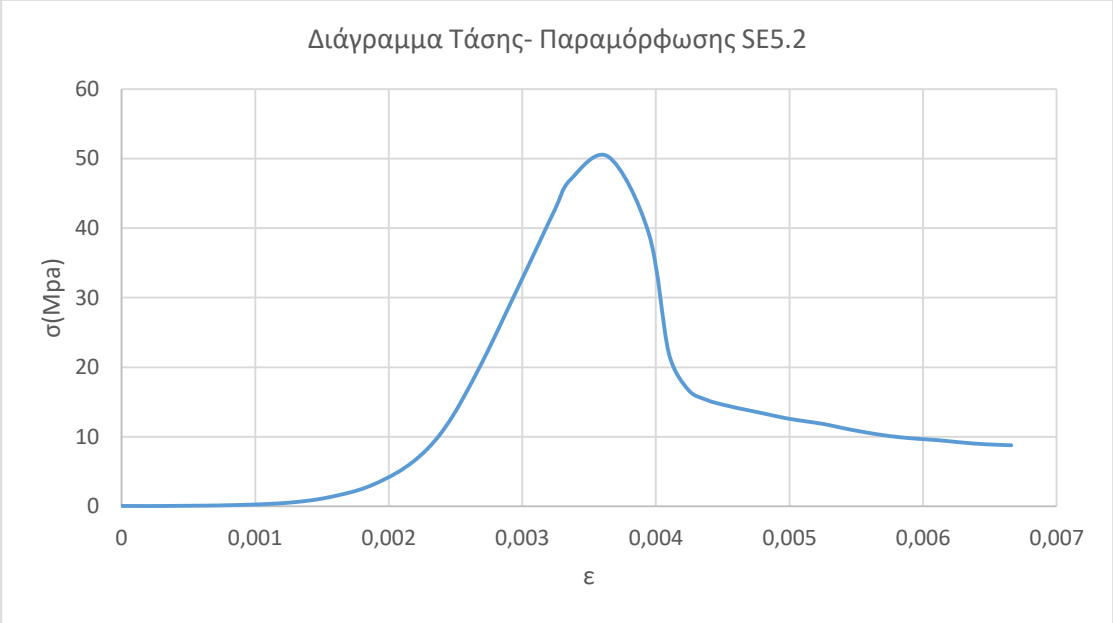


Ομάδα δειγμάτων SE5

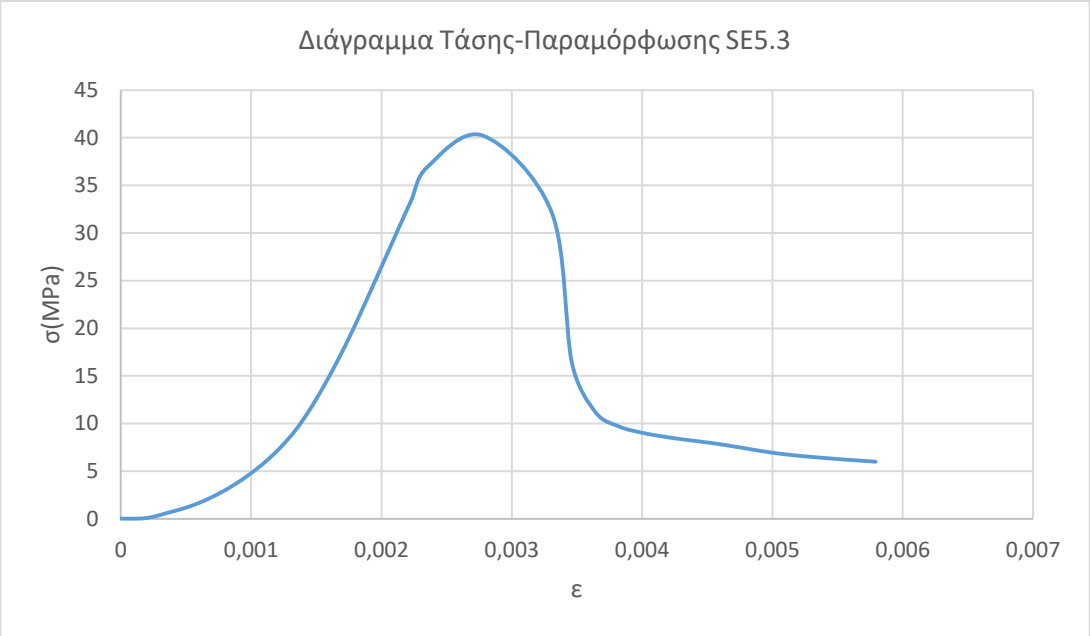
Δοκίμιο SE5.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
12,66	4,71	17,44	2,69	41,4	48,10	42,77	34,9
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Οι παράπλευρες επιφάνειες και οι βάσεις του δοκιμίου είναι ομαλές και πλήρης.							



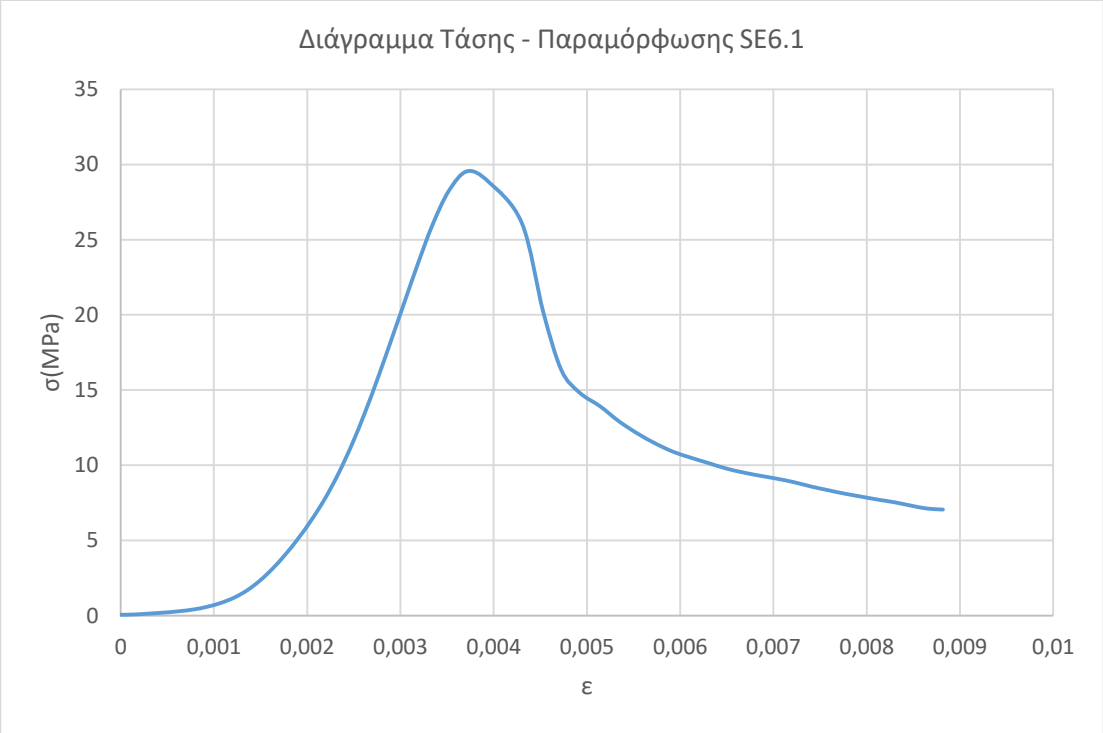
Δοκίμιο SE5.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,6	4,71	17,39	2,25	50,28	57,36	51	37,71
Σχόλια/Παρατηρήσεις : Οι βάσεις παρουσιάζουν παραπλήσια χαρακτηριστικά με το δοκίμιο SE5.1 ωστόσο εμφανίζονται μικρές οπές κατά μήκος της παράπλευρης επιφάνειες μία εξ αυτών βρίσκεται στο χείλος της μίας βάσης με αποτέλεσμα την ανομοιομορφία της.							



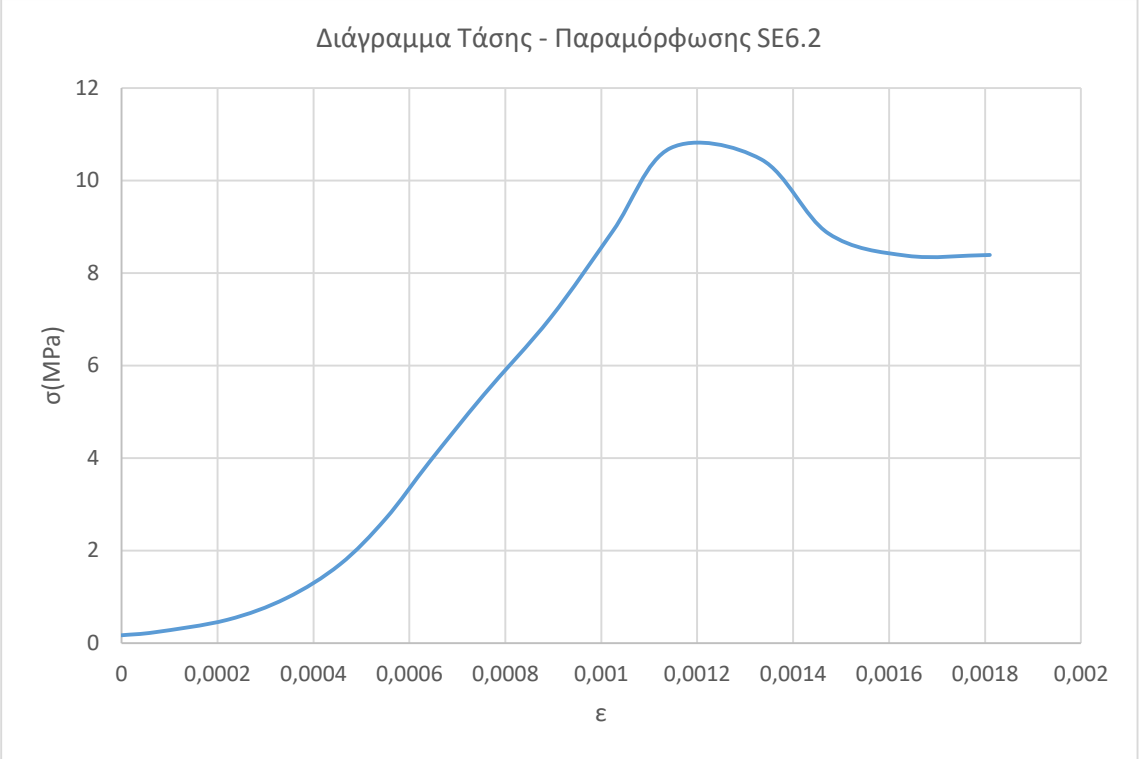
Δοκίμιο SE5.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,53	4,71	17,39	2,02	40,22	45,31	40,28	23,97
Σχόλια/Παρατηρήσεις : Το δοκίμιο παρουσιάζει χονδροπορώδες , και οι βάσεις του είναι ατελείς. Στη παράπλευρη επιφάνεια εμφανίζονται οπές κάποιες εκ των οποίων είναι εντονότερες κατά μήκος του δοκιμίου.							



Δοκίμιο SE6.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,32	4,74	17,61	1,97	29,55	33,17	29,49	15,18
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Στις παράπλευρες επιφάνειες παρουσιάζονται οπές και μικρή έλλειψη υλικού στο κέντρο . Στο χείλος της μίας βάσης είναι αισθητή η απώλεια μάζας . Ένα άλλο χαρακτηριστικό επιπλέον είναι η έξαρση μάζας στη βάση του δοκιμίου όπου δημιουργήθηκε κατά τη διαδικασία κοπής λόγω σκληρότητας του υλικού.							

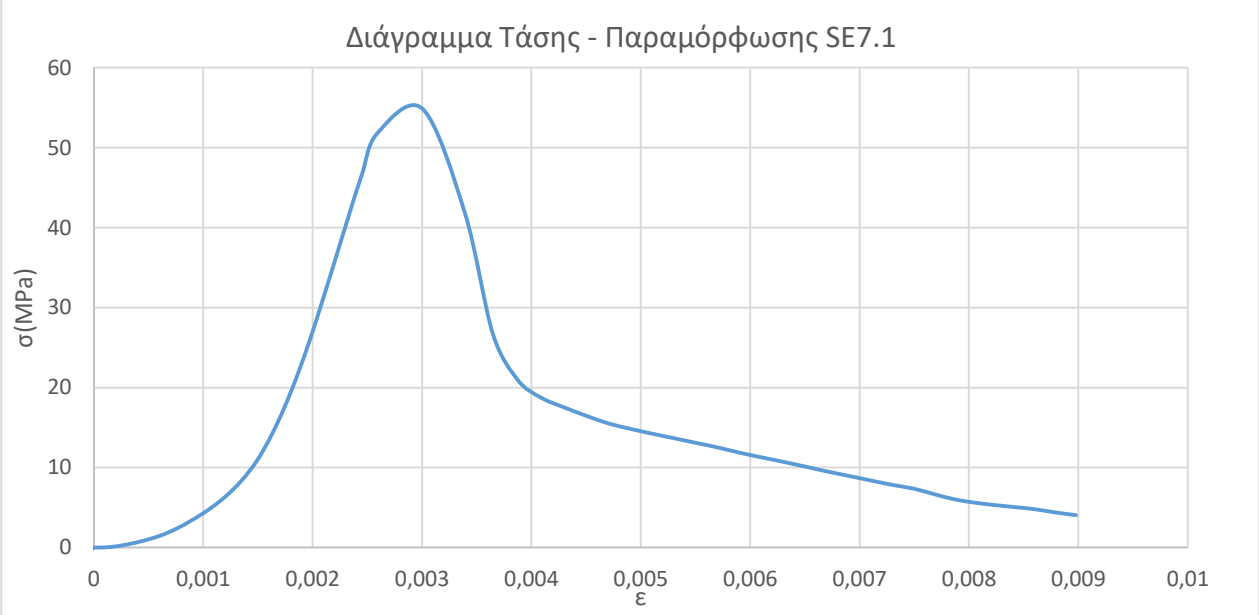


Δοκίμιο SE6.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,42	4,71	17,40	1,79	10,7	11,86	10,54	13,05
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Οι βάσεις του δοκιμίου φαίνονται πλήρεις με πολύ μικρές οπές στα άκρα. Η παράπλευρη επιφάνεια έχει τραχιά μορφή με αποτέλεσμα την ανομοιογένεια του υλικού.							

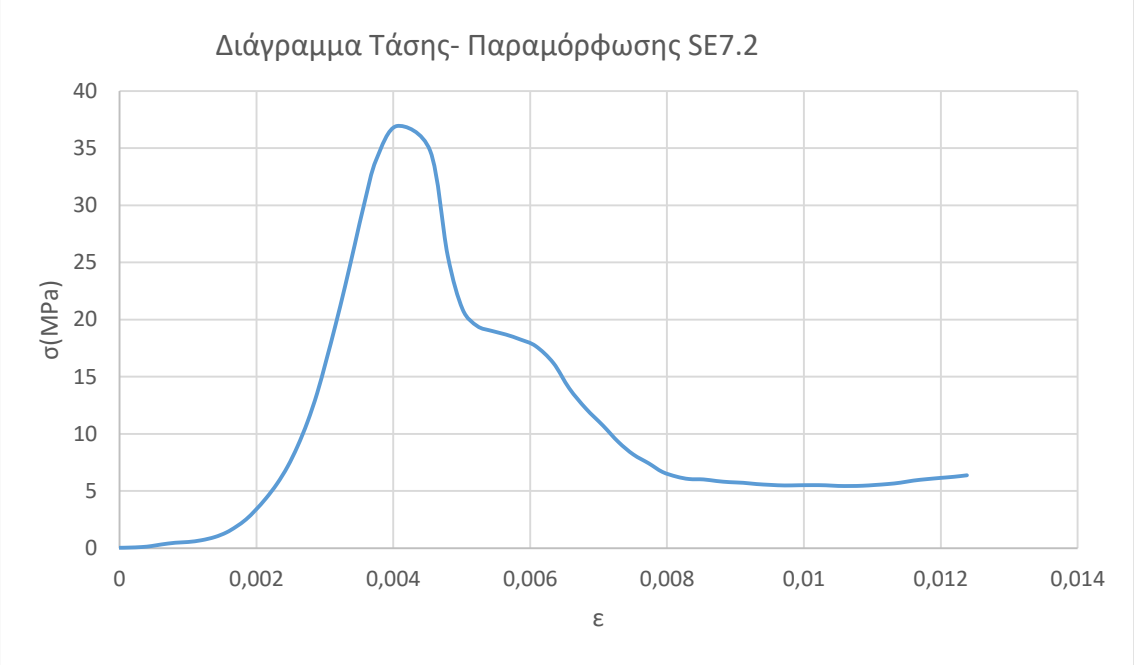


Ομάδα δειγμάτων SE7

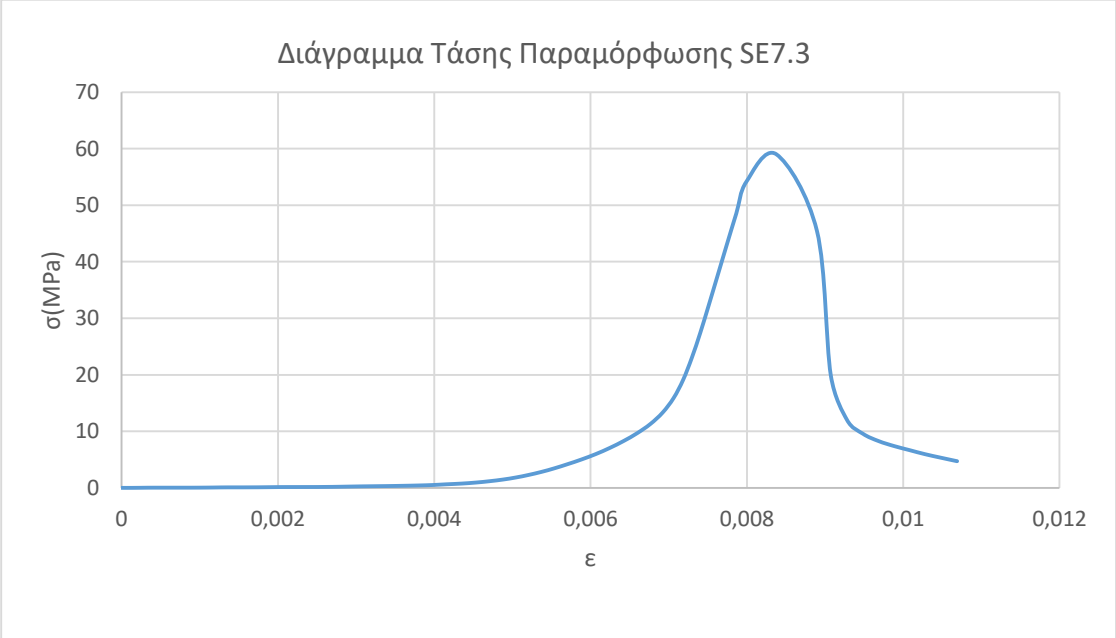
Δοκίμιο SE7.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,84	4,71	17,4	1,88	54,89	61,25	54,45	38,61
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Καλή εικόνα του δοκιμίου σε όλη την έκταση.							



Δοκίμιο SE7.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,34	4,71	17,38	1,77	36,94	40,90	36,36	21,37
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με SE7.1.							

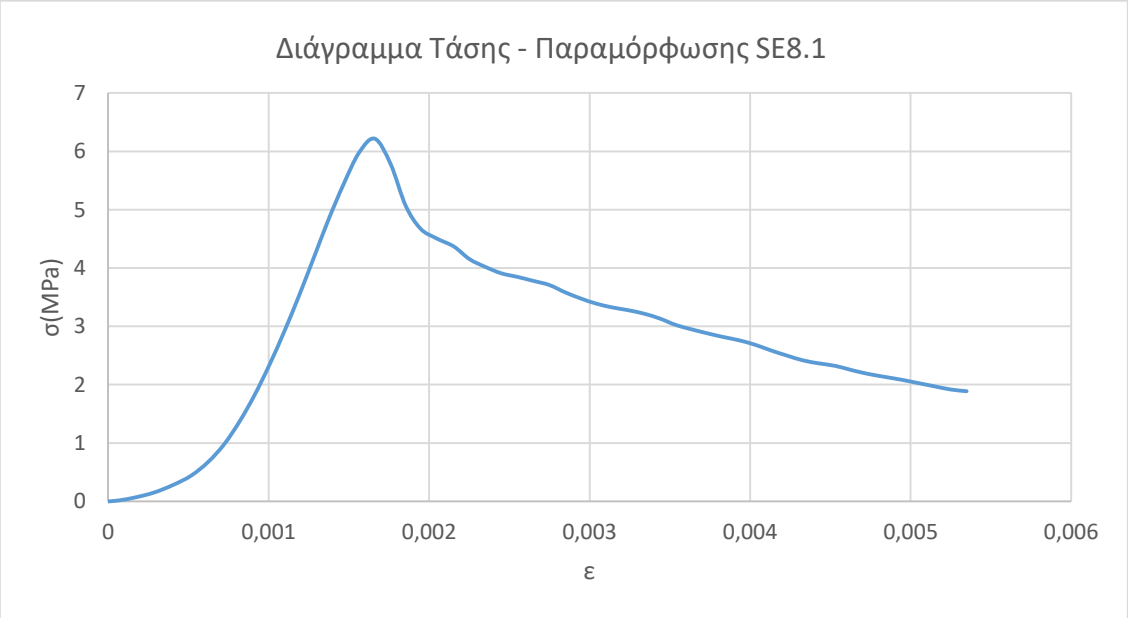


Δοκίμιο SE7.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,12	4,71	17,43	1,72	59	65,06	57,84	36,65
Σχόλια/Παρατηρήσεις : Παρόμοια εικόνα με SE7.1.							

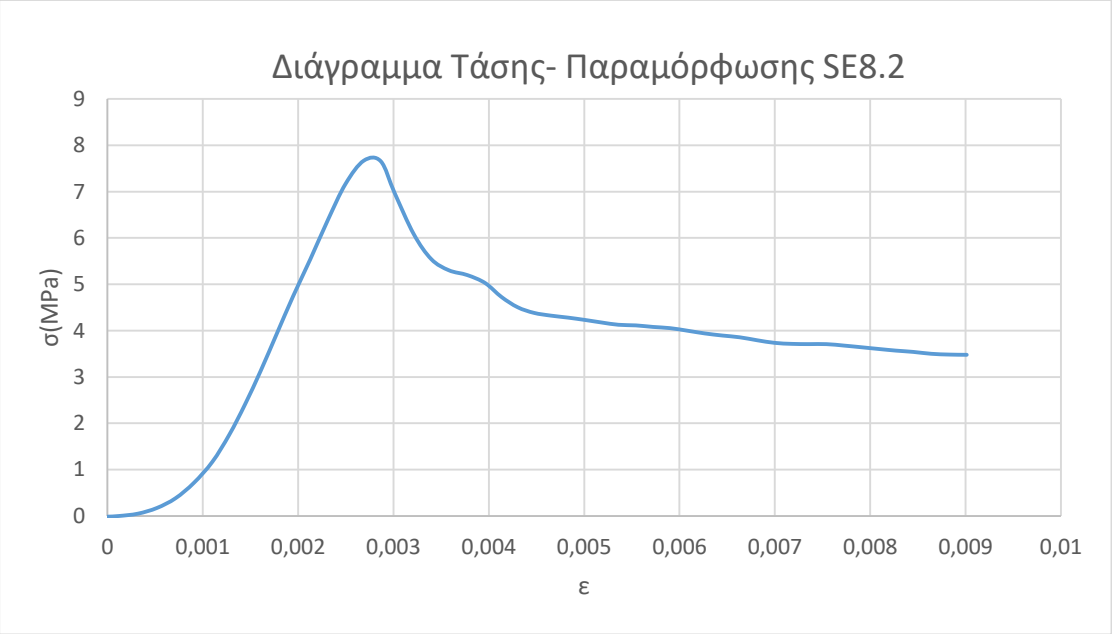


Ομάδα δειγμάτων SE8

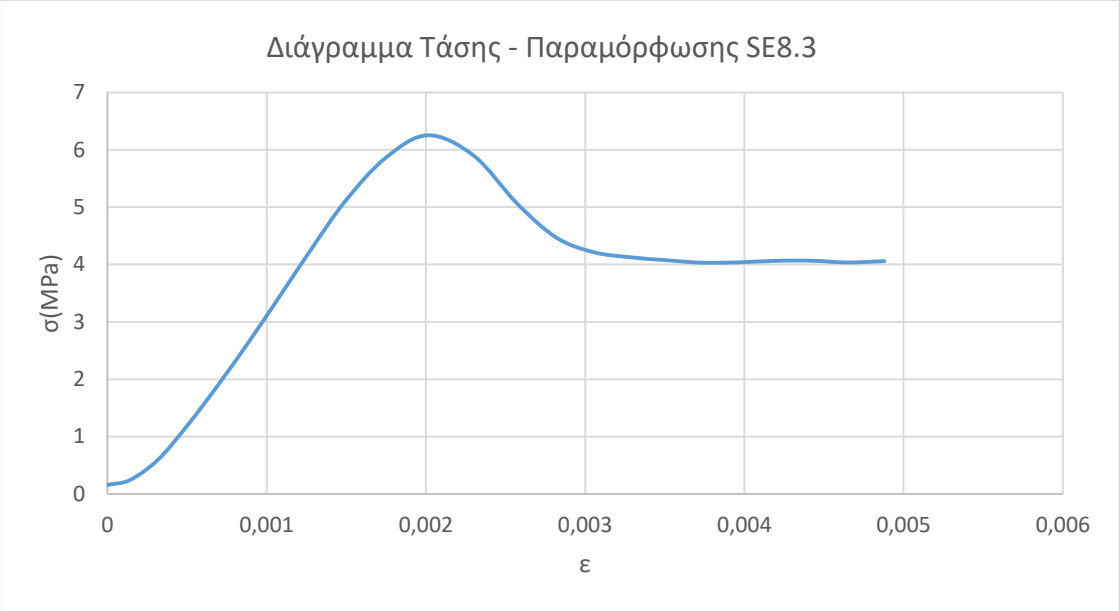
Δοκίμιο SE8.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
14,33	4,7	17,34	3,05	6,21	7,3	6,49	6,38
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Εμφάνιση ρωγμών διαγωνίως της παράπλευρης επιφάνειας του δοκιμίου και οπών περιμετρικά των βάσεων με αποτέλεσμα την παρουσία αιχμών. Η επιφάνεια των βάσεων είναι ατελής.							



Δοκίμιο SE8.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,03	4,71	17,44	1,7	7,66	8,43	7,50	4,4
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια χαρακτηριστικά με SE8.1 στις βάσεις. Στη παράπλευρη επιφάνεια παρουσιάζονται έντονες οπές.							

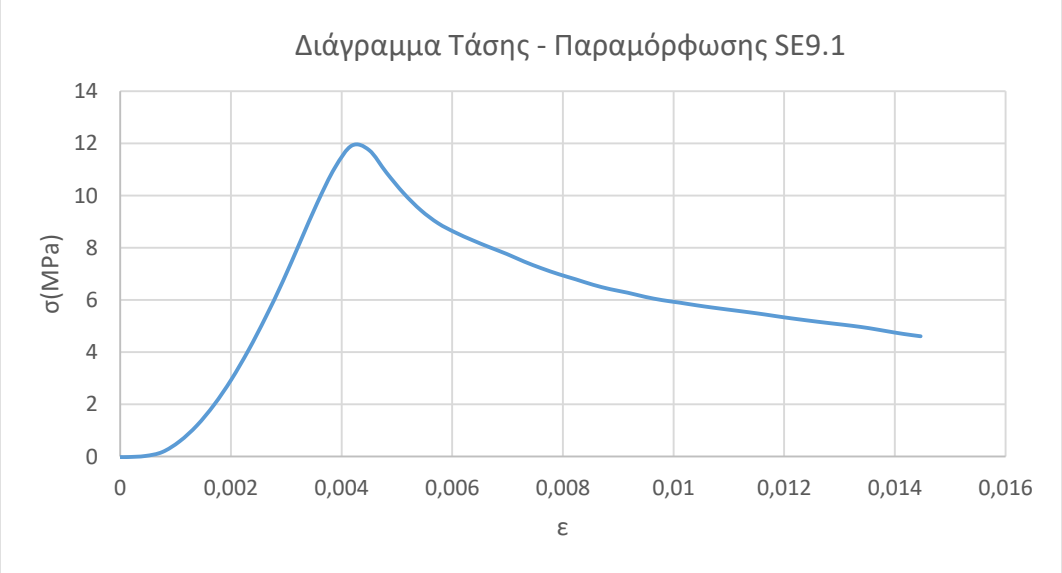


Δοκίμιο SE8.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,20	4,7	17,34	1,75	6,25	6,90	6,14	3,53
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με το δοκίμιο SE8.2.							

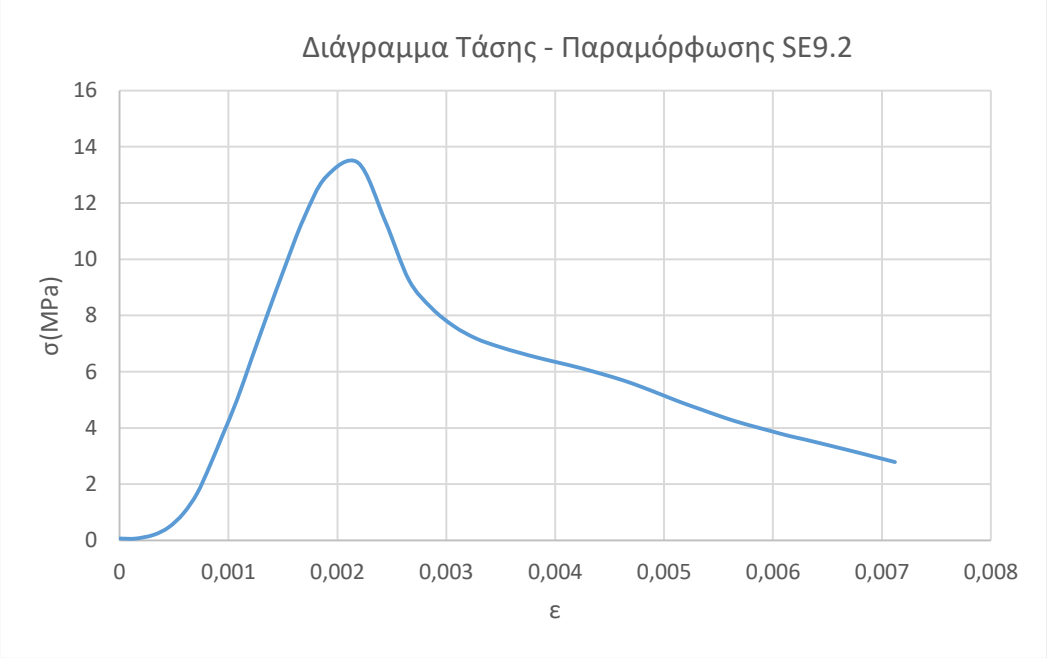


Ομάδα δειγμάτων SE9

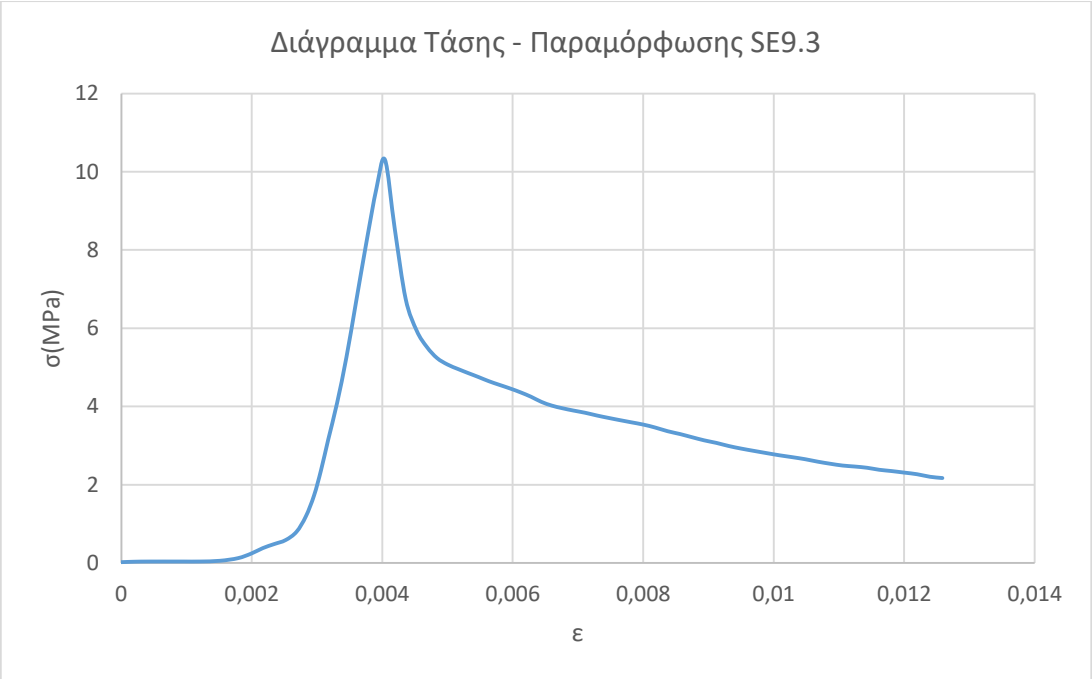
Δοκίμιο SE9.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,16	4,7	17,34	1,95	11,92	13,36	11,88	4,29
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Πλήρης εικόνα του δοκιμίου σε όλη του την έκταση.							



Δοκίμιο SE9.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,54	4,71	17,39	2,03	13,43	15,13	13,45	9,95
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παραπλήσια χαρακτηριστικά με δοκίμιο SE9.1							

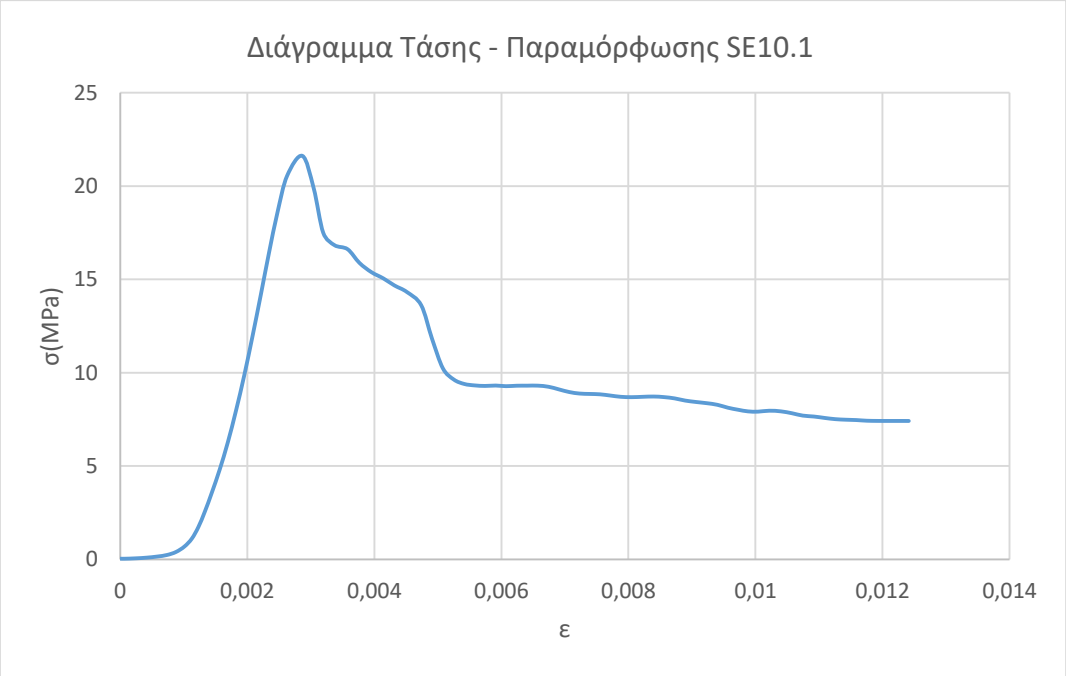


Δοκίμιο SE9.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
8,31	4,7	17,39	1,77	10,3	11,4	10,13	8,43
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με SE9.1. Έλλειψη υλικού στο χείλος της βάσης και έντονες οπές περιμετρικά.							

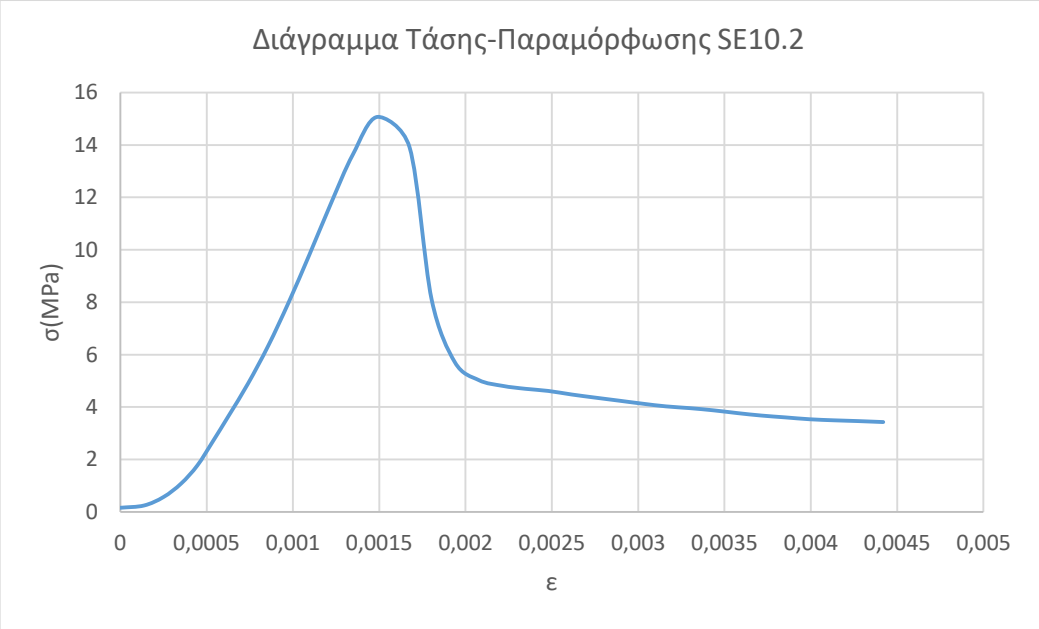


Ομάδα δειγμάτων SE10

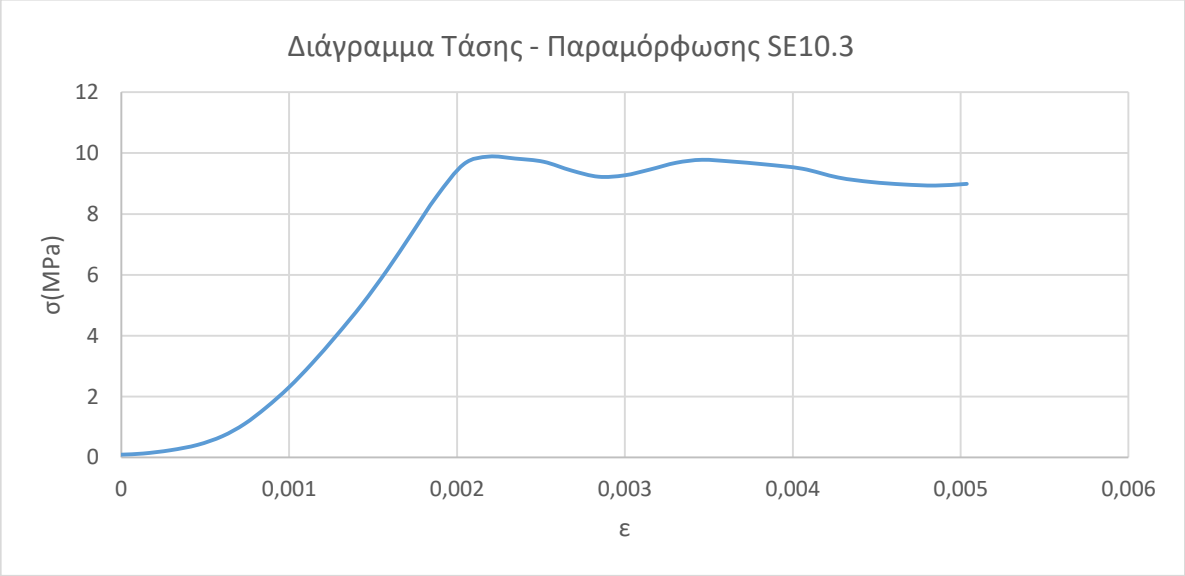
Δοκίμιο SE10.1							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,61	4,7	17,34	2,04	21,61	24,37	21,67	14,2
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο έχει παρόμοια εικόνα με τα δοκίμια της ομάδας 8 ανεξαρτήτως χρωματικής διαφοράς.							



Δοκίμιο SE10.2							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
10,41	4,71	17,40	2,21	15,07	17,16	15,25	13,78
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο εμφανίζει αιχμές και έντονες οπές στις βάσεις ενώ η παράπλευρη επιφάνεια είναι ομαλή.							



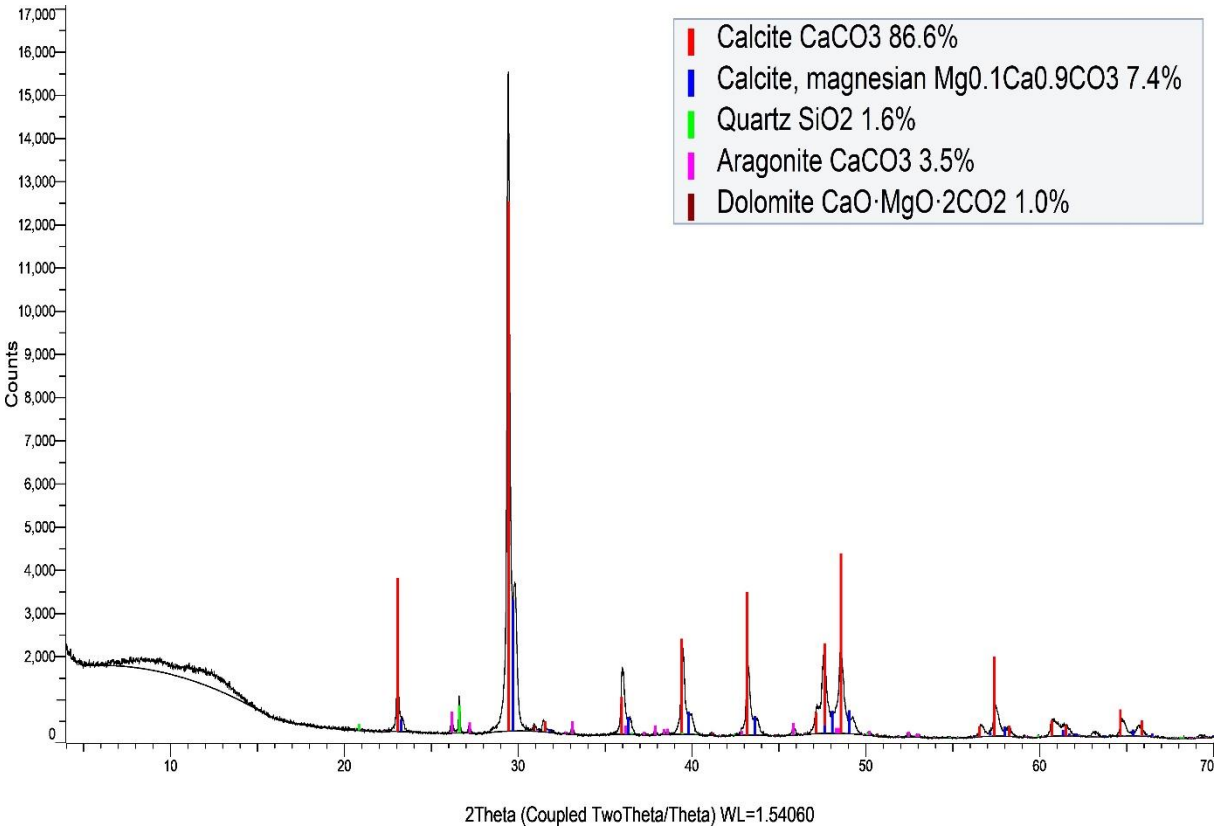
Δοκίμιο SE10.3							
Ύψος H(cm)	Διάμετρος D(cm)	Διατομή A(cm^2)	H/D	σmax(MPa)	C1(MPa)	C2(MPa)	E(GPa)
9,41	4,7	17,39	2,00	9,88	11,11	9,88	6,85
Σχόλια/Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με δοκίμιο SE10.1 .							



Παράρτημα 5: Ακτινοδιαγράμματα με ημιποσοτικό προσδιορισμό ορυκτών

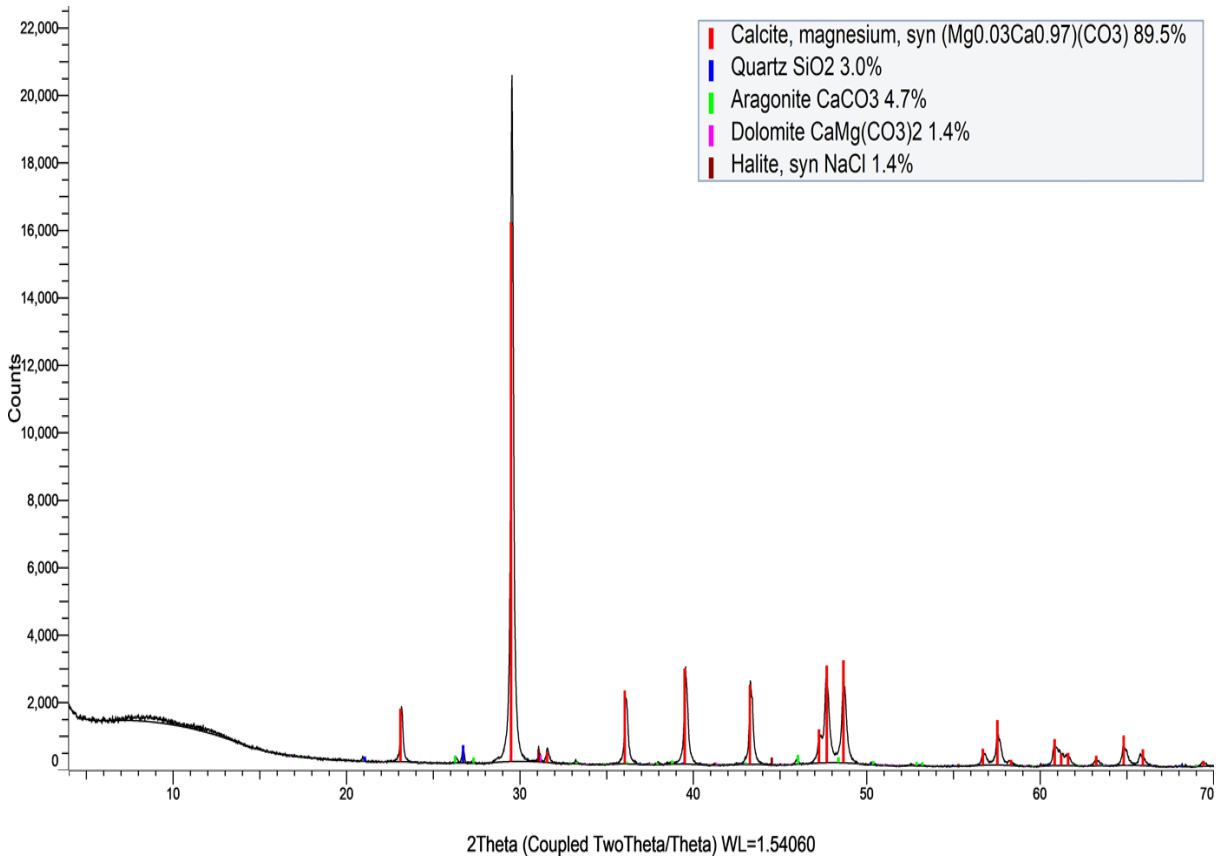
Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE1

Δείγμα SE1.1

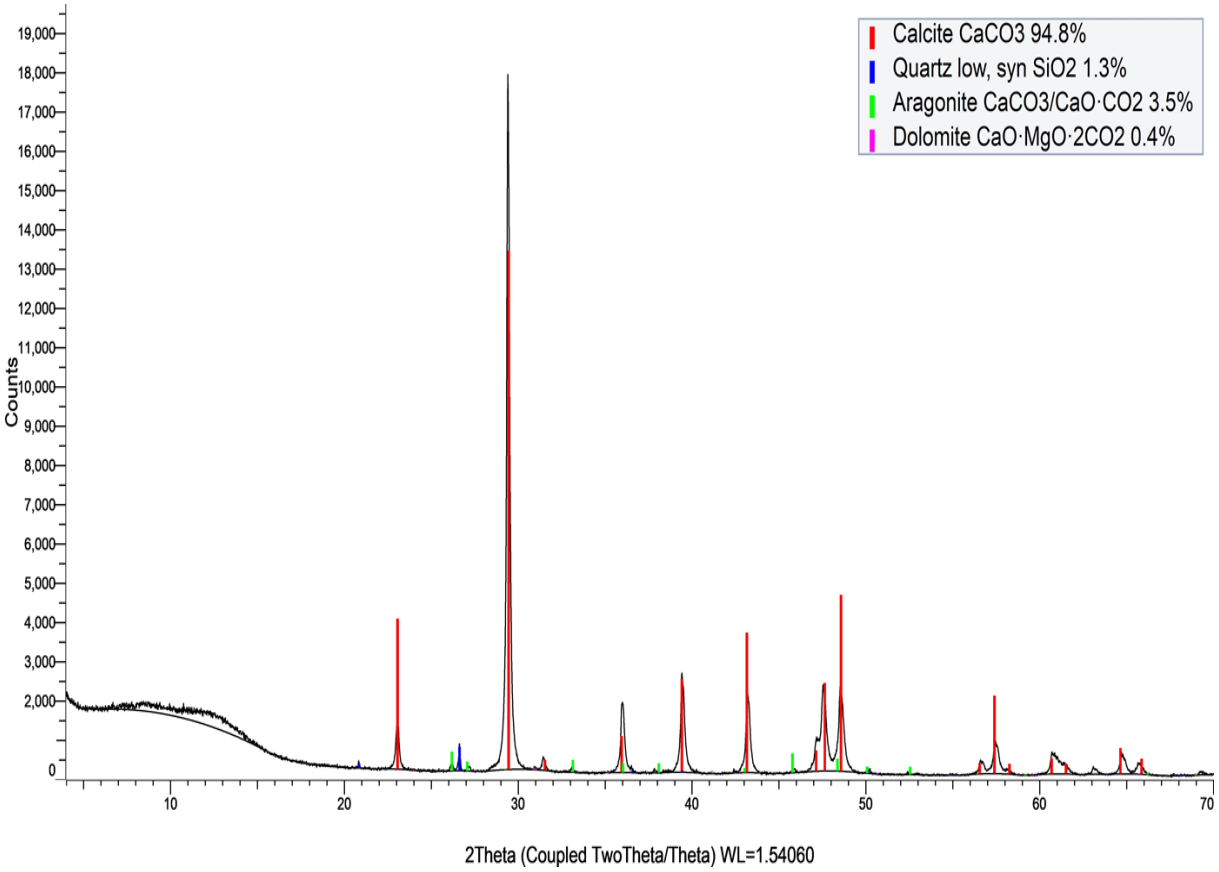


Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE2

Δείγμα SE2.1

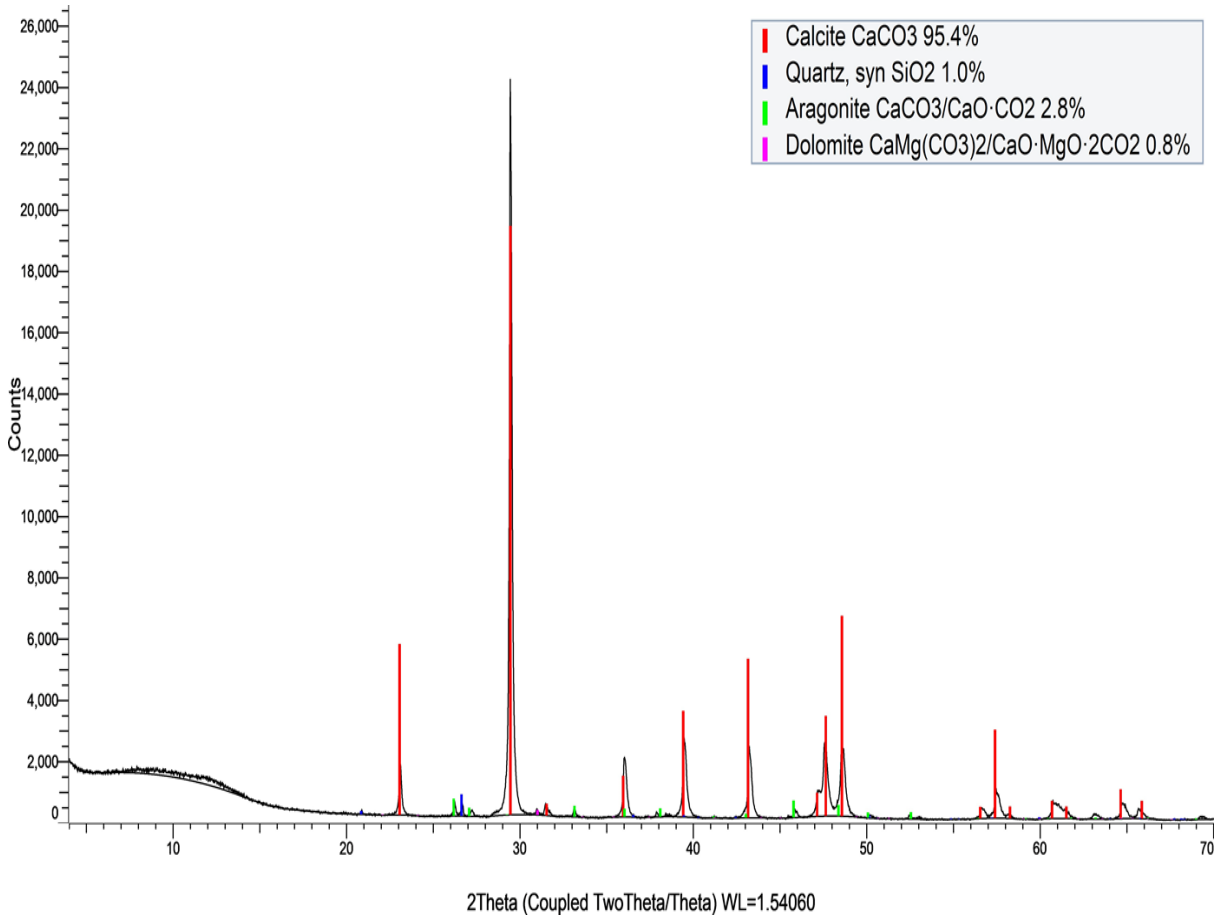


Δείγμα SE2.3

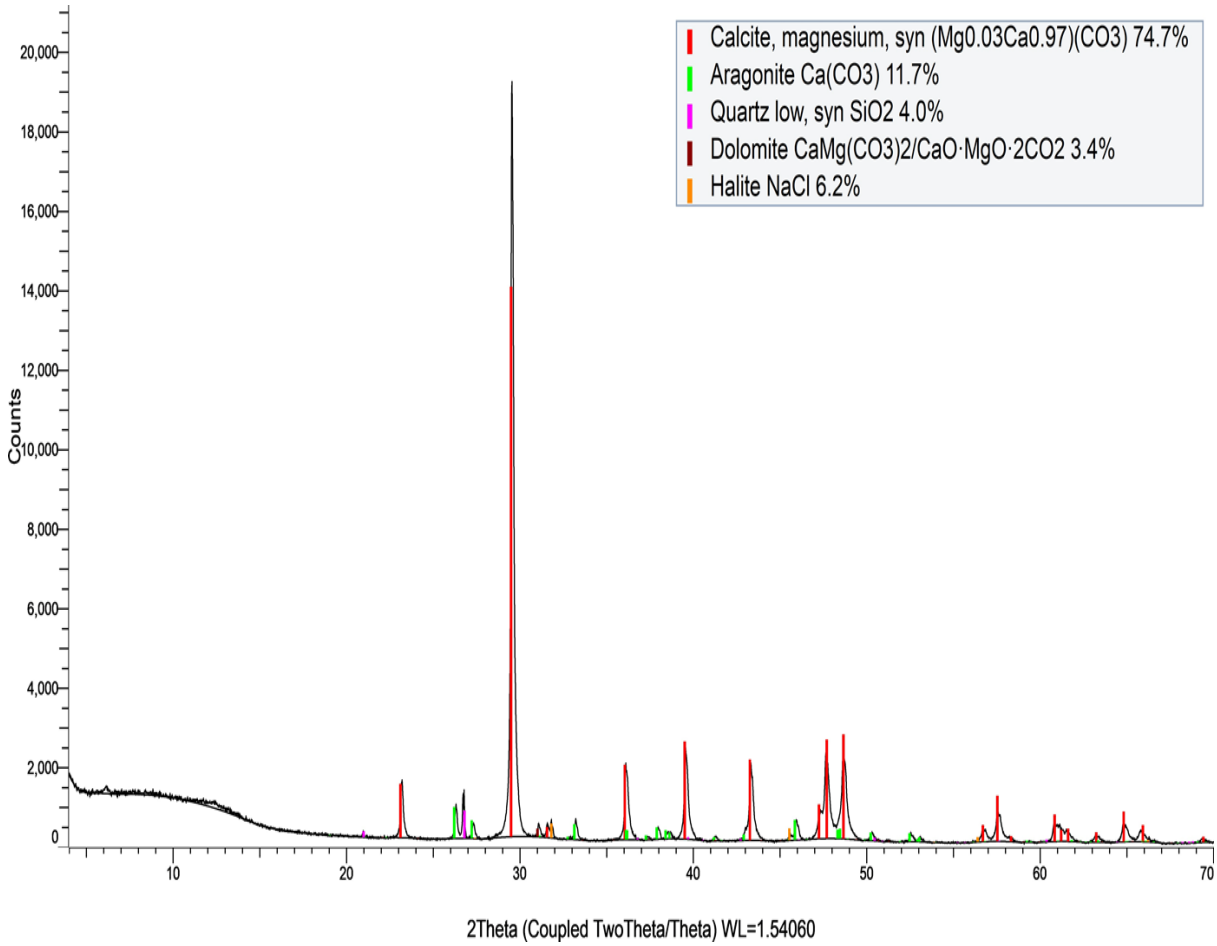

Calcite CaCO3 94.8%
Quartz low, syn SiO2 1.3%
Aragonite CaCO3/CaO·CO2 3.5%
Dolomite CaO·MgO·2CO2 0.4%
Counts
2Theta (Coupled TwoTheta/Theta) WL=1.54060

Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE3

Δείγμα SE3.2

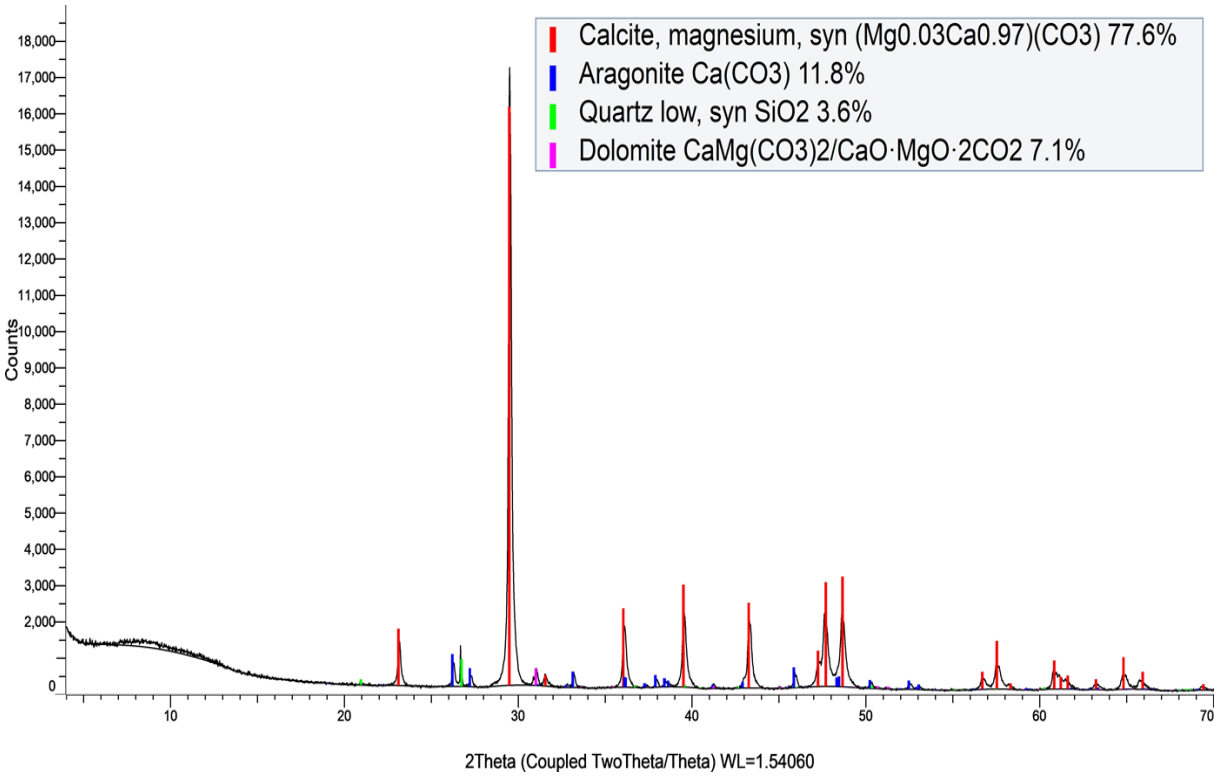


Δείγμα SE3.3

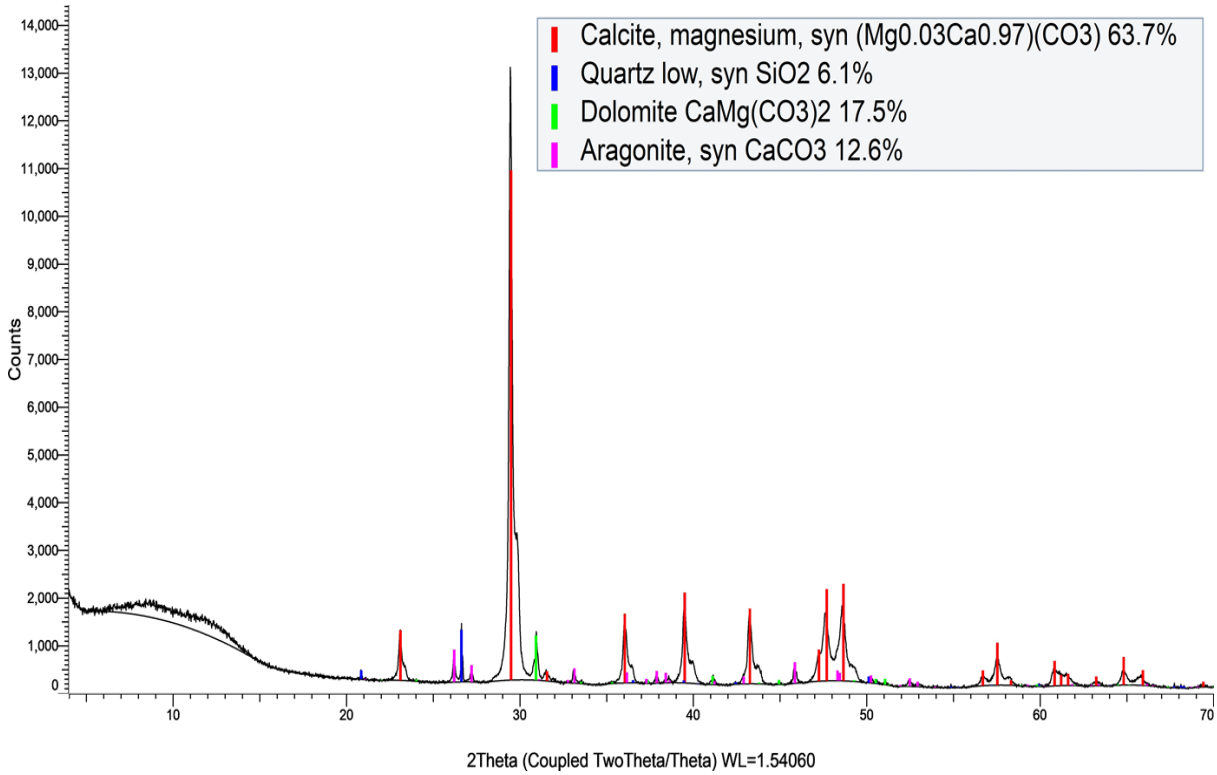

Calcite, magnesium, syn (Mg0.03Ca0.97)(CO3) 74.7%
Aragonite Ca(CO3) 11.7%
Quartz low, syn SiO2 4.0%
Dolomite CaMg(CO3)2/CaO·MgO·2CO2 3.4%
Halite NaCl 6.2%
Counts
20,000
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
10
20
30
40
50
60
70
2Theta (Coupled TwoTheta/Theta) WL=1.54060

Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE4

Δείγμα SE4.1

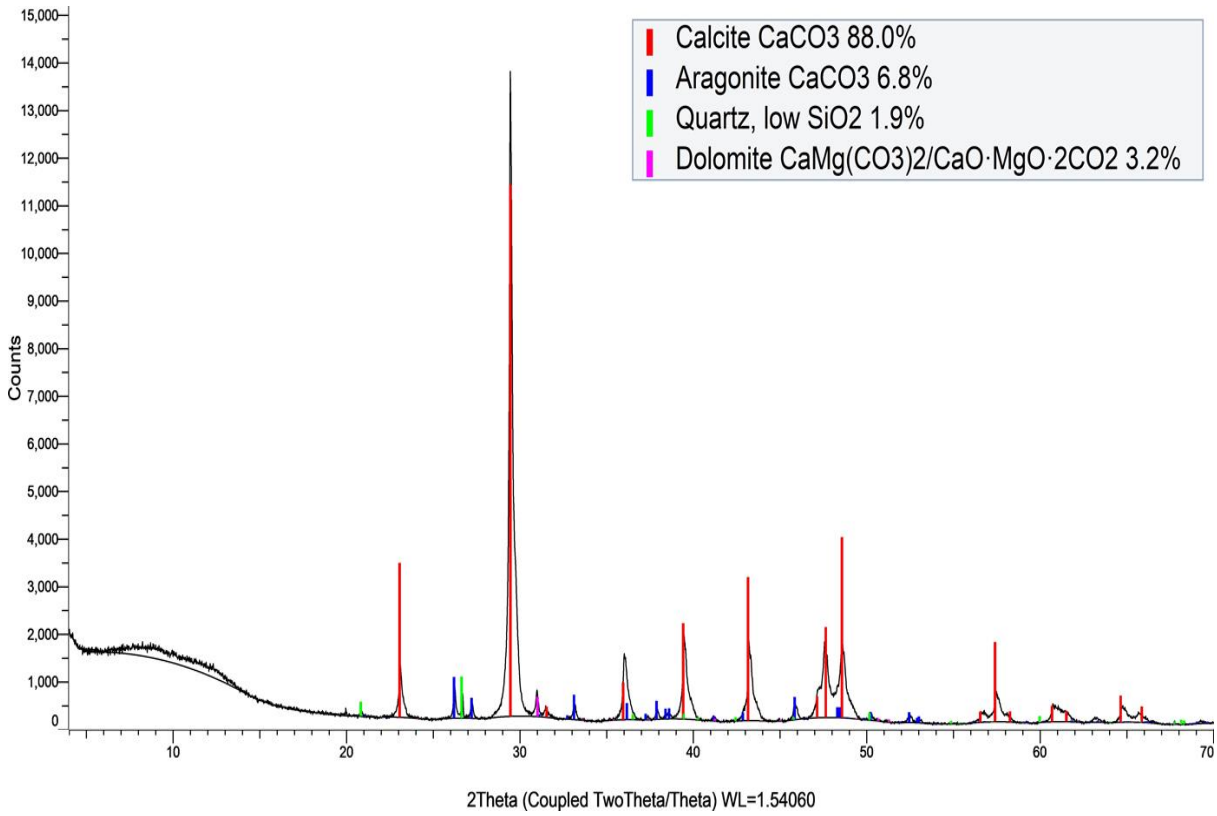


Δείγμα SE5.2


Calcite, magnesium, syn (Mg0.03Ca0.97)(CO3) 63.7%
Quartz low, syn SiO2 6.1%
Dolomite CaMg(CO3)2 17.5%
Aragonite, syn CaCO3 12.6%
Counts
14,000
13,000
12,000
11,000
10,000
9,000
8,000
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
10
20
30
40
50
60
70
2Theta (Coupled TwoTheta/Theta) WL=1.54060

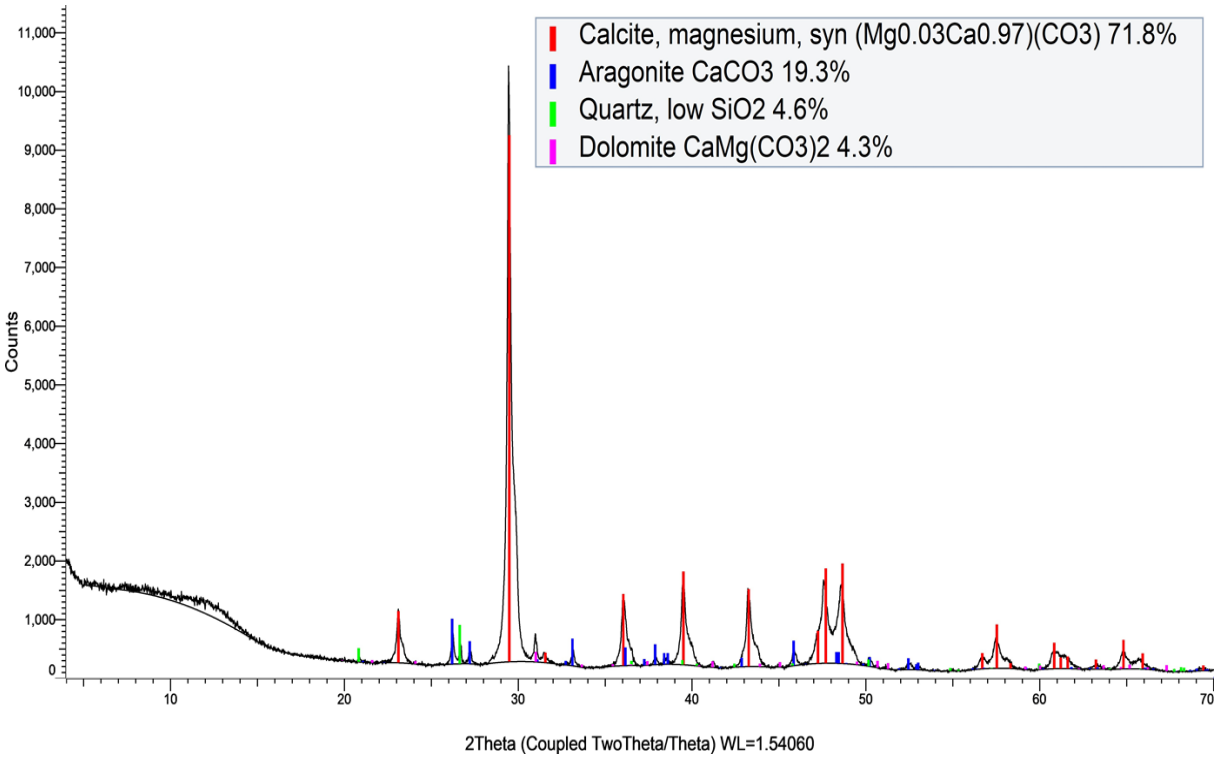
Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE6

Δείγμα SE6.1



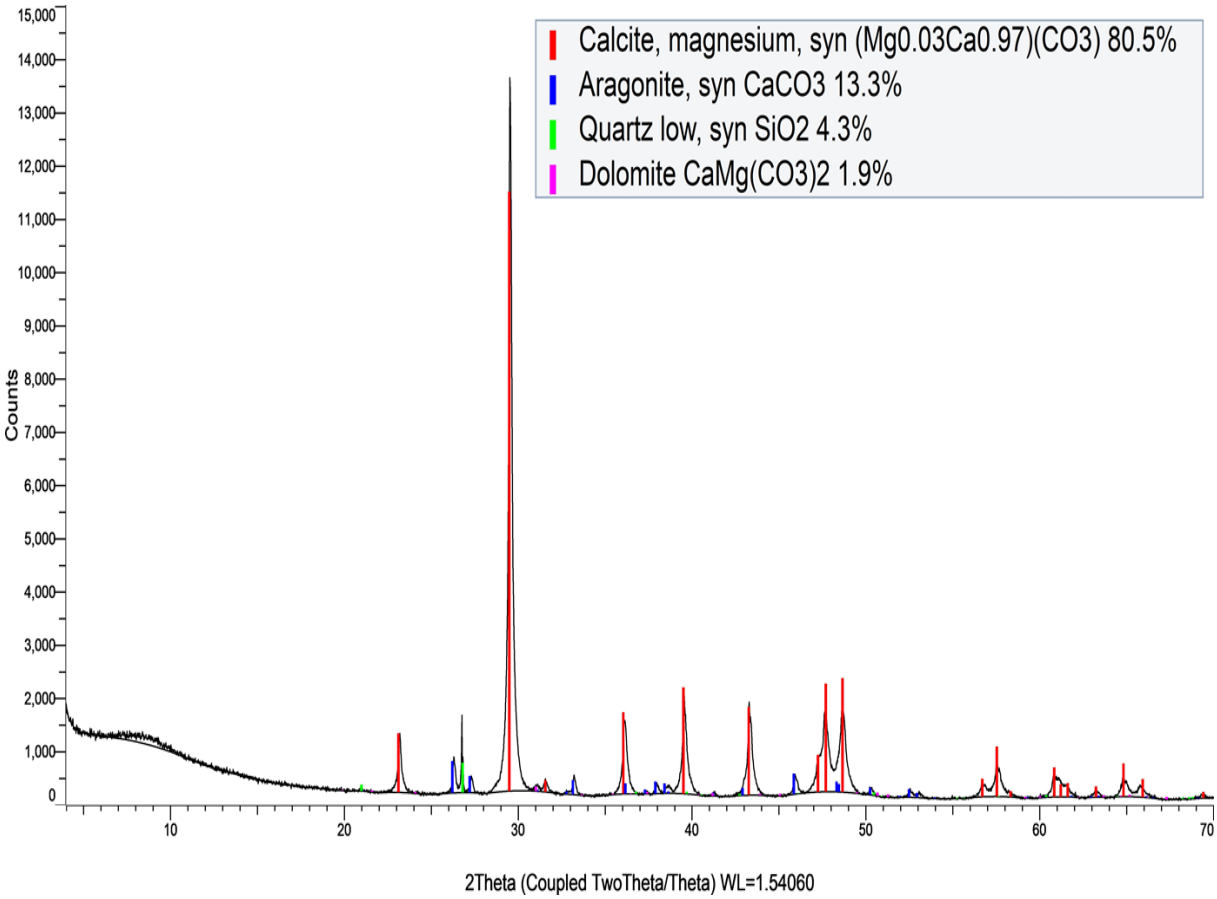
Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE7

Δείγμα SE7.3

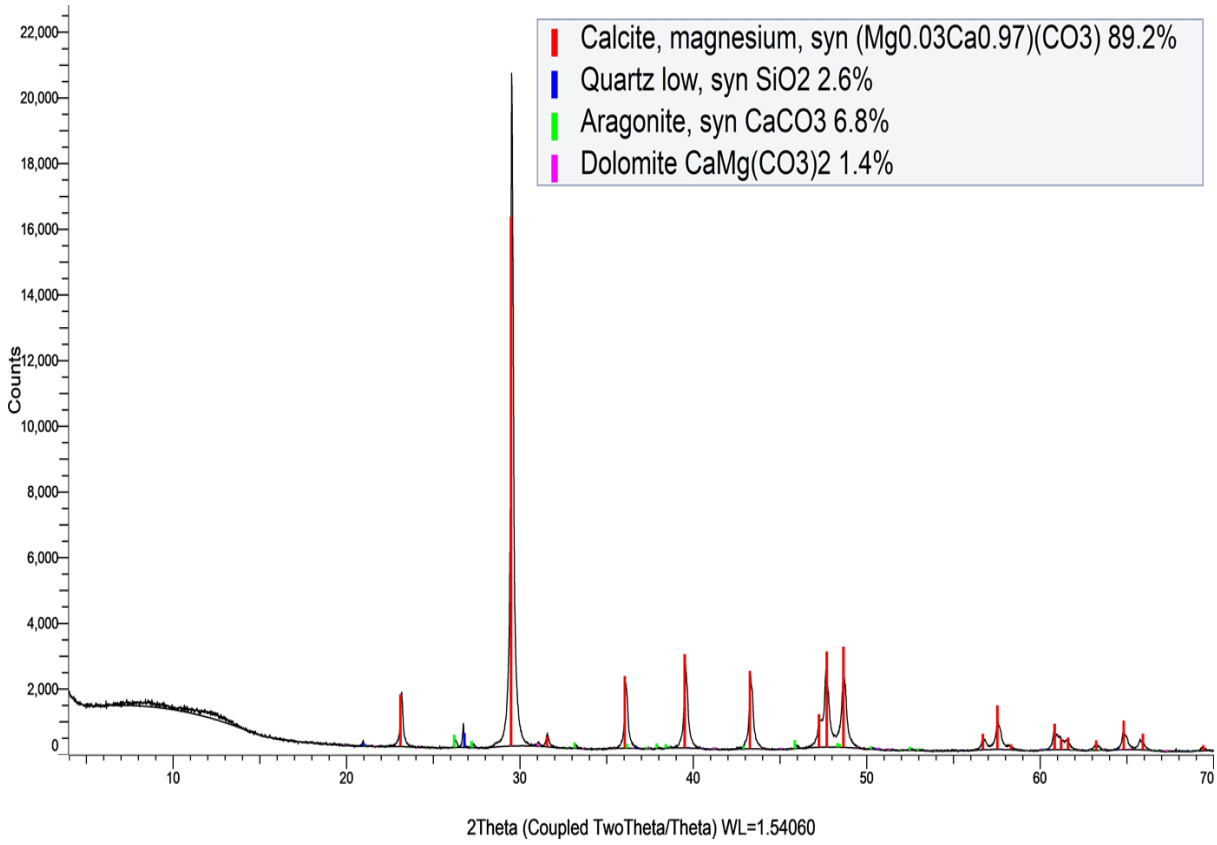


Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος SE8

Δείγμα SE8.2

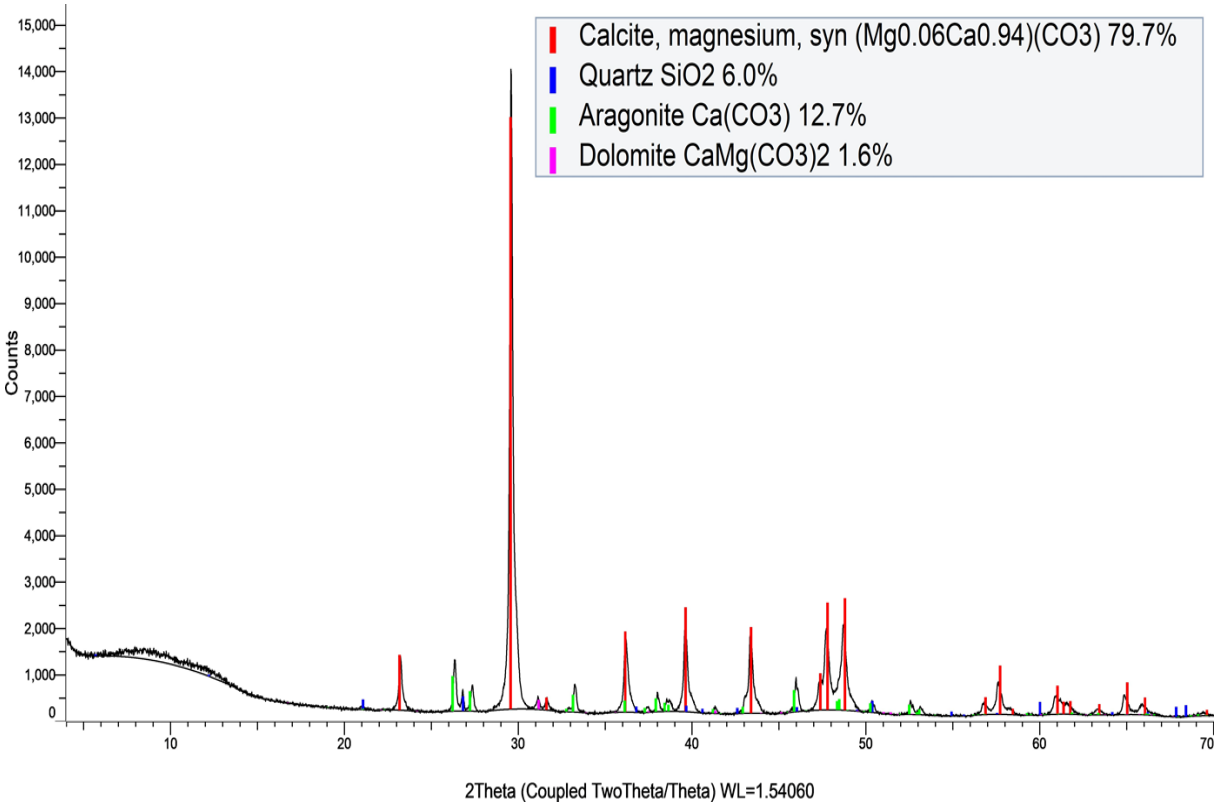


Δείγμα SE8.3


Calcite, magnesium, syn (Mg0.03Ca0.97)(CO3) 89.2%
Quartz low, syn SiO2 2.6%
Aragonite, syn CaCO3 6.8%
Dolomite CaMg(CO3)2 1.4%
Counts
22,000
20,000
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
10
20
30
40
50
60
70
2Theta (Coupled TwoTheta/Theta) WL=1.54060

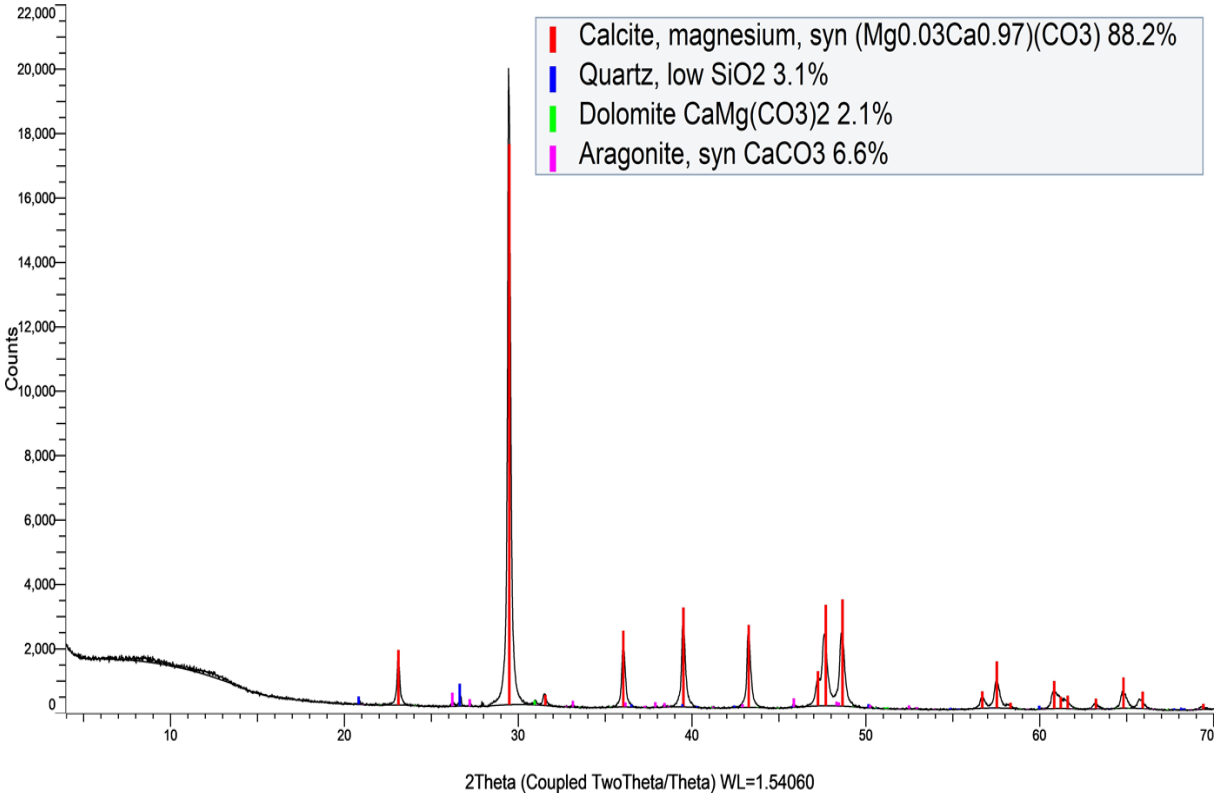
Ακτινοδιαγράμματα δείγματος SE9

Δείγμα SE9.2

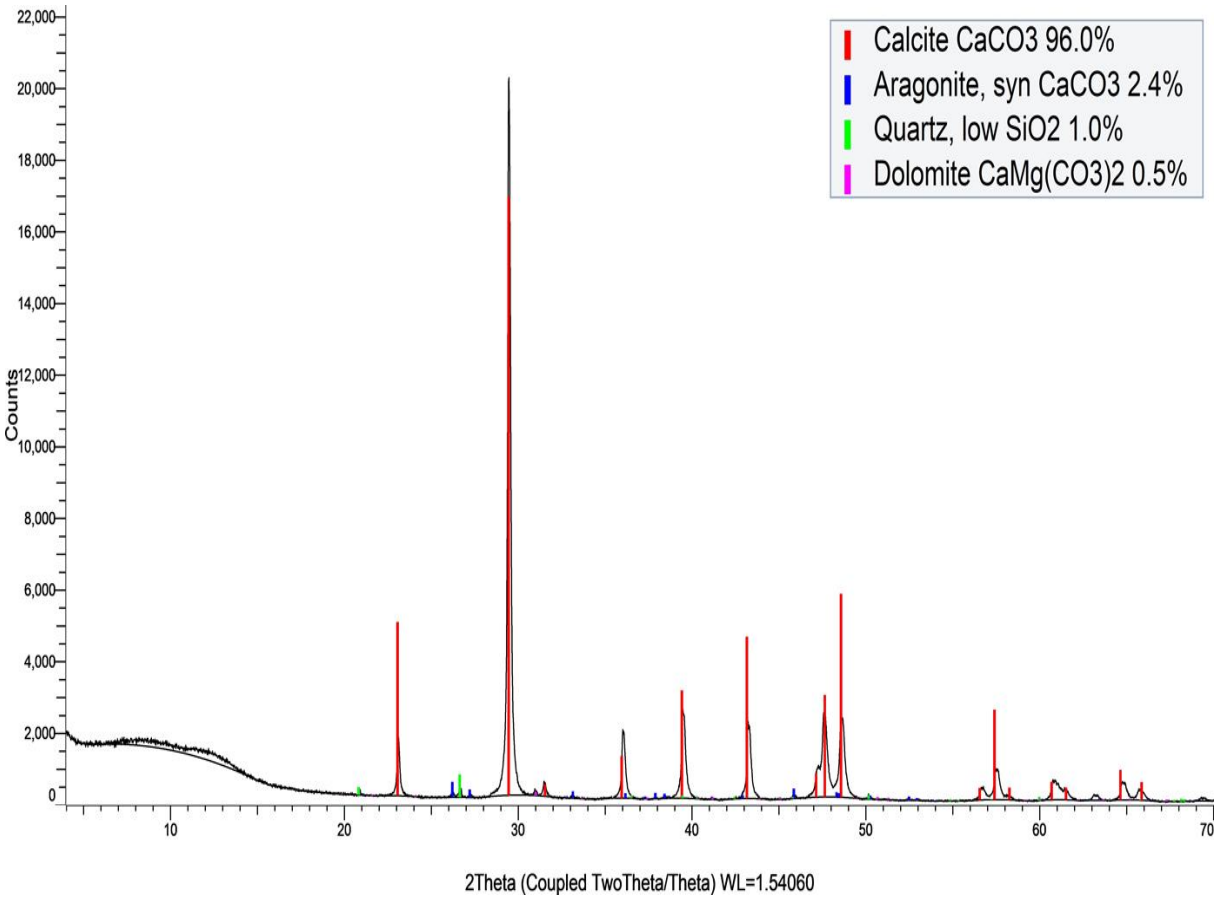


Ακτινοδιαγράμματα δείγματος SE10

Δείγμα SE10.1



Δείγμα SE10.3



Παράρτημα 6: Αποτελέσματα μεθόδου XRF

Sample Name **MNTS March2022 1-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	22.2360	0.609 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	272.4409	1.664 %	0.006 %
13	Al	Aluminum	124.9746	0.1656 %	0.0011 %
14	Si	Silicon	1477.2419	0.7930 %	0.0012 %
15	P	Phosphorus	108.8268	0.02427 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	694.5652	0.07377 %	0.00016 %
17	Cl	Chlorine	340.0384	0.01484 %	0.00005 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21537.8226	39.75 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.0197	0.0030 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.7080	0.0043 %	0.0019 %
24	Cr	Chromium	3.5715	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.3716	0.00413 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	230.3324	0.07903 %	0.00043 %
27	Co	Cobalt	0.2008	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	10.6510	0.00164 %	0.00012 %
29	Cu	Copper	2.3986	0.00033 %	0.00005 %
30	Zn	Zinc	3.5028	0.00036 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.5283	< 0.00004 %	(0.00004) %
32	Ge	Germanium	0.4649	< 0.00003 %	(0.00003) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.6152	0.00011 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	14.6556	0.00057 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	4.8341	0.00011 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	3638.2870	0.07512 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	23.3254	0.00047 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.8088	0.00007 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.8584	0.00132 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.1583	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	5.3072	0.00126 %	0.00018 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	1.6426	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.0211	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.5706	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	Pb	Lead	8.1890	0.00069 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.0038	0.00008 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.6484	0.00010 %	0.00003 %
92	U	Uranium	6.3768	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 2-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	21.3744	0.572 %	0.017 %
12	Mg	Magnesium	120.2307	0.6917 %	0.0044 %
13	Al	Aluminum	113.4814	0.1446 %	0.0010 %
14	Si	Silicon	1197.2076	0.6242 %	0.0011 %
15	P	Phosphorus	76.8024	0.01652 %	0.00024 %
16	S	Sulfur	256.8704	0.02369 %	0.00010 %
17	Cl	Chlorine	791.5608	0.03641 %	0.00007 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	22226.1670	40.72 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.0206	0.0030 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.8470	0.0044 %	0.0016 %
24	Cr	Chromium	2.8777	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	5.3871	0.00355 %	0.00024 %
26	Fe	Iron	183.9963	0.06021 %	0.00037 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	3.3880	0.00032 %	0.00008 %
29	Cu	Copper	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
30	Zn	Zinc	1.9518	0.00020 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	3.8562	0.00018 %	0.00002 %
34	Se	Selenium	1.9255	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	15.1721	0.00060 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	4.5664	0.00011 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	2190.1216	0.04601 %	0.00008 %
39	Y	Yttrium	32.2276	0.00065 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.3493	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.7716	0.00160 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.0877	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.4819	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	1.8361	0.00029 %	0.00012 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.7920	0.00106 %	0.00025 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.4366	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	1.9938	< 0.00020 %	(0.00010) %
74	W	Tungsten	0.9575	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	Pb	Lead	2.8408	0.00024 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	3.9403	0.00024 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.2507	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 2-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	23.8781	0.689 %	0.019 %
12	Mg	Magnesium	95.6894	0.5461 %	0.0042 %
13	Al	Aluminum	93.1034	0.1172 %	0.0010 %
14	Si	Silicon	1023.2786	0.5417 %	0.0010 %
15	P	Phosphorus	77.4652	0.01689 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	400.2065	0.03975 %	0.00013 %
17	Cl	Chlorine	1842.7575	0.08919 %	0.00012 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	22015.9447	41.32 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.6065	0.0048 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.7322	0.0042 %	0.0018 %
24	Cr	Chromium	5.3516	0.00078 %	0.00005 %
25	Mn	Manganese	4.9777	0.00329 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	260.1550	0.09370 %	0.00048 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	11.2089	0.00177 %	0.00013 %
29	Cu	Copper	2.6126	0.00037 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	2.9023	0.00030 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.8638	0.00007 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.0640	0.00005 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	28.7967	0.00114 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	4.5931	0.00011 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	2526.9011	0.05329 %	0.00009 %
39	Y	Yttrium	35.4599	0.00072 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.6726	0.00128 %	0.00007 %
51	Sb	Antimony	1.0027	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	3.5320	0.00077 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.5569	0.00084 %	0.00021 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.1317	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	1.2905	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	Pb	Lead	4.2666	0.00037 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8059	< 0.00007 %	(0.00007) %
90	Th	Thorium	1.5275	0.00010 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.7986	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 3-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	29.2077	0.926 %	0.022 %
12	Mg	Magnesium	101.9278	0.5946 %	0.0045 %
13	Al	Aluminum	85.7297	0.1081 %	0.0010 %
14	Si	Silicon	730.5997	0.3928 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	79.4261	0.01752 %	0.00026 %
16	S	Sulfur	588.6003	0.06117 %	0.00016 %
17	Cl	Chlorine	3394.8177	0.1686 %	0.0002 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21849.3336	40.74 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
23	V	Vanadium	0.8454	0.0045 %	0.0017 %
24	Cr	Chromium	2.4464	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.1186	0.00406 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	147.5180	0.04453 %	0.00031 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.2945	0.00018 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	2.0501	0.00022 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0528	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.2325	< 0.00002 %	(0.00002) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.4887	0.00011 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	50.8089	0.00202 %	0.00003 %
37	Rb	Rubidium	5.4159	0.00013 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	3225.9888	0.06809 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	26.8733	0.00055 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.1846	< 0.00005 %	(0.00004) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.0617	0.00140 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.7710	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	3.7565	0.00084 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.2027	0.00051 %	0.00014 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	2.9433	0.00059 %	0.00019 %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	1.0515	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.7027	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0951	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.7873	0.00005 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	5.5321	0.00048 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.0990	0.00009 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
92	U	Uranium	4.0315	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 3-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	41.1426	1.475 %	0.030 %
12	Mg	Magnesium	111.7150	0.6814 %	0.0053 %
13	Al	Aluminum	61.1954	0.0744 %	0.0011 %
14	Si	Silicon	618.4226	0.3454 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	87.4061	0.02005 %	0.00031 %
16	S	Sulfur	575.0119	0.06220 %	0.00019 %
17	Cl	Chlorine	9719.9183	0.5090 %	0.0004 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21027.2173	40.26 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.1843	0.0035 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.0000	< 0.0033 %	(0.0033) %
24	Cr	Chromium	1.7260	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.3357	0.00422 %	0.00026 %
26	Fe	Iron	129.9316	0.03691 %	0.00028 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	2.1243	0.00030 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	1.8481	0.00020 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.7701	0.00006 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.5210	0.00015 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	91.6892	0.00365 %	0.00003 %
37	Rb	Rubidium	2.9315	0.00007 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	4646.4543	0.09828 %	0.00012 %
39	Y	Yttrium	28.9008	0.00059 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6031	0.00001 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.7352	0.00132 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.1962	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.7811	0.00061 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.4567	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.7010	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.6160	< 0.00004 %	(0.00004) %
82	Pb	Lead	5.7196	0.00050 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8975	0.00007 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.1843	0.00007 %	0.00004 %
92	U	Uranium	7.5253	< 0.00007 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 4-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	29.0523	0.906 %	0.022 %
12	Mg	Magnesium	128.7692	0.7602 %	0.0048 %
13	Al	Aluminum	164.8483	0.2232 %	0.0013 %
14	Si	Silicon	952.9767	0.5092 %	0.0010 %
15	P	Phosphorus	96.3385	0.02122 %	0.00026 %
16	S	Sulfur	606.9875	0.06315 %	0.00016 %
17	Cl	Chlorine	3132.5418	0.1553 %	0.0002 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21438.6232	40.48 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.8311	0.0054 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.8173	0.0045 %	0.0018 %
24	Cr	Chromium	1.7886	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.6343	0.00438 %	0.00026 %
26	Fe	Iron	291.0326	0.1071 %	0.0005 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	0.9023	0.00013 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	3.4286	0.00036 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.4671	< 0.00004 %	(0.00004) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.8523	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	34.4187	0.00137 %	0.00003 %
37	Rb	Rubidium	8.1947	0.00019 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	4161.1167	0.08773 %	0.00011 %
39	Y	Yttrium	26.2240	0.00053 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.8820	0.00009 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.0912	0.00112 %	0.00007 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.3322	0.00045 %	0.00015 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	1.9734	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.8120	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.6900	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.3428	0.00008 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	5.2809	0.00046 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8598	0.00007 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.3003	0.00008 %	0.00004 %
92	U	Uranium	7.1332	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 5-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	22.7606	0.625 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	266.0273	1.609 %	0.006 %
13	Al	Aluminum	160.3255	0.2157 %	0.0012 %
14	Si	Silicon	1118.2133	0.5950 %	0.0011 %
15	P	Phosphorus	106.3549	0.02339 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	998.6222	0.1065 %	0.0002 %
17	Cl	Chlorine	729.7076	0.03428 %	0.00007 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21170.5071	39.21 %	0.02 %
22	Ti	Titanium	2.3073	0.0066 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	1.0154	0.0047 %	0.0015 %
24	Cr	Chromium	1.5311	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.9858	0.00448 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	268.6413	0.09438 %	0.00048 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.5365	0.00021 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	4.9337	0.00050 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.7230	< 0.00004 %	(0.00004) %
33	As	Arsenic	3.1261	0.00015 %	0.00002 %
34	Se	Selenium	3.4238	0.00014 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	18.4003	0.00071 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	8.7137	0.00020 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	4698.2883	0.09603 %	0.00012 %
39	Y	Yttrium	25.9922	0.00051 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6283	0.00002 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.3004	0.00115 %	0.00007 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.9498	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	4.9467	0.00114 %	0.00018 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	2.5681	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	1.5758	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.8453	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.3291	0.00008 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	3.0570	0.00026 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.9405	0.00012 %	0.00003 %
92	U	Uranium	5.5876	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 6-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	23.8127	0.678 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	167.9927	1.003 %	0.005 %
13	Al	Aluminum	126.8989	0.1665 %	0.0011 %
14	Si	Silicon	821.4034	0.4352 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	99.2623	0.02161 %	0.00024 %
16	S	Sulfur	637.5989	0.06575 %	0.00015 %
17	Cl	Chlorine	659.7495	0.03037 %	0.00007 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21910.5675	40.14 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.7825	0.0052 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.9446	0.0045 %	0.0015 %
24	Cr	Chromium	2.5403	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	8.0907	0.00528 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	137.1997	0.03935 %	0.00029 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.6544	0.00023 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	4.0667	0.00042 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.5604	< 0.00005 %	(0.00005) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.0740	0.00013 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	22.8043	0.00089 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	4.6591	0.00011 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	4431.2427	0.09205 %	0.00012 %
39	Y	Yttrium	26.7056	0.00054 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.3799	0.00147 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	1.5345	< 0.0011 %	(0.0011) %
56	Ba	Barium	4.0056	0.00124 %	0.00028 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.2615	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	1.4943	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	1.2381	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.8325	< 0.00007 %	(0.00002) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	Pb	Lead	6.5963	0.00056 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.5423	0.00013 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	0.9073	< 0.00006 %	(0.00006) %
92	U	Uranium	5.6571	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 7-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	23.1776	0.656 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	191.2131	1.160 %	0.005 %
13	Al	Aluminum	132.8744	0.1771 %	0.0011 %
14	Si	Silicon	765.7829	0.4104 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	101.4979	0.02234 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	719.4657	0.07554 %	0.00016 %
17	Cl	Chlorine	787.0559	0.03711 %	0.00007 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21716.3076	39.93 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.2493	0.0036 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.9250	0.0045 %	0.0016 %
24	Cr	Chromium	2.6102	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	5.1300	0.00334 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	164.3671	0.05094 %	0.00034 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.6533	0.00023 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	2.5145	0.00026 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	1.2865	0.00011 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.0360	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	21.3652	0.00083 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	4.0136	0.00009 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	4204.4880	0.08711 %	0.00011 %
39	Y	Yttrium	21.0994	0.00042 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	1.0922	0.00014 %	0.00003 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.5680	0.00153 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.3266	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.9574	0.00059 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.9100	0.00117 %	0.00027 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.3190	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.7336	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.3136	< 0.00002 %	(0.00002) %
82	Pb	Lead	5.0343	0.00043 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.9457	0.00012 %	0.00003 %
92	U	Uranium	5.5872	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 8-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	23.7345	0.690 %	0.019 %
12	Mg	Magnesium	86.3819	0.4906 %	0.0040 %
13	Al	Aluminum	134.5373	0.1792 %	0.0011 %
14	Si	Silicon	901.7034	0.4820 %	0.0010 %
15	P	Phosphorus	96.3542	0.02119 %	0.00024 %
16	S	Sulfur	400.6630	0.04014 %	0.00012 %
17	Cl	Chlorine	786.9155	0.03699 %	0.00007 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21912.3847	40.57 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.3503	0.0040 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.9782	0.0046 %	0.0015 %
24	Cr	Chromium	0.7921	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.1882	0.00409 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	203.2156	0.06865 %	0.00041 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	0.4359	< 0.00006 %	(0.00006) %
30	Zn	Zinc	3.0622	0.00032 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.4359	< 0.00003 %	(0.00003) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.7166	0.00012 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	15.4811	0.00061 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	6.5656	0.00015 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	3908.4750	0.08223 %	0.00011 %
39	Y	Yttrium	31.0206	0.00063 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.2094	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.8720	0.00134 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.3411	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.4657	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	1.9393	0.00031 %	0.00012 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	4.3323	0.00157 %	0.00032 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	2.8816	0.00050 %	0.00016 %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	2.2701	0.00019 %	0.00003 %
74	W	Tungsten	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.3615	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.9410	0.00006 %	0.00003 %
82	Pb	Lead	4.5827	0.00040 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8134	< 0.00007 %	(0.00007) %
90	Th	Thorium	1.6481	0.00010 %	0.00004 %
92	U	Uranium	6.3158	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 8-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	22.2613	0.630 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	90.8226	0.5225 %	0.0041 %
13	Al	Aluminum	103.6791	0.1346 %	0.0010 %
14	Si	Silicon	865.4677	0.4649 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	101.2292	0.02232 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	306.1783	0.02976 %	0.00011 %
17	Cl	Chlorine	901.1054	0.04281 %	0.00008 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	22130.8620	41.34 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	0.8517	0.0026 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.6362	0.0042 %	0.0021 %
24	Cr	Chromium	1.7087	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	6.4194	0.00430 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	184.0135	0.06110 %	0.00038 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.8506	0.00026 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	3.2912	0.00035 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.8559	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	11.7769	0.00047 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	6.1145	0.00014 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	2247.9402	0.04789 %	0.00008 %
39	Y	Yttrium	31.9447	0.00066 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.5390	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.8033	0.00163 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	1.2027	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.7997	0.00058 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	2.6200	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.7623	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.8938	< 0.00007 %	(0.00002) %
81	Tl	Thallium	1.6246	0.00010 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	3.8327	0.00033 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.6088	0.00014 %	0.00004 %
90	Th	Thorium	2.6656	0.00017 %	0.00003 %
92	U	Uranium	3.9852	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 9-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	21.9567	0.617 %	0.018 %
12	Mg	Magnesium	121.6154	0.7259 %	0.0045 %
13	Al	Aluminum	82.3571	0.1036 %	0.0009 %
14	Si	Silicon	710.6943	0.3839 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	81.3916	0.01807 %	0.00025 %
16	S	Sulfur	523.5513	0.05428 %	0.00014 %
17	Cl	Chlorine	536.2976	0.02468 %	0.00006 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	21860.3293	40.74 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.6436	0.0049 %	0.0012 %
23	V	Vanadium	0.0000	< 0.0030 %	(0.0029) %
24	Cr	Chromium	2.3542	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	5.4570	0.00362 %	0.00026 %
26	Fe	Iron	156.8634	0.04859 %	0.00034 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.6130	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.8552	0.00026 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	2.7610	0.00029 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.9493	0.00008 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	1.7087	0.00008 %	0.00002 %
34	Se	Selenium	2.7719	0.00012 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	18.0579	0.00072 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	5.8421	0.00014 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	6910.9203	0.1461 %	0.0002 %
39	Y	Yttrium	34.0816	0.00070 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.2898	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	7.9852	0.00139 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	2.2586	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.5235	0.00050 %	0.00015 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.1481	0.00046 %	0.00013 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.7811	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.8335	0.00011 %	0.00003 %
82	Pb	Lead	2.9346	0.00025 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.6490	0.00010 %	0.00004 %
92	U	Uranium	8.6357	0.00008 %	0.00001 %

Sample Name **MNTS March2022 10-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	21.4336	0.582 %	0.017 %
12	Mg	Magnesium	106.8376	0.6143 %	0.0042 %
13	Al	Aluminum	86.7225	0.1073 %	0.0009 %
14	Si	Silicon	805.1980	0.4235 %	0.0009 %
15	P	Phosphorus	102.7442	0.02215 %	0.00024 %
16	S	Sulfur	279.3593	0.02618 %	0.00010 %
17	Cl	Chlorine	457.6069	0.02007 %	0.00006 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	22255.7552	40.90 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.4078	0.0042 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	0.6854	0.0045 %	0.0021 %
24	Cr	Chromium	2.2356	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	5.9316	0.00393 %	0.00025 %
26	Fe	Iron	186.5535	0.06159 %	0.00038 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.0756	0.00015 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	2.2356	0.00024 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.2531	< 0.00002 %	(0.00002) %
33	As	Arsenic	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.0054	0.00013 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	11.0987	0.00044 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	5.9949	0.00014 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	2393.7873	0.05051 %	0.00008 %
39	Y	Yttrium	29.9217	0.00061 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6940	0.00004 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.6026	0.00156 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	2.4065	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.3167	0.00047 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	2.4015	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.1898	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	0.3796	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	0.7487	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	Pb	Lead	5.5995	0.00048 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.2601	0.00011 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.2232	0.00008 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.1548	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 10-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na	Sodium	21.2679	0.583 %	0.017 %
12	Mg	Magnesium	105.7526	0.6160 %	0.0043 %
13	Al	Aluminum	66.7773	0.07939 %	0.00083 %
14	Si	Silicon	705.1643	0.3757 %	0.0008 %
15	P	Phosphorus	103.2682	0.02252 %	0.00024 %
16	S	Sulfur	336.0953	0.03270 %	0.00011 %
17	Cl	Chlorine	477.8684	0.02129 %	0.00006 %
19	K	Potassium	0.0000	< 0.0010 %	(0.0) %
20	Ca	Calcium	22271.7854	41.08 %	0.03 %
22	Ti	Titanium	1.7352	0.0051 %	0.0011 %
23	V	Vanadium	1.0390	0.0048 %	0.0014 %
24	Cr	Chromium	2.1360	< 0.00010 %	(0.0) %
25	Mn	Manganese	4.9366	0.00327 %	0.00024 %
26	Fe	Iron	151.3846	0.04609 %	0.00032 %
27	Co	Cobalt	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
28	Ni	Nickel	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
29	Cu	Copper	1.9673	0.00028 %	0.00006 %
30	Zn	Zinc	3.2278	0.00034 %	0.00004 %
31	Ga	Gallium	0.3217	< 0.00003 %	(0.00003) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As	Arsenic	4.0136	0.00019 %	0.00002 %
34	Se	Selenium	3.3544	0.00014 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	10.2688	0.00041 %	0.00002 %
37	Rb	Rubidium	5.4851	0.00013 %	0.00002 %
38	Sr	Strontium	2521.2085	0.05305 %	0.00009 %
39	Y	Yttrium	32.3887	0.00066 %	0.00002 %
40	Zr	Zirconium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
41	Nb	Niobium	0.0499	< 0.00001 %	(0.00001) %
42	Mo	Molybdenum	0.7389	0.00005 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	Sn	Tin	8.5370	0.00153 %	0.00008 %
51	Sb	Antimony	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.6525	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.5446	0.00083 %	0.00021 %
57	La	Lanthanum	3.0454	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta	Tantalum	1.1076	< 0.00010 %	(0.0) %
74	W	Tungsten	1.0707	< 0.00010 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	2.0358	0.00012 %	0.00002 %
82	Pb	Lead	2.8902	0.00025 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	4.2721	0.00027 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.6940	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 1-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	22.2360	0.820 %	0.024 %
12	MgO	Magnesium	272.4409	2.760 %	0.010 %
13	Al2O3	Aluminum	124.9746	0.3128 %	0.0021 %
14	SiO2	Silicon	1477.2419	1.697 %	0.003 %
15	P2O5	Phosphorus	108.8268	0.05560 %	0.00058 %
16	SO3	Sulfur	694.5652	0.1842 %	0.0004 %
17	Cl	Chlorine	340.0384	0.01484 %	0.00005 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21537.8226	55.62 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.0197	0.0049 %	0.0018 %
23	V2O5	Vanadium	0.7080	0.0076 %	0.0034 %
24	Cr2O3	Chromium	3.5715	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.3716	0.00533 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	230.3324	0.1130 %	0.0006 %
27	CoO	Cobalt	0.2008	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	10.6510	0.00208 %	0.00016 %
29	CuO	Copper	2.3986	0.00041 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	3.5028	0.00045 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.5283	< 0.00004 %	(0.00004) %
32	Ge	Germanium	0.4649	< 0.00003 %	(0.00003) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.6152	0.00011 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	14.6556	0.00057 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	4.8341	0.00012 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	3638.2870	0.08884 %	0.00012 %
39	Y	Yttrium	23.3254	0.00047 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.8088	0.00007 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.8584	0.00168 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	1.1583	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	5.3072	0.00126 %	0.00018 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	1.6426	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.0211	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.5706	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	PbO	Lead	8.1890	0.00075 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.0038	0.00008 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.6484	0.00010 %	0.00003 %
92	U	Uranium	6.3768	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 2-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	21.3744	0.771 %	0.023 %
12	MgO	Magnesium	120.2307	1.147 %	0.007 %
13	Al2O3	Aluminum	113.4814	0.2733 %	0.0019 %
14	SiO2	Silicon	1197.2076	1.335 %	0.002 %
15	P2O5	Phosphorus	76.8024	0.03786 %	0.00054 %
16	SO3	Sulfur	256.8704	0.05916 %	0.00025 %
17	Cl	Chlorine	791.5608	0.03641 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	22226.1670	56.98 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.0206	0.0050 %	0.0018 %
23	V2O5	Vanadium	0.8470	0.0078 %	0.0029 %
24	Cr2O3	Chromium	2.8777	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	5.3871	0.00459 %	0.00031 %
26	Fe2O3	Iron	183.9963	0.08609 %	0.00053 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	3.3880	0.00040 %	0.00010 %
29	CuO	Copper	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
30	ZnO	Zinc	1.9518	0.00025 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	3.8562	0.00024 %	0.00003 %
34	Se	Selenium	1.9255	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	15.1721	0.00060 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	4.5664	0.00012 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	2190.1216	0.05441 %	0.00009 %
39	Y	Yttrium	32.2276	0.00065 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.3493	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.7716	0.00204 %	0.00011 %
51	Sb2O5	Antimony	1.0877	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.4819	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	1.8361	0.00029 %	0.00012 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.7920	0.00106 %	0.00025 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.4366	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	1.9938	< 0.00024 %	(0.00012) %
74	WO3	Tungsten	0.9575	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	PbO	Lead	2.8408	0.00026 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	3.9403	0.00024 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.2507	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 2-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	23.8781	0.929 %	0.026 %
12	MgO	Magnesium	95.6894	0.9057 %	0.0069 %
13	Al2O3	Aluminum	93.1034	0.2214 %	0.0019 %
14	SiO2	Silicon	1023.2786	1.159 %	0.002 %
15	P2O5	Phosphorus	77.4652	0.03869 %	0.00056 %
16	SO3	Sulfur	400.2065	0.09924 %	0.00031 %
17	Cl	Chlorine	1842.7575	0.08919 %	0.00012 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	22015.9447	57.81 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.6065	0.0079 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.7322	0.0075 %	0.0033 %
24	Cr2O3	Chromium	5.3516	0.00115 %	0.00008 %
25	MnO	Manganese	4.9777	0.00425 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	260.1550	0.1340 %	0.0007 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	11.2089	0.00226 %	0.00017 %
29	CuO	Copper	2.6126	0.00046 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	2.9023	0.00038 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.8638	0.00007 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.0640	0.00005 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	28.7967	0.00114 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	4.5931	0.00012 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	2526.9011	0.06302 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	35.4599	0.00072 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.6726	0.00163 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	1.0027	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	3.5320	0.00077 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.5569	0.00084 %	0.00021 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.1317	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	1.2905	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	PbO	Lead	4.2666	0.00040 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8059	< 0.00007 %	(0.00007) %
90	Th	Thorium	1.5275	0.00010 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.7986	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 3-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	29.2077	1.248 %	0.030 %
12	MgO	Magnesium	101.9278	0.9861 %	0.0074 %
13	Al2O3	Aluminum	85.7297	0.2041 %	0.0019 %
14	SiO2	Silicon	730.5997	0.8403 %	0.0019 %
15	P2O5	Phosphorus	79.4261	0.04014 %	0.00060 %
16	SO3	Sulfur	588.6003	0.1527 %	0.0004 %
17	Cl	Chlorine	3394.8177	0.1686 %	0.0002 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21849.3336	57.00 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	0.0000	< 0.00034 %	(0.0) %
23	V2O5	Vanadium	0.8454	0.0080 %	0.0030 %
24	Cr2O3	Chromium	2.4464	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.1186	0.00524 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	147.5180	0.06368 %	0.00045 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.2945	0.00023 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	2.0501	0.00027 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0528	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.2325	< 0.00002 %	(0.00002) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.4887	0.00011 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	50.8089	0.00202 %	0.00003 %
37	Rb2O	Rubidium	5.4159	0.00014 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	3225.9888	0.08052 %	0.00012 %
39	Y	Yttrium	26.8733	0.00055 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.1846	< 0.00006 %	(0.00006) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.0617	0.00178 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.7710	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	3.7565	0.00084 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.2027	0.00051 %	0.00014 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	2.9433	0.00059 %	0.00019 %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	1.0515	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.7027	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0951	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.7873	0.00005 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	5.5321	0.00052 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.0990	0.00009 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
92	U	Uranium	4.0315	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 3-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	41.1426	1.988 %	0.040 %
12	MgO	Magnesium	111.7150	1.130 %	0.009 %
13	Al2O3	Aluminum	61.1954	0.1405 %	0.0021 %
14	SiO2	Silicon	618.4226	0.7391 %	0.0020 %
15	P2O5	Phosphorus	87.4061	0.04595 %	0.00070 %
16	SO3	Sulfur	575.0119	0.1553 %	0.0005 %
17	Cl	Chlorine	9719.9183	0.5090 %	0.0004 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21027.2173	56.34 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.1843	0.0059 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.0000	< 0.0059 %	(0.0059) %
24	Cr2O3	Chromium	1.7260	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.3357	0.00544 %	0.00033 %
26	Fe2O3	Iron	129.9316	0.05278 %	0.00040 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	2.1243	0.00038 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	1.8481	0.00024 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.7701	0.00006 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.5210	0.00015 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	91.6892	0.00365 %	0.00003 %
37	Rb2O	Rubidium	2.9315	0.00008 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	4646.4543	0.1162 %	0.0001 %
39	Y	Yttrium	28.9008	0.00059 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6031	0.00001 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.7352	0.00167 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	1.1962	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.7811	0.00061 %	0.00017 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.0000	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.4567	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.7010	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.6160	< 0.00004 %	(0.00004) %
82	PbO	Lead	5.7196	0.00053 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8975	0.00007 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.1843	0.00007 %	0.00004 %
92	U	Uranium	7.5253	< 0.00007 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 4-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	29.0523	1.221 %	0.029 %
12	MgO	Magnesium	128.7692	1.261 %	0.008 %
13	Al2O3	Aluminum	164.8483	0.4218 %	0.0024 %
14	SiO2	Silicon	952.9767	1.089 %	0.002 %
15	P2O5	Phosphorus	96.3385	0.04862 %	0.00060 %
16	SO3	Sulfur	606.9875	0.1577 %	0.0004 %
17	Cl	Chlorine	3132.5418	0.1553 %	0.0002 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21438.6232	56.64 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.8311	0.0090 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.8173	0.0081 %	0.0032 %
24	Cr2O3	Chromium	1.7886	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.6343	0.00566 %	0.00033 %
26	Fe2O3	Iron	291.0326	0.1531 %	0.0007 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	0.9023	0.00016 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	3.4286	0.00045 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.4671	< 0.00004 %	(0.00004) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.8523	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	34.4187	0.00137 %	0.00003 %
37	Rb2O	Rubidium	8.1947	0.00021 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	4161.1167	0.1037 %	0.0001 %
39	Y	Yttrium	26.2240	0.00053 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.8820	0.00009 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.0912	0.00142 %	0.00009 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.3322	0.00045 %	0.00015 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	1.9734	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.8120	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.6900	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.3428	0.00008 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	5.2809	0.00049 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8598	0.00007 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.3003	0.00008 %	0.00004 %
92	U	Uranium	7.1332	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 5-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	22.7606	0.843 %	0.024 %
12	MgO	Magnesium	266.0273	2.668 %	0.010 %
13	Al2O3	Aluminum	160.3255	0.4075 %	0.0023 %
14	SiO2	Silicon	1118.2133	1.273 %	0.002 %
15	P2O5	Phosphorus	106.3549	0.05360 %	0.00057 %
16	SO3	Sulfur	998.6222	0.2659 %	0.0005 %
17	Cl	Chlorine	729.7076	0.03428 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21170.5071	54.86 %	0.03 %
22	TiO2	Titanium	2.3073	0.0111 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	1.0154	0.0084 %	0.0027 %
24	Cr2O3	Chromium	1.5311	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.9858	0.00578 %	0.00033 %
26	Fe2O3	Iron	268.6413	0.1349 %	0.0007 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.5365	0.00026 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	4.9337	0.00063 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.7230	< 0.00004 %	(0.00004) %
33	As2O3	Arsenic	3.1261	0.00019 %	0.00003 %
34	Se	Selenium	3.4238	0.00014 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	18.4003	0.00071 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	8.7137	0.00022 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	4698.2883	0.1136 %	0.0001 %
39	Y	Yttrium	25.9922	0.00051 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6283	0.00002 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.3004	0.00146 %	0.00009 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.9498	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	4.9467	0.00114 %	0.00018 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	2.5681	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	1.5758	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.8453	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.0000	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.3291	0.00008 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	3.0570	0.00028 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.9405	0.00012 %	0.00003 %
92	U	Uranium	5.5876	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 6-1** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	23.8127	0.914 %	0.025 %
12	MgO	Magnesium	167.9927	1.663 %	0.008 %
13	Al2O3	Aluminum	126.8989	0.3145 %	0.0020 %
14	SiO2	Silicon	821.4034	0.9311 %	0.0020 %
15	P2O5	Phosphorus	99.2623	0.04953 %	0.00056 %
16	SO3	Sulfur	637.5989	0.1642 %	0.0004 %
17	Cl	Chlorine	659.7495	0.03037 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21910.5675	56.16 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.7825	0.0087 %	0.0018 %
23	V2O5	Vanadium	0.9446	0.0080 %	0.0027 %
24	Cr2O3	Chromium	2.5403	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	8.0907	0.00682 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	137.1997	0.05626 %	0.00041 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.6544	0.00029 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	4.0667	0.00052 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.5604	< 0.00005 %	(0.00005) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.0740	0.00013 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	22.8043	0.00089 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	4.6591	0.00012 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	4431.2427	0.1089 %	0.0001 %
39	Y	Yttrium	26.7056	0.00054 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.3799	0.00187 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	1.5345	< 0.0011 %	(0.0011) %
56	Ba	Barium	4.0056	0.00124 %	0.00028 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.2615	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	1.4943	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	1.2381	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.8325	< 0.00007 %	(0.00002) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	PbO	Lead	6.5963	0.00060 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.5423	0.00013 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	0.9073	< 0.00006 %	(0.00006) %
92	U	Uranium	5.6571	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 7-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	23.1776	0.884 %	0.025 %
12	MgO	Magnesium	191.2131	1.923 %	0.009 %
13	Al2O3	Aluminum	132.8744	0.3346 %	0.0021 %
14	SiO2	Silicon	765.7829	0.8780 %	0.0019 %
15	P2O5	Phosphorus	101.4979	0.05118 %	0.00057 %
16	SO3	Sulfur	719.4657	0.1886 %	0.0004 %
17	Cl	Chlorine	787.0559	0.03711 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21716.3076	55.87 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.2493	0.0061 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.9250	0.0080 %	0.0028 %
24	Cr2O3	Chromium	2.6102	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	5.1300	0.00431 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	164.3671	0.07283 %	0.00048 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.6533	0.00029 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	2.5145	0.00032 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	1.2865	0.00011 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.0360	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	21.3652	0.00083 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	4.0136	0.00010 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	4204.4880	0.1030 %	0.0001 %
39	Y	Yttrium	21.0994	0.00042 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	1.0922	0.00014 %	0.00003 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.5680	0.00195 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	1.3266	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.9574	0.00059 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.9100	0.00117 %	0.00027 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.3190	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.7336	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.3136	< 0.00002 %	(0.00002) %
82	PbO	Lead	5.0343	0.00046 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.9457	0.00012 %	0.00003 %
92	U	Uranium	5.5872	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 8-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	23.7345	0.929 %	0.025 %
12	MgO	Magnesium	86.3819	0.8135 %	0.0066 %
13	Al2O3	Aluminum	134.5373	0.3386 %	0.0021 %
14	SiO2	Silicon	901.7034	1.031 %	0.002 %
15	P2O5	Phosphorus	96.3542	0.04855 %	0.00056 %
16	SO3	Sulfur	400.6630	0.1002 %	0.0003 %
17	Cl	Chlorine	786.9155	0.03699 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21912.3847	56.76 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.3503	0.0067 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.9782	0.0082 %	0.0027 %
24	Cr2O3	Chromium	0.7921	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.1882	0.00528 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	203.2156	0.09816 %	0.00058 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	0.4359	< 0.00008 %	(0.00008) %
30	ZnO	Zinc	3.0622	0.00040 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.4359	< 0.00003 %	(0.00003) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	2.7166	0.00012 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	15.4811	0.00061 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	6.5656	0.00017 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	3908.4750	0.09725 %	0.00013 %
39	Y	Yttrium	31.0206	0.00063 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.2094	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.8720	0.00171 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	1.3411	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.4657	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	1.9393	0.00031 %	0.00012 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	4.3323	0.00157 %	0.00032 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	2.8816	0.00050 %	0.00016 %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	2.2701	0.00023 %	0.00004 %
74	WO3	Tungsten	0.0000	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.3615	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.9410	0.00006 %	0.00003 %
82	PbO	Lead	4.5827	0.00043 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.8134	< 0.00007 %	(0.00007) %
90	Th	Thorium	1.6481	0.00010 %	0.00004 %
92	U	Uranium	6.3158	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 8-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	22.2613	0.849 %	0.024 %
12	MgO	Magnesium	90.8226	0.8665 %	0.0068 %
13	Al2O3	Aluminum	103.6791	0.2542 %	0.0019 %
14	SiO2	Silicon	865.4677	0.9945 %	0.0020 %
15	P2O5	Phosphorus	101.2292	0.05114 %	0.00057 %
16	SO3	Sulfur	306.1783	0.07430 %	0.00027 %
17	Cl	Chlorine	901.1054	0.04281 %	0.00008 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	22130.8620	57.84 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	0.8517	0.0043 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.6362	0.0075 %	0.0037 %
24	Cr2O3	Chromium	1.7087	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	6.4194	0.00555 %	0.00033 %
26	Fe2O3	Iron	184.0135	0.08737 %	0.00054 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.8506	0.00033 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	3.2912	0.00044 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	1.8559	0.00008 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	11.7769	0.00047 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	6.1145	0.00016 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	2247.9402	0.05664 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	31.9447	0.00066 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.5390	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.8033	0.00207 %	0.00011 %
51	Sb2O5	Antimony	1.2027	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.7997	0.00058 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	2.6200	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.7623	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.0000	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.8938	< 0.00007 %	(0.00002) %
81	Tl	Thallium	1.6246	0.00010 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	3.8327	0.00036 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.6088	0.00014 %	0.00004 %
90	Th	Thorium	2.6656	0.00017 %	0.00003 %
92	U	Uranium	3.9852	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 9-2** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	21.9567	0.832 %	0.024 %
12	MgO	Magnesium	121.6154	1.204 %	0.008 %
13	Al2O3	Aluminum	82.3571	0.1957 %	0.0017 %
14	SiO2	Silicon	710.6943	0.8213 %	0.0020 %
15	P2O5	Phosphorus	81.3916	0.04140 %	0.00057 %
16	SO3	Sulfur	523.5513	0.1355 %	0.0003 %
17	Cl	Chlorine	536.2976	0.02468 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	21860.3293	57.00 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.6436	0.0081 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.0000	< 0.0053 %	(0.0053) %
24	Cr2O3	Chromium	2.3542	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	5.4570	0.00467 %	0.00033 %
26	Fe2O3	Iron	156.8634	0.06948 %	0.00048 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.6130	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.8552	0.00033 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	2.7610	0.00036 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.9493	0.00008 %	0.00003 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	1.7087	0.00011 %	0.00003 %
34	Se	Selenium	2.7719	0.00012 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	18.0579	0.00072 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	5.8421	0.00015 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	6910.9203	0.1728 %	0.0002 %
39	Y	Yttrium	34.0816	0.00070 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.2898	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	7.9852	0.00176 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	2.2586	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.5235	0.00050 %	0.00015 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.1481	0.00046 %	0.00013 %
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.0000	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.7811	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	1.8335	0.00011 %	0.00003 %
82	PbO	Lead	2.9346	0.00027 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	1.6490	0.00010 %	0.00004 %
92	U	Uranium	8.6357	0.00008 %	0.00001 %

Sample Name	**MNTS March2022 10-1**	Date of Receipt	03/10/2022
Description		Method	TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	21.4336	0.784 %	0.023 %
12	MgO	Magnesium	106.8376	1.019 %	0.007 %
13	Al2O3	Aluminum	86.7225	0.2027 %	0.0017 %
14	SiO2	Silicon	805.1980	0.9060 %	0.0019 %
15	P2O5	Phosphorus	102.7442	0.05077 %	0.00055 %
16	SO3	Sulfur	279.3593	0.06538 %	0.00025 %
17	Cl	Chlorine	457.6069	0.02007 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	22255.7552	57.22 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.4078	0.0070 %	0.0019 %
23	V2O5	Vanadium	0.6854	0.0080 %	0.0037 %
24	Cr2O3	Chromium	2.2356	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	5.9316	0.00508 %	0.00032 %
26	Fe2O3	Iron	186.5535	0.08806 %	0.00054 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.0756	0.00019 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	2.2356	0.00029 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
32	Ge	Germanium	0.2531	< 0.00002 %	(0.00002) %
33	As2O3	Arsenic	0.0000	< 0.00007 %	(0.0) %
34	Se	Selenium	3.0054	0.00013 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	11.0987	0.00044 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	5.9949	0.00015 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	2393.7873	0.05973 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	29.9217	0.00061 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
42	Mo	Molybdenum	0.6940	0.00004 %	0.00001 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.6026	0.00198 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	2.4065	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	2.3167	0.00047 %	0.00016 %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
57	La	Lanthanum	2.4015	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.1898	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	0.3796	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	0.7487	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
82	PbO	Lead	5.5995	0.00052 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	1.2601	0.00011 %	0.00003 %
90	Th	Thorium	1.2232	0.00008 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.1548	< 0.00010 %	(0.0) %

Sample Name **MNTS March2022 10-3** Date of Receipt 03/10/2022
Description Method TurboQuant-Powders

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	21.2679	0.786 %	0.023 %
12	MgO	Magnesium	105.7526	1.022 %	0.007 %
13	Al2O3	Aluminum	66.7773	0.1500 %	0.0016 %
14	SiO2	Silicon	705.1643	0.8038 %	0.0018 %
15	P2O5	Phosphorus	103.2682	0.05160 %	0.00056 %
16	SO3	Sulfur	336.0953	0.08165 %	0.00028 %
17	Cl	Chlorine	477.8684	0.02129 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	0.0000	< 0.0012 %	(0.0) %
20	CaO	Calcium	22271.7854	57.48 %	0.04 %
22	TiO2	Titanium	1.7352	0.0086 %	0.0018 %
23	V2O5	Vanadium	1.0390	0.0085 %	0.0026 %
24	Cr2O3	Chromium	2.1360	< 0.00015 %	(0.0) %
25	MnO	Manganese	4.9366	0.00422 %	0.00031 %
26	Fe2O3	Iron	151.3846	0.06590 %	0.00045 %
27	CoO	Cobalt	0.0000	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	0.0000	< 0.00006 %	(0.0) %
29	CuO	Copper	1.9673	0.00035 %	0.00007 %
30	ZnO	Zinc	3.2278	0.00042 %	0.00005 %
31	Ga	Gallium	0.3217	< 0.00003 %	(0.00003) %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	4.0136	0.00025 %	0.00003 %
34	Se	Selenium	3.3544	0.00014 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	10.2688	0.00041 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	5.4851	0.00014 %	0.00002 %
38	SrO	Strontium	2521.2085	0.06273 %	0.00010 %
39	Y	Yttrium	32.3887	0.00066 %	0.00002 %
40	ZrO2	Zirconium	0.0000	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	0.0499	< 0.00002 %	(0.00002) %
42	Mo	Molybdenum	0.7389	0.00005 %	0.00002 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	8.5370	0.00195 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.6525	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	3.5446	0.00083 %	0.00021 %
57	La	Lanthanum	3.0454	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
73	Ta2O5	Tantalum	1.1076	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	1.0707	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	2.0358	0.00012 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	2.8902	0.00027 %	0.00004 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	4.2721	0.00027 %	0.00003 %
92	U	Uranium	4.6940	< 0.00010 %	(0.0) %