ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΥΨΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΤΣΙ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ”

του

ΚΟΜΙΝΗ ΑΛΚΗ

Εξεταστική επιτροπή :

- **Αλεβίζος Γεώργιος** (Επίκουρος Καθηγητής , *Επιβλέπων*)
- **Γαλετάκης Μιχαήλ** (Αναπληρωτής Καθηγητής)
- **Ρεπούσκου Ευτυχία** (Δρ. Γεωλόγος)

Νοέμβριος 2012

"Eppur, si muove…"

Galileo Galilej

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ VII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι 1
1.1 Γενικά περί Εβαποριτών. 1
1.2 Χρήσεις εβαποριτών και η οικονομική τους σημασία 3
1.3 Γύψος - ανυδρίτης 3
1.4 Τα κοιτάσματα γύψου - ανυδρίτη της Κρήτης 6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ 9
2.1 Το κοίτασμα Αλτσί. 9
2.2 Πλεονεκτήματα κοιτάσματος Αλτσί. 12
2.3 Πορεία και εξέλιξη του κοιτάσματος γύψου – ανυδρίτη στη θέση Αλτσί. 12
2.4 Το λατομείο σήμερα. 14
2.5 Εκμετάλλευση κοιτάσματος. 14
2.6 Φόρτωση – Μεταφορά. 16
2.7 Το συγκρότημα θραύσης. 17
2.8 Λήψη δειγμάτων από το κοίτασμα. 19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ 21
3.1 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ 22
3.1.1. Θερμοβαρυτομετρική Ανάλυση (TG/DTA). 22
3.1.1.1. Αποτελέσματα μεθόδου Θερμοαρυτομετρικής Ανάλυσης (TG/DTA). 24
3.1.2. Απώλεια Πύρωσης (Loss On Ignition). 27
3.1.2.1. Αποτελέσματα μεθόδου Απώλειας Πύρωσης. 28
3.1.3. Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ (XRF). 29
3.1.3.1. Οι Θάλαμοι Ακτίνων-Χ. 30
3.1.3.2. Προετοιμασία δειγμάτων. 32

3.1.3.3. Η υδραυλική πρέσα του Εργαστηρίου. ... 34
3.1.3.4. Αποτελέσματα μεθόδου Φασματοσκοπίας Ακτίνων-Χ. ... 35
3.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ. ... 37
3.2.1. Η μέθοδος της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων-Χ (XRD). ... 37
3.2.1.1. Θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδου XRD. ... 38
3.2.1.2. Αποτελέσματα μεθόδου Περίθλασης Ακτίνων-Χ (XRD). ... 41
3.2.2. Μέθοδος Πολωτικής Μικροσκοπίας. ... 46
3.2.2.1. Το πολωτικό μικροσκόπιο. ... 46
3.2.2.2. Παρασκευή λεπτών τομών. ... 49
3.2.2.3. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). ... 52
3.2.2.4. Αποτελέσματα Πολωτικής Μικροσκοπίας. ... 54
3.2.3. Μέθοδος Μέτρησης Χρώματος (Colorimetry). ... 58
3.2.3.1. Φύση του χρώματος. ... 58
3.2.3.2. Φασματοφωτόμετρα. ... 59
3.2.3.3. Το σύστημα μέτρησης χρώματος CIE. ... 59
3.2.3.4. Λευκά πρότυπα. ... 62
3.2.3.5. Μεθοδολογία. ... 63
3.2.3.6. Μεθοδολογία μέτρησης χρώματος με το φασματοφωτόμετρο ανάκλασης EEL. ... 64
3.2.3.7. Τύποι υπολογισμού των δεικτών λευκότητας. ... 65
3.2.3.8. Αποτελέσματα μεθόδου Μέτρησης Χρώματος. ... 66
3.2.3.9. Επεξεργασία δεδομένων. ... 66
3.3. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ. ... 67
3.3.1. Το πρότυπο ASTM C472-99. ... 68
3.3.2. Ακολούθηση του Προτύπου στις Εργαστηριακές δοκιμές. ... 76
3.3.3. Μέθοδος Υπολογισμού Χρόνου Πήξεως (Μέθοδος Vicat). ... 77
3.3.3.1. Αποτελέσματα μεθόδου Υπολογισμού Χρόνου Πήξεως (Vicat). ... 78
3.3.4. Αξονική επιμήκυνση κονιάματος γύψου κατά την πήξη του. ... 80

3.3.4.1. Αποτελέσματα μεθόδου Αξονικής Επιμήκυνσης Κονιάματος κατά την πήξη..... 81

3.3.5. Προσδιορισμός της Αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη. 83

3.3.5.1. Αποτελέσματα μεθόδου Αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη. 87

3.3.6. Κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων laser. 88

3.3.6.1. Περιγραφή του αναλυτή Mastersizer 2000. 89

3.3.6.2. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης. 92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV..... 95

4.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων. 95

4.2. Προτάσεις. 98

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... 99

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 105

Προδιαγραφές εμπορικής γύψου Rigips Modellgips..... 106

Προδιαγραφές τελικού προϊόντος ΛΑΒΑ Μεταλλευτική & Λατομική Α.Ε. 107

Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε..... 108

Πίνακες αποτελεσμάτων Mastersizer 2000..... 109

Διαγράμματα Δοκιμής σε Μονοαξονική Θλίψη. 111

Ακτινοδιαγράμματα XRD 117

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία μελετώνται προκαταρκτικά οι ορυκτολογικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες δειγμάτων γύψου, προερχόμενα από το κοίτασμα της περιοχής Αλτσί, Ανατολικής Κρήτης, με σκοπό τη χρήση των αποθεμάτων αυτών στη βιομηχανία.

Στην προσπάθεια να γίνει η διπλωματική αυτή εργασία ουσιαστική και αξιόπιστη, η βοήθεια κάποιων ατόμων φάνηκε πολύτιμη.

Συγκεκριμένα, ευχαριστώ θερμά για τη βοήθεια και για την αβίαστη προσφορά των γνώσεων τους, τους καθηγητές **μου Dr. Αλεβίζο Γεώργιο**, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης και **Επιβλέποντα** της Διπλωματικής μου Εργασίας, τον **Dr. Γαλετάκη Μιχαήλ**, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και τη **Dr. Ρεπούσκου Ευτυχία**, Γεωλόγο, οι οποίοι με τις πολύτιμες συμβολές τους με βοήθησαν να πραγματοποιήσω ένα άρτιο αποτέλεσμα.

Κατά τη διενέργεια των Εργαστηριακών δοκιμών που απαιτούνταν για την μέτρηση των εκάστοτε χαρακτηριστικών των δειγμάτων, αντιμετωπίστηκαν κάποιες δυσκολίες που είχαν να κάνουν κυρίως με τη χρήση του εργαστηριακού εξοπλισμού. Για τη βοήθειά τους στον τομέα αυτόν, ευχαριστώ θερμά τους κ.κ. **Στρατάκη Αντώνιο**, **Αποστολάκη Γεώργιο** και **Μαυριγιαννάκη Στυλιανό**, καθώς και τις κυρίες **Παντελάκη Όλγα**, **Dr. Πεντάρη Δέσποινα,** Λέκτορα και **Dr. Κρητικάκη Άννα**.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους συμφοιτητές-συναδέλφους του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και τους προσωπικούς μου φίλους, οι οποίοι με διευκόλυναν αρκετές φορές προσφέροντάς μου άμεση πρόσβαση σε χαρτογραφικό υλικό που χρειάστηκε και **κυρίως** στη φάση της διόρθωσης του κειμένου της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου **την οικογένειά μου** για την υπομονή, την κατανόηση και τη συμπαράστασή της καθ'όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου αλλά και κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η προκαταρκτική μελέτη δειγμάτων από το κοίτασμα γύψου–ανυδρίτη της θέσης Αλτσί, Ανατολικής Κρήτης, ώστε να διερευνηθεί η καταλληλότητα αυτής προς οικοδομική-διακοσμητική χρήση.

Η προαναφερθείσα μελέτη συμπεριλαμβάνει την ανάλυση των:

i) **Χημικών**,
ii) **Ορυκτολογικών** και
iii) **Μηχανικών**

ιδιοτήτων των δειγμάτων αυτών, ώστε να αποκτηθεί μια πλήρης εικόνα για το κοίτασμα αυτό και να καταστεί δυνατή η αξιολόγησή του. Για την καλύτερη δε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, παράλληλα και καθ' όλα τα στάδια μελέτης, αναλύθηκε και δείγμα γύψου καλλιτεχνίας της εταιρίας BPB Rigips, με την επωνυμία Rigips Modellgips.

Τα **χημικά** και **ορυκτολογικά** χαρακτηριστικά των δειγμάτων αναλύθηκαν τόσο οπτικά, με τη παρασκευή και μελέτη λεπτών τομών από κάθε δείγμα του κοιτάσματος, όσο και χημικά με τις μεθόδους:

i) της περίθλασης ακτίνων-Χ (**XRD**),
ii) της ανάλυσης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, με ταυτόχρονη χημική ανάλυση (**SEM-EDS**), αλλά και με πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός,
iii) της Απώλειας Πύρωσης (**Loss On Ignition**),
iv) της Φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ (**XRF**) και
v) της Μέτρησης Χρώματος (**Colorimetry - Colour Measurement**).

Τέλος, το τμήμα των **μηχανικών ιδιοτήτων** αφορά στην αντοχή σε **μονοαξονική θλίψη**, την **ταχύτητα πήξεως** των δυο δειγμάτων γύψου και την **επιμήκυνση** (διαστολή) που παρουσίασε το δείγμα κατά τη διάρκεια της πήξης του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ – ΓΥΨΟΣ

1.1 Γενικά περί Εβαποριτών.

Με τον όρο εβαπορίτες αναφερόμαστε σε αποθέσεις ορυκτών, οι οποίες σχηματίζονται από την καθίζηση αλάτων σε αποκλεισμένα υδάτινα σώματα, όπως ενδοηπειρωτικές θάλασσες, ημιαπομονωμένες υδάτινες μάζες κοντά σε ακτές, ή λιμνοθάλασσες και λίμνες τύπου PLAYA. Οταν τέτοια υδάτινα σώματα υπόκεινται σε εξάτμιση, η οποία δεν μπορεί να εξισορροπηθεί από το νερό που παρέχεται από βροχοπτώσεις, την υπόγεια υδατορροή ή την ανοιχτή θάλασσα, τα άλατα στο διάλυμα αποκτούν μεγαλύτερη συγκέντρωση και επομένως αυξάνει η αλμυρότητα. Τελικά θα σχηματιστεί αλμυρό νερό από το οποίο θα αρχίσουν να καθιζάνουν άλατα. Η καθίζηση των αλάτων από αλμυρό νερό για το σχηματισμό εβαποριτών, εξαρτάται κυρίως από τη διαλυτότητα των αλάτων, τη θερμοκρασία και τη σύσταση των αλμυρών νερών.

Η πρώτη έρευνα για τη σειρά καθίζησης των αλάτων απ' το θαλάσσιο περιβάλλον έγινε από το Γάλλο χημικό **J. Usiglio**, ο οποίος εξάτμισε ένα δείγμα νερού από τη Μεσόγειο Θάλασσα και ανέλυσε την καθίζηση των ορυκτών και το υπολλειματικό νερό.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων βρήκε ότι σε μείωση 50% του αρχικού όγκου του δείγματος αρχίζει να καθιζάνει το $CaCO_3$, ενώ σε μείωση 15% έως 20% από τον αρχικό όγκο αρχίζει να καθιζάνει το $CaSO_4$. Μετά από μείωση στο 10% του αρχικού όγκου καθιζάνει το NaCl, ενώ ακόμα μεγαλύτερη εξάτμιση οδηγεί στο διαχωρισμό $MgSO_4$ και $MgCl_2$ και ακολουθούν το NaBr και το KCl. Τα αποτελέσματα του Usiglio δε συμφωνούν απόλυτα με τη συχνότητα των ορυκτών που παρατηρούνται σε μερικές αποθέσεις εβαπόριτων. Πολλά από τα προαναφερθέντα ορυκτά δεν είναι απίθανο να συνυπάρχουν. (Stewart, Fleischer, 1963)

Η απόθεση των εβαποριτών στη φύση όμως, δεν είναι τόσο απλή διαδικασία όσο η συνεχής εξάτμιση ενός δείγματος θαλασσινού νερού στο εργαστήριο. Αλλαγές στη θερμοκρασία, αλμυρότητα και σύσταση του αλμυρού νερού στη φύση μπορούν να παρατηρηθούν και οφείλονται σε πολλές αιτίες. Τέτοιες αλλαγές μπορούν να οδηγήσουν στην επαναδιάλυση (ή μετατροπή) προηγούμενα αποτιθεμένων ορυκτών και στο σχηματισμό νέων

και διαφορετικών. Τα αποθέματα εβαποριτών μπορεί να αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες σειρές, από ένα, δύο η τρία συνηθισμένα ορυκτά, όπως ασβεστίτης, αλίτης ή από μία τεράστια και πολύπλοκη ποικιλία 30 και άνω ιδιαιτέρων τύπων ορυκτών.

Περισσότερα από 80 ορυκτά έχουν αναγνωριστεί σε εβαπορίτες θαλάσσιας προέλευσης. Αυτά είναι κυρίως ανθρακικά, σουλφίδια και χλωρικά με μερικά βορικά, πυριτικά και άλλες ομάδες ορυκτών.

Εβαπορίτες που δε σχηματίστηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να περιλαμβάνουν πολλά από το ίδιο είδος ορυκτά, αλλά γενικότερα επιδεικνύουν μεγαλύτερη ποικιλία από εκείνους που αποτίθενται σε θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει γιατί η σύνθεση του θαλάσσιου νερού είναι σχεδόν παντού, περισσότερο σταθερή απ'αυτή των νερών που τροφοδοτούν λίμνες τύπου PLAYA , τα οποία αντανακλούν τη σύσταση των γειτονικών περιοχών στις οποίες βρίσκονται οι πηγές των νερών αυτών. Βορικά, νιτρικά, θειϊκά και ανθρακικά ορυκτά παρατηρούνται πιο συχνά σε μη θαλάσσιο περιβάλλον. (Μια λίμνη τύπου Playa σχηματίζεται όταν το νερό της βροχής γεμίζει ένα κυκλικού σχήματος κομμάτι εδάφους, χαμηλότερου υψομέτρου από τα περιβάλλοντά του και στη συνέχεια το νερό εξατμίζεται, δημιουργώντας έτσι ένα πεδίο αργίλου που αποκρυσταλλώνεται μαζί με άλατα τα οποία «έπεσαν» με τις κατακρημνίσεις.).

Όπως διαπιστώνεται με τα παραπάνω, οι εβαπορίτες αποτελούν παλαιογεωγραφικούς δείκτες με μεγάλη σημασία, όμως εκτός από αυτή τους την ιδιότητα, έχουν και πιθανή παλαιοκλιματολογική σημασία. Παρατηρούνται σε κάθε γεωλογικό σύστημα, αρχίζοντας απ'το Κάμβριο, πρίν από περίπου 570.000.000 χρόνια. Είναι παντού εξαπλωμένοι, παρατηρούνται σε κάθε ήπειρο, αλλά ένας βαθμιαίος περιορισμός προς τον Ισημερινό είναι δεδομένος, αν συνυπολογιστεί η κατανομή τους μέσα στο χρόνο. Αυτό το γεγονός, συνδυασμένο με την ανάγκη για υψηλούς βαθμούς εξάτμισης, έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες να πιστεύουν ότι οι εβαπορίτες είναι καλοί δείκτες παλαιοκλίματος.
(Ταυρής, 2008)

1.2 Χρήσεις εβαποριτών και η οικονομική τους σημασία

Οι εβαπορίτες είναι μια σημαντική κατηγορία βιομηχανικών ορυκτών με μεγάλη οικονομική σημασία. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα εβαποριτών είναι συνήθως κοιτάσματα γύψου – ανυδρίτη και αλίτη (χλωριούχου νατρίου) και βρίσκουν αξιοποίηση σε μια πληθώρα εφαρμογών. Τα περισσότερα κοιτάσματα γύψου – ανυδρίτη τροφοδοτούν τις τσιμεντοβιομηχανίες, καθώς η γύψος είναι βασικό συστατικό των τσιμέντων τύπου Πόρτλαντ (Portland), χρησιμοποιούμενη για τη ρύθμιση του χρόνου πήξης του τσιμέντου (setting time).

Παράλληλα, σημαντικό μέρος της παραγωγής γύψου χρησιμοποιείται στη γεωργία ως βελτιωτικό των εδαφών, ενώ βρίσκει χρήση και στις γεωτρήσεις πετρελαίου ως συστατικό των πολφών. Στη βιομηχανία χρωμάτων, καθώς και στη χαρτοβιομηχανία, η γύψος χρησιμοποιείται ως πληρωτικό υλικό. Στη χημική βιομηχανία η γύψος χρησιμοποιήθηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα για την παραγωγή θειικού οξέος (H_2SO_4).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της εξορυσσόμενης γύψου χρησιμοποιείται σήμερα στην παραγωγή γυψοσανίδων και πολλών ειδών κονιαμάτων. Πέρα όμως από τις βιομηχανικές χρήσεις των εβαποριτών, η μεγάλη οικονομική τους σημασία έγκειται στο γεγονός ότι συμμετέχουν ουσιαστικά, λόγω των ιδιοτήτων τους (πλαστικότητα, πολύ μικρό ενεργό πορώδες), στη δημιουργία «παγίδων πετρελαίου», γεγονός που τους καθιστά πρωταρχικούς στόχους στην έρευνα κοιτασμάτων πετρελαίου, όπως στο κοίτασμα του ΝΔ Ιράν. (Pourmorad, Dr. Reza Mosavi harami, Batvandi, 2010)

1.3 Γύψος - ανυδρίτης

Η **γύψος** ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ή αλλιώς διυδρίτης, και ο **ανυδρίτης** ($CaSO_4$) αποτελούν τις φυσικές μορφές του θειικού ασβεστίου. Η γύψος, στην καθαρή της μορφή, είναι από διαφανής έως λευκή και παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις στην χημική της σύσταση. Εκφράζοντας την σύσταση υπό μορφή οξειδίων, η γύψος περιέχει **32.5% CαO**, **46.6% SO_3** και **20.9% H_2O**.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της είναι ο τέλειος σχισμός και η σκληρότητα 1.5-2 της κλίμακας Mohs. Οι εμπορικά εκμεταλλεύσιμες αποθέσεις γύψου σπάνια παρουσιάζουν την προαναφερόμενη καθαρή σύσταση. Συνήθως περιέχουν κυμαινόμενα ποσοστά ανυδρίτη,

ασβεστόλιθου, δολομίτη, αργίλου, σιδηρούχων ενώσεων και πυριτίου. Μια τέτοιου είδους γύψος εμφανίζεται σε χρώματα γκρι, καφέ, κόκκινο ή ροζ, ανάλογα με τις προσμίξεις που παρουσιάζει. Είναι ελαφρά διαλυτή στο νερό και κατά τα λοιπά χαρακτηρίζεται ως αδρανές ορυκτό που αντιστέκεται στις χημικές αλλαγές, παρουσιάζοντας εξαιρετική αντίσταση στη φωτιά, λόγω της απομάκρυνσης του περιεχόμενου νερού με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η διαλυτότητα αυξάνεται όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 42°C και η γύψος μετατρέπεται σε ανυδρίτη.

Ο **ανυδρίτης**, στην καθαρή μορφή του, περιέχει 58.8% SO_3 , που ισοδυναμεί με 23.5% S, και 41.2% CaO. Δεν περιέχει καθόλου κρυσταλλικό νερό και διαλύεται στο νερό με μικρότερους ρυθμούς από τη γύψο. Το τελικό αποτέλεσμα της έκθεσης του ανυδρίτη στο νερό είναι η ενυδάτωση του και η μετατροπή του σε γύψο. Η ταχύτητα αυτής της μετατροπής αυξάνεται όσο πιο λεπτομερής είναι ο ανυδρίτης.

Τα χρώματα με τα οποία εμφανίζεται είναι το λευκό, σε τόνους του γκρι, μπλε, καφέ ή κόκκινου. Η σκληρότητα του είναι 3-3.5 της κλίμακας Mohs και παρουσιάζει τρεις διευθύνσεις σχισμών κάθετες μεταξύ τους.

Η γύψος παρουσιάζεται σε διάφορες ποικιλίες. Ο **σελενίτης** αποτελεί τη διάφανη μορφή της γύψου. Το **αλάβαστρο** είναι η λεπτοκοκκώδης, συμπαγής μορφή της γύψου που προσομοιάζει με το μάρμαρο. Η ινώδης, μεταξώδης μορφή αποκαλείται **satin-spar**. Το μίγμα γύψου-αργίλου-άμμου ονομάζεται **γυψίτης**.

Σε θερμοκρασίες 150° C - 165° C η γύψος αποβάλλει σχεδόν τα 3/4 του νερού παρακράτησής της. Το προϊόν αυτής της θέρμανσης είναι ο **ημιυδρίτης** ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$), ο οποίος, με την προσθήκη νερού, μετατρέπεται σε γύψο. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες η γύψος μετατρέπεται σε **ανυδρίτη**. Οι παραπάνω μετατροπές αποτυπώνονται στην ακόλουθη αντίδραση:

$$\mathbf{CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O \rightarrow CaSO_4}$$

Ο ημιυδρίτης αποκαλείται επίσης και ως **γυψοκονίαμα των Παρισίων** (Plaster of Paris), ενώ συγκεκριμένα η μορφή του που απαντάται στη φύση αποκαλείται **βασανίτης**.

Υπάρχουν δύο τύποι ημιυδρίτη, γνωστοί ως **α-ημιυδρίτης** και **β-ημιυδρίτης**. Ο πρώτος είναι πιο σταθερός από το δεύτερο και παρουσιάζει διαφορετικές φυσικές ιδιότητες εξαιτίας του μεγαλύτερου μεγέθους των κρυστάλλων του. Ο φυσικός ημιυδρίτης, ή αλλιώς β-ημιυδρίτης ή και βασανίτης, είναι σταθερός σε θερμοκρασίες της τάξεως των 1200° C, παρόλο που η διάλυση του μπορεί να ξεκινά από τους 900°C. Ο α-ημιυδρίτης είναι η μορφή του άνυδρου θειικού ασβεστίου που παρατηρείται σε θερμοκρασίες πάνω από τους 1200°C.

Η γύψος και ο ανυδρίτης αποτελούν τα πρώτα από τα θειικά ορυκτά που αποτίθενται από εξατμιζόμενο νερό που περιέχει 0.14% κ.β. θειικό ασβέστιο. Ακολουθούν κατά σειρά ο αλίτης και τα άλλα μαγνησιούχα και καλιούχα ορυκτά. Το ορυκτό που αποτίθεται κάθε φορά καθορίζεται από τη θερμοκρασία και από τη συγκέντρωση κάθε ορυκτού στο διάλυμα. Δεν είναι απολύτως ξεκάθαρο ποιο από τα ορυκτά, γύψος ή ανυδρίτης, αποτίθεται πρώτο. Από πειράματα έχει παρατηρηθεί ότι η γύψος αποτίθεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 42°C, ενώ ο ανυδρίτης σχηματίζεται πάνω από 42°C.

Όταν το θαλασσινό νερό εξατμίζεται σε θερμοκρασία 30°C, τότε περίπου η μισή ποσότητα θειικού ασβεστίου που περιέχεται στο νερό αποτίθεται υπό μορφή γύψου. Στη συνέχεια, μόλις η συγκέντρωση των αλάτων αυξηθεί στο πενταπλάσιο της συγκέντρωσης του κανονικού θαλασσινού νερού, τότε αποτίθεται υπό μορφή ανυδρίτη η εναπομείνουσα ποσότητα του θειικού ασβεστίου. Επομένως, αν μια απόθεση ανυδρίτη αποδειχθεί ότι σχηματίστηκε σε θερμοκρασία χαμηλότερη από 42°C, τότε πρέπει να θεωρηθεί ότι τουλάχιστον κάποιο τμήμα αυτής της απόθεσης είναι δευτερογενές. Ο ανυδρίτης είναι η επικρατούσα μορφή σε μεγάλα βάθη, εξαιτίας της αφυδάτωσης της γύψου. Η αντίθετη διαδικασία μετατροπής του ανυδρίτη σε γύψο, ή αλλιώς **γυψοποίηση του ανυδρίτη**, λαμβάνει χώρα όταν ο ανυδρίτης ανέλθει από τα μεγάλα βάθη σε μικρότερα, όπου επηρεάζεται από την κυκλοφορία του υπεδαφικού νερού, καθώς επίσης και σε εκείνα τα βάθη όπου ο ανυδρίτης βρίσκεται σε επαφή με πετρώματα που φέρουν νερό. (Μαριολάκος, Φουντούλης, 2000)

1.4 Τα κοιτάσματα γύψου - ανυδρίτη της Κρήτης

Σύμφωνα με τις εργασίες του Παπασταματίου (1965), τα κοιτάσματα γύψου – ανυδρίτη μέσα στους κατώτερους φυλλίτες είναι Περμικής και όχι Τριαδικής ηλικίας, τα οποία αποτέθηκαν σε λιμνοθάλασσες της εποχής εκείνης, στο νησιωτικά διαμορφωμένο χώρο της νότιας περιοχής της Ελλάδας. Διαπιστώθηκε ακόμη ότι στα κοιτάσματα περμικής γύψου συμμετέχει σταθερά ο ανυδρίτης. Η περμική γύψος είναι στιφρή έως μικροκρυσταλλική, κοκκώδους υφής, σακχαρώδους όψεως, χρώματος λευκού και σπανιότερα υποκύανου. Ο ανυδρίτης είναι αδροκρυσταλλικός με υποκύανο χρώμα. Ποιοτικά η περμική γύψος είναι πολύ καλή. Η μέση περιεκτικότητα σε $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ κυμαίνεται γύρω στο 90% στα περισσότερα κοιτάσματα, με τα αποθέματα να είναι πολύ σημαντικά. Γενικά, εβαπορίτες του Περμίου και του Τριαδικού αποτελούν το 35% περίπου των παγκόσμιων εβαποριτικών πόρων. Μερικά κοιτάσματα είναι πραγματικά προνομιούχα, όχι μόνο για το μέγεθος των αποθεμάτων και την ανώτερη ποιότητα γύψου, αλλά και γιατί βρίσκονται κοντά σε ακτή, διαμορφωμένη σε ορμίσκους, επιτρέποντας έτσι την προσέγγιση και φόρτωση πλοίων.

Πρόκειται για τα κοιτάσματα στο **Αλτσί**, στο **Στόμιο** και στο **Κάβο Σίδερο**. Η περμική γύψος προέκυψε από ενυδάτωση ανυδρίτη και γι'αυτό εμφανίζεται στα ανώτερα μέρη του κοιτάσματος, ενώ στο βάθος επικρατεί ανυδρίτης. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης οι μεταναστεύσεις των κοιτασμάτων γύψου – ανυδρίτη υπό την επίδραση ισχυρών τεκτονικών πιέσεων. Τέτοια μετανάστευση φαίνεται να έχει γίνει στο κοίτασμα Αλτσί και σε άλλα μικρότερα κοιτάσματα στη Σφάκα Σητείας. Η μετατροπή γύψου σε ανυδρίτη, συνοδευόμενη από διόγκωση, ήταν αιτία δημιουργίας μικροπτυχών τόσο στο κοίτασμα όσο και στους γειτονικούς φυλλίτες. Συνηθισμένη επίσης είναι η σχιστοποίηση της γύψου λόγο τεκτονικών πιέσεων (Kostakis et al., 2004).

Στην Κρήτη εμφανίζεται και δεύτερη κατηγορία κοιτασμάτων γύψου, πολύ νεώτερης ηλικίας. Η γένεση τους ανάγεται στο Πλειόκαινο (πριν από περίπου 2,5 εκατομμύρια χρόνια) και παρεμβάλλονται μέσα σε πλειοκαινικές μάργες. Τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά αυτής της γύψου διαφέρουν πολύ από αυτά της περμοτριαδικής γύψου.

Η πλειοκαινική γύψος εμφανίζεται σε δύο τύπους:

I. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει αδροκρυσταλλική γύψο, με μέσο μέγεθος κρυστάλλων 3 cm. Η ποιότητα είναι άριστη και δεν υπάρχει ανυδρίτης. Κατά θέσεις μέσα στο κοίτασμα εμφανίζεται γύψος, διαυγέστατη σε μεγάλους κρυστάλλους, το μήκος των οποίων ξεπερνά τα 50 cm. Η γύψος αυτή είναι δευτερογενής και άριστης ποιότητας.

II. Η γύψος του δεύτερου τύπου είναι στιφρή, με αυξημένη διαφάνεια. Είναι παραπλήσιος τύπος αλάβαστρου, συνήθως όμως έχει ελαφρά υποκίτρινη απόχρωση.

Κοιτάσματα **αδροκρυσταλλικής γύψου** υπάρχουν πολλά. Τα περισσότερο ενδιαφέροντα βρίσκονται κοντά στο χωριό Μύρτος Ιεράπετρας. Τα αποθέματα είναι μεγάλα και η ποιότητα άριστη ($CaSO_4 \cdot 2H_2O \approx 95\%$). Άλλα μικρότερα κοιτάσματα βρίσκονται στις πλειοκαινικές μάργες κατά μήκος παράκτιας ζώνης, από τη Βιάννο μέχρι το ανατολικότερο άκρο της νήσου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΑΛΤΣΙ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ – ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

2.1 Το κοίτασμα Αλτσί.

Το κοίτασμα της θέσης Αλτσί Ανατολικής Κρήτης βρίσκεται περί τα 2 χιλιόμετρα βόρεια-βορειοδυτικά του χωριού Λάστρος της Δυτικής Σητείας. Διατέμνεται από τη δημόσια οδό Αγ.Νικολάου-Σητείας και εκτείνεται από το σημείο αυτό προς βορρά, μέχρι τον όρμο Αλτσί. Κατά μήκος της εθνικής οδού, δυτικά της μεγάλης εμφάνισης, βρίσκονται μικρά κοιτάσματα γύψου, ασήμαντα ποσοτικώς.

Η κύρια εμφάνιση γύψου-ανυδρίτη έχει σχήμα ελλειπτικό, της οποίας ο μέγιστος άξονας έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Κατά τη διεύθυνση αυτή, το μήκος της εμφάνισης είναι 1500 μέτρα περίπου. Το πλάτος αυτής κυμαίνεται από 400 έως 1000 μέτρα. Η γύψος συνολικά καλύπτει έκταση 1250 τετραγωνικά χιλιόμετρα και η μέγιστη υψομετρική διαφορά ανέρχεται στα 350 μέτρα περίπου.

Εικόνα 2.1 : Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος Αλτσί, όπως φαίνεται από ύψος περίπου 9.000 ποδών. (Πηγή: Google Earth).

Δυτικά της εμφάνισης, στη θέση Μαύρη Πλάκα, αναπτύσσεται το κοίτασμα της γύψου. Στο κοίτασμα αυτό υπόκειται ο τριαδικός σπογγώδης - κυψελώδης τεφρός δολομίτης που συνήθως συνοδεύει κοιτάσματα γύψου. Ακολουθούν υποπράσινα φυλλιτικά στρώματα με ασβεστιτικά εκκρίματα στον ανώτερο ορίζοντα και στη συνέχεια λεπτοπλακώδης ασβεστόλιθος. Η γύψος στον αυχένα του λόφου Κουκούτσα καλύπτεται από τεφρομέλανους δολομίτες, συμπαγείς, κυψελώδους υφής κατά θέσεις. Κατά την άνοδο από τη θέση Αγ. Παντελεήμονας προς Καψά, τους υπερκείμενους της γύψου δολομίτες διαδέχεται ένα λεπτό στρώμα φυλλιτών ή μαύροι ασβεστόλιθοι με κονδύλους ή φακοειδείς λεπτές ενστρώσεις κερατολίθων, πιθανόν Ιουρασικής ηλικίας.

Λόγω των έντονων τεκτονικών διαταραχών, τα στρώματα δεν έχουν ενιαία παράταξη. Δυτικά της εμφάνισης, το υποκείμενο της γύψου έχει διεύθυνση Β 40° Α και κλίση 45° προς ΒΑ. Στις ανατολικές, απόκρημνες ακτές του όρμου Αλτσί, το κοίτασμα έρχεται σε ανώμαλη επαφή με φυλλίτες. Η φυλλιτική σειρά, η οποία περιλαμβάνει ασβεστολιθικές ενστρώσεις, φακοειδούς μορφής, έχει πτυχωθεί έντονα, προφανώς λόγω των ασκούμενων πιέσεων κατά τη διόγκωση του κοιτάσματος, οφειλόμενη στη μετατροπή του ανυδρίτη σε γύψο. Το κοίτασμα συνολικά έχει υποστεί τεκτονικές πιέσεις και τμήματα αυτού έχουν σχιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό.

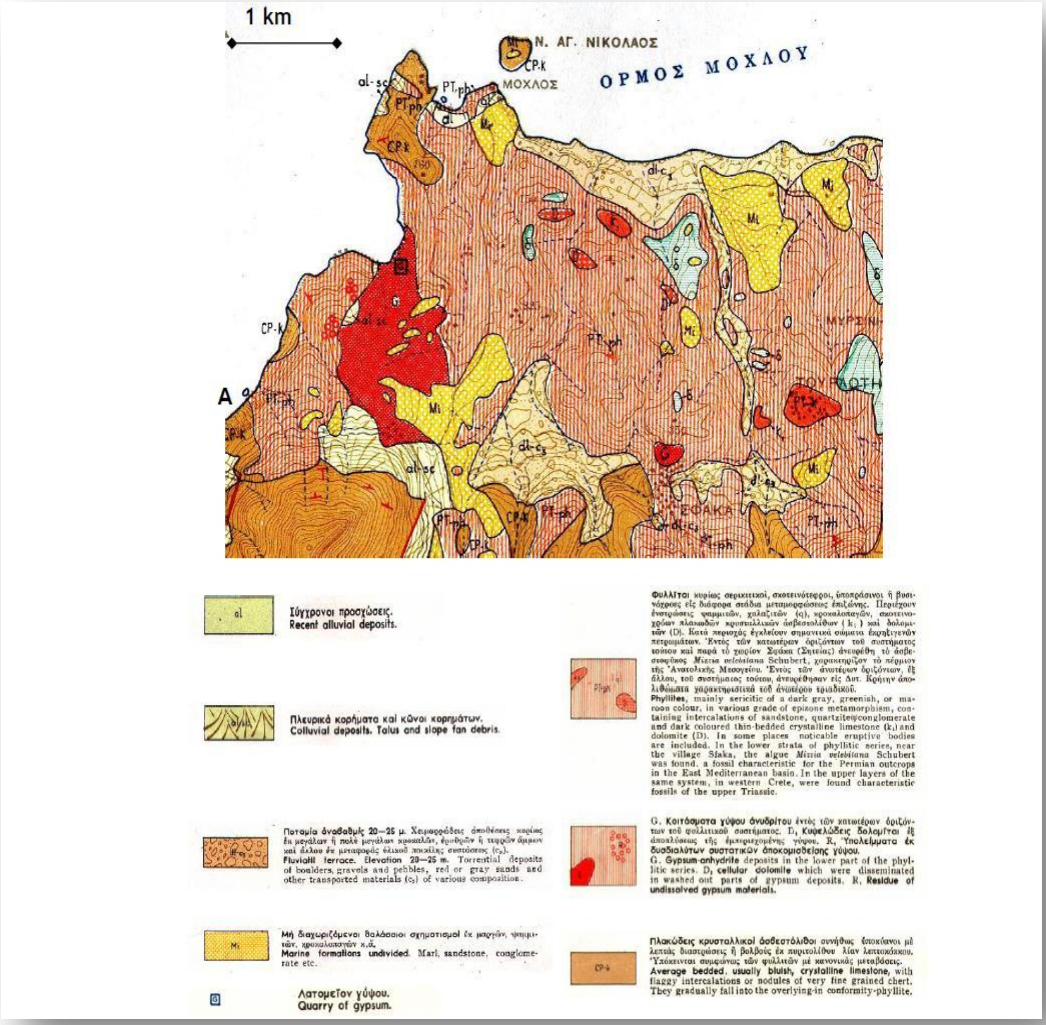
Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι το συγκεκριμένο κοίτασμα γύψου-ανυδρίτη, μαζί με τους συνοδεύοντες δολομίτες, αποτελεί ένα μεγάλο φακοειδές στρώμα εντός των φυλλιτικών στρωμάτων της Σητείας και έχει υποστεί έντονες τεκτονικές πιέσεις. Το κοίτασμα της γύψου είναι καθαρό, ιδίως στα κατώτερα στρώματα, κατά θέσεις όμως περιέχει στείρα υλικά και τεμάχια στιφρού μαύρου ασβεστόλιθου, με βιτουμενώδη οσμή κατά τη θραύση. Τα ασβεστολιθικά αυτά τεμάχια ποικίλλουν σε μέγεθος και διατάσσονται παράλληλα προς τη στρώση. Κατά τη διάβρωση των επιφανειακών τμημάτων του κοιτάσματος απελευθερόνονται μαύροι ασβεστόλιθοι ή δολομίτες, παραμένοντας διάσπαρτοι στα ομαλά τμήματα ή συγκεντρωμένοι σε κώνους, στις πλαγιές του λόφου.

Η αναλογία των στείρων, σύμφωνα με ελέγχους, ποικίλλει ευρέων ορίων στις διάφορες θέσεις του κοιτάσματος. Από τις χημικές αναλύσεις προκύπτει ότι η εμπορική γύψος έχει μέση περιεκτικότητα 94,5 % σε ένυδρο θειϊκό ασβέστιο ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ο δε ανυδρίτης σχεδόν στερείται ξένων προσμίξεων. Σύμφωνα μάλιστα με μικροσκοπική εξέταση παρασκευασμάτων γύψου και ανυδρίτη από τα παράκτια τμήματα του κοιτάσματος, επιβεβαιώνεται αυτή η καθαρότητα, από πληθώρα ανεξάρτητων ερευνητών.

Η **εμπορεύσιμη γύψος** στη θέση Αλτσί κατατάσσεται εμπειρικά σε τρεις κατηγορίες :

i. Γύψος λευκή, κρυσταλλική, σακχαρώδης,
ii. Γύψος υποκύανη με ζωνώδη υφή και
iii. Γύψος κυανή.

Το κοίτασμα είναι κατ'εξοχήν ογκώδες. Τα υπάρχοντα αποθέματα γύψου-ανυδρίτη ανέρχονται στα 180.000.000 κυβικά μέτρα ή αλλιώς **135.000.000 κυβικά μέτρα καθαρού προϊόντος**, εξαιρώντας το 25% του κοιτάσματος που αφορά στα στείρα υλικά. Εάν δε, ως **μέσο** ειδικό βάρος γύψου θεωρήσουμε το 2.5, τα αποθέματα γύψου-ανυδρίτη ανέρχονται σε 270.000.000 τόννους. (Παπασταματίου, 1958)



Εικόνα 2.2 : Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης με το αντίστοιχο υπόμνημα. Μεταλλογενετικός χάρτης κλίμακας 1:1.000.000, έκδοσης Ι.Γ.Ε.Υ. (1965)

2.2 Πλεονεκτήματα κοιτάσματος Αλτσί.

Το κοίτασμα γύψου-ανυδρίτη στο Αλτσί παρουσιάζει τα κάτωθι χαρακτηριστικά :

- Η ποιότητά του είναι πολύ καλή. Το ένυδρο θειϊκό ασβέστοι της εμπορεύσιμης γύψου είναι 94.5% κατά μέσο όρο. Ο ανυδρίτης περιέχει περίπου 96% θειϊκό ασβέστιο.

- Τα αποθέματα είναι της τάξεως των εκατοντάδων εκατομμυρίων τόννων.

- Η βόρεια άκρη του κοιτάσματος αναπτύσσεται σε ακτή, με μέτωπο περίπου 300 μέτρων.

- Η ακτή διαμορφώνεται στον όρμο Αλτσί, ο οποίος δεν προσβάλλεται από βόρειους ανέμους. Τα βάθη του όρμου αυτού και η γενικότερη διαμόρφωση των ανατολικών ακτών προσφέρονται για εγκαταστάσεις ταχείας φορτώσεως σε πλοία-φορτηγά (φορτηγίδες).

2.3 Πορεία και εξέλιξη του κοιτάσματος γύψου – ανυδρίτη στη θέση Αλτσί.

Η εξορυκτική δραστηριότητα στο κοίτασμα γύψου-ανυδρίτη στη θέση «Αλτσί» του δήμου Σητείας, Νομού Λασιθίου, άρχισε τη δεκαετία του 1950, με μικρές παραθαλάσσιες εκμεταλλεύσεις μέσα στον ομώνυμο όρμο. Η μεταφορά της παραγωγής στα εργοστάσια τσιμέντου γινόταν με καΐκια που αγκυροβολούσαν μέσα στον όρμο και φόρτωναν μικρούς όγκους γύψου τους οποίους οι εργάτες φόρτωναν σε βάρκες και στη συνέχεια κωπηλατούσαν μέχρι τα καΐκια. Στην δεκαετία του 1960 η εκμετάλλευση άρχισε να γίνεται με μηχανικά μέσα και καθοριστική ήταν η εξόφληση του κοιτάσματος γύψου στην περιοχή «Κάβο Σίδερο» (στο ανατολικό ακρωτήριο της Κρήτης), που ανάγκασε τον αποκλειστικό προμηθευτή της τσιμεντοβιομηχανίας ΗΡΑΚΛΗΣ να μεταφερθεί στο κοίτασμα του Αλτσί.

Την ίδια περίπου εποχή ο Μ. ΜΑΣΣΑΡΟΣ, που είχε μικρή εκμετάλλευση μέσα στον όρμο και ήταν αποκλειστικός προμηθευτής της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN, μετακινείται στη σημερινή θέση λειτουργίας του λατομείου γύψου του Ομίλου TITAN AE, αγοράζει

γυψοφόρες εκτάσεις ή εξασφαλίζει δικαιώματα εκμετάλλευσης και χρήσης, εγκαθιστά ντιζελοκίνητη γεννήτρια για τη λειτουργία σπαστήρα, διαμορφώνει στην απόκρημνη παραλία χώρο συγκέντρωσης του θραυσμένου υλικού, διαμορφώνει μια υποτυπώδη σκάλα φόρτωσης πλοίων με την εγκατάσταση μιας ντιζελοκίνητης μεταφορικής ταινίας και δημιουργεί μια εκμετάλλευση δυναμικότητας 50.000 τόνων ετησίως. Στο τέλος της δεκαετίας του 1960 έρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή, ο σπαστήρας μεταφέρεται κοντά στο κοίτασμα, η παραγωγή του μεταφέρεται με αυτοκίνητα σε χώρο συγκέντρωσης στο χείλος της απόκρημνης ακτής και δημιουργείται το σύστημα φόρτωσης πλοίων στην τελική θέση λειτουργίας. Η δυναμικότητα της μονάδας αυξάνεται στους 100.000 τόνους περίπου ετησίως.

Ο Όμιλος ΤΙΤΑΝ ΑΕ με τη μορφή της θυγατρικής εταιρίας ΕΛΜΜΕ ΑΕ αγοράζει το 1981 την ιδιοκτησία και την εκμετάλλευση ΜΑΣΣΑΡΟΥ και αυξάνει τα αποθέματα γύψου με την αγορά όμορης γυψοφόρου έκτασης. Το 1988, ενοικιάζει γυψοφόρο έκταση, η οποία εντάσσεται μέσα στο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης και αυξάνονται ακόμη περισσότερο τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα γύψου. Με βελτιώσεις στον κινητό μηχανολογικό εξοπλισμό λειτουργεί την εκμετάλλευση μέχρι το 1989, οπότε το συγκρότημα θραύσης εκσυγχρονίζεται και μεταφέρεται στο χώρο συγκέντρωσης του θραυσμένου γύψου, ο οποίος σταδιακά διευρύνεται και αποκτά χωρητικότητα 15.000 τόνων περίπου. Το σύστημα φόρτωσης πλοίων αναμορφώνεται και γίνεται αποδοτικότερο και ασφαλέστερο, ενώ ολόκληρος ο κινητός μηχανολογικός εξοπλισμός ανανεώνεται, μεγεθύνεται και σταδιακά εκσυγχρονίζεται.

Τέλος, το 1994, δημιουργείται η θυγατρική εταιρία του Ομίλου ΤΙΤΑΝ η ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΕ, η οποία απορροφά μαζί με άλλες θυγατρικές εταιρίες και την ΕΛΜΜΕ ΑΕ και, έκτοτε, εργάζονται 13 εργαζόμενοι διαφόρων ειδικοτήτων.

(Πηγή: http://www.lava.gr/whoweare/facilities/mine-plaster-Altsi/)

2.4 Το λατομείο σήμερα.

Το γυψορυχείο του Αλτσί είναι μια υπαίθρια εκσκαφή και η μέθοδος εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται είναι αυτή των ορθών βαθμιδών. Η αποκόλληση των εκμεταλλεύσιμων όγκων γίνεται με τη χρήση εκρηκτικών υλών. Οι βαθμίδες του κοιτάσματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ορθές και το ύψος τους κυμαίνεται περίπου στα 15 μέτρα, ενώ το πλάτος τους εξαρτάται από το εάν είναι ενεργές ή όχι. Το κατώτερο σημείο της εκσκαφής βρίσκεται στο υψόμετρο 180 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας και φτάνει μέχρι τα 385 μέτρα στο ανώτερο σημείο της. Επίσης στο χώρο εκσκαφής έχουν δημιουργηθεί τέσσερις πλατείες όπου διευκολύνουν τις εργασίες, φόρτωσης, στις υπάρχουσες ενεργές βαθμίδες. Η μεγαλύτερη από αυτές τις πλατείες βρίσκεται στο κατώτερο σημείο της εκσκαφής (200 μέτρα) και οι υπόλοιπες τρεις, οι οποίες είναι και μικρότερες, σε ύψος 317, 294 και 214 μέτρων αντίστοιχα.

Στα κατώτερα τμήματα της εκμετάλλευσης, έχουν εγκατασταθεί το συνεργείο του μηχανολογικού εξοπλισμού καθώς και τα γραφεία του υπευθύνου μηχανικού. Εκτός του μηχανικού εκμετάλλευσης, στο λατομείο, όπως αναφέρθηκε, απασχολούνται άλλα 13 άτομα προσωπικού. Το προσωπικό αυτό καλύπτει τις ειδικότητες εργοδηγού, συντηρητών εγκαταστάσεων, μηχανολογικού εξοπλισμού, και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, χειριστή διατρητικού εξοπλισμού, γομωτή, χειριστών σκαπτικών μηχανημάτων, οδηγών φορτηγών και εργατών στο λατομείο. Τέλος πλησίον της θάλασσας λειτουργεί το συγκρότημα θραύσεως με την εκεί εγκατεστημένη σκάλα φόρτωσης (120 μέτρα υψόμετρο).

2.5 Εκμετάλλευση κοιτάσματος.

Το ορυχείο γύψου στο Αλτσί είναι υπαίθριο. Η εξόρυξη γίνεται με εκρηκτικά και το εξορυγμένο υλικό μεταφέρεται στην εγκατάσταση θραύσης. Σήμερα η δυναμικότητα της εκμετάλλευσης είναι περίπου 300.000 τόνοι ανά έτος, φορτώνονται πλοία χωρητικότητας μέχρι 3.000 τόνων.

Το τελικό προϊόν του ορυχείου αποτελείται από άνυδρο και ένυδρο γύψο. Προορίζεται για αποκλειστική χρήση από την τσιμεντοβιομηχανία. Οι προδιαγραφές του παραγομένου προϊόντος είναι:

Καθαρότητα (στη μορφή $CaSO_4.2H_2O+CaSO_4$)	Min. 88%
Θειικός Ανυδρίτης (SO_3)	Min. 42%
Γύψος (CaSO4.2H2O)	Min. 10%
Ανθρακικά (CaCO3)	Max. 12%
Κοκκομετρία	85-90% διερχόμενα 50 μm, 95-100% διερχόμενα 80 μm
Υγρασία %	< 3%

Πίνακας 2.1 : Οι προβλεπόμενες, από τη «ΛΑΒΑ Μεταλλευτική», προδιαγραφές παραγόμενου προϊόντος.

Η εξόρυξη της γύψου πραγματοποιείται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με την όρυξη διατρημάτων και τη χρήση εκρηκτικών υλών. Τα διατρήματα διανοίγονται με τη χρήση διατρητικού φορείου Atlas Copco TC110, το οποίο φέρει στο πίσω μέρος του ανεξάρτητο υπερσυμπιεστή Atlas Copco XAHS 235 και χρησιμοποιεί αερόσφυρα των 3,5 ιντσών.

Εικόνα 2.3 : Το διατρητικό φορείο Atlas Copco TC110.

Στις ενεργές βαθμίδες του λατομείου, το βάθος της διάτρησης είναι περίπου 15,5 μέτρα/διάτρημα, έτσι ώστε να προκύπτει λειτουργικό ύψος 14 μέτρων, ενώ το αντίστοιχο βάθος σε αυτές που βρίσκονται σε φάση εξόφλησης είναι 15 μέτρα. Τα διατρήματα κατά τη φάση της εξόρυξης διατάσσονται συνήθως σε μονή σειρά των 10 έως 12 διατρημάτων με απόσταση 3,5 μέτρα μεταξύ αυτών και 3,5 μέτρα από το μέτωπο της βαθμίδας. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις μετώπων, όπως αυτών που βρίσκονται στη φάση εξόφλησης, όπου τα διατρήματα διατάσσονται σε δυο ή μέχρι το πολύ τρεις σειρές.

Τέλος, λόγω της έντονης κλίσης στα άκρα της εκμετάλλευσης, διανοίγονται παραοριζόντια διατρήματα (ντούκια) μήκους περίπου 9 μέτρων. Έτσι, η εκλυόμενη ενέργεια από την έκρηξη έχει κατακόρυφη διεύθυνση και τα υλικά της ανατίναξης εκτινάσσονται προς τα πάνω και όχι προς τις πλαϊνές πλευρές, αφού έτσι θα υπήρχε απώλεια προιόντος στα πλαϊνά πρανή που περιβάλουν το χώρο του λατομείου. Η γόμωση των διατρημάτων γίνεται με αμμωνίτη ο οποίος είναι συσκευασμένος σε φυσίγγια των 65 mm, όπως και με ANFO χύδην. Η έναυση γίνεται μέσων ακαριαίας εκρηκτικής θριαλίδας η οποία συνδέει τα διατρήματα και εκτείνεται μέχρι των πυθμένα αυτών. Επίσης τοποθετούνται και επιβραδυντές ακαριαίας θριαλίδας είτε ανά διατρήμα είτε ανά σειρά διατρήματων, ενώ η πυροδότηση γίνεται με θριαλίδα ασφαλείας και κοινό καψύλιο.

2.6 Φόρτωση – Μεταφορά.

Η παραγωγή των μετώπων που προκύπτει μετά την ανατίναξη, αφού προετοιμασθεί με τη βοήθεια ερπυστριοφόρου εκσκαφέα με υδραυλική σφύρα, φορτώνεται με ελαστιχοφόρους φορτωτές τύπου **Caterpillar CAT980** σε τετραξονικά ανατρεπόμενα φορτηγά μικτού βάρους 33 τόνων. Υπάρχουν δύο φορτωτές εκ των οποίων ο ένας απασχολείται στα μέτωπα για την φόρτωση του υλικού στα φορτηγά και ο άλλος στο συγκρότημα θραύσης για τη φόρτωση της θραυσμένης γύψου στο σύστημα φόρτωσης των πλοίων. Όταν παραστεί ανάγκη για ταχύτερη φόρτωση των πλοίων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δεύτερος φορτωτής.

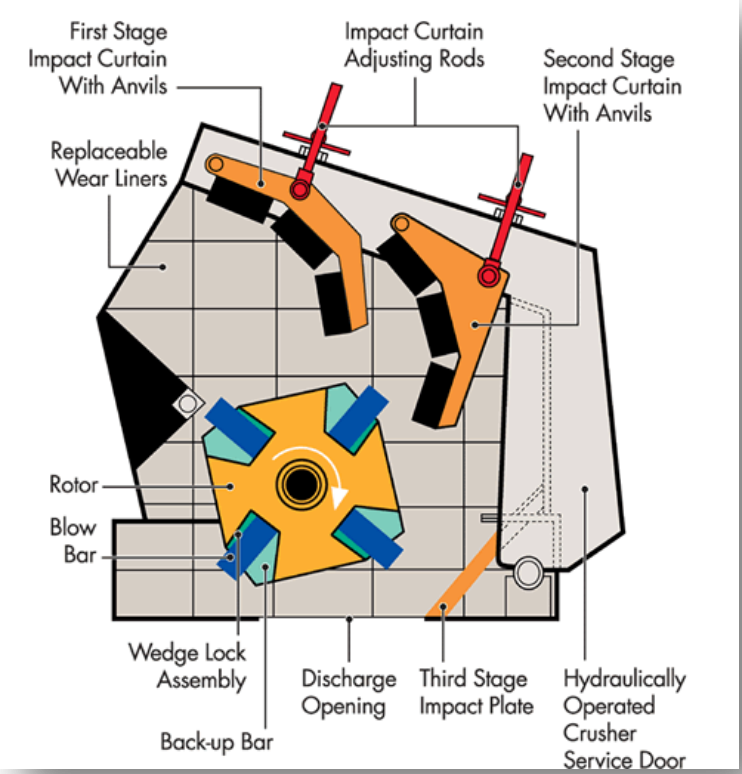
Εικόνα 2.4 : Φορτωτής τύπου Caterpillar CAT980.

2.7 Το συγκρότημα θραύσης.

Το συγκρότημα θραύσης βρίσκεται πλησίον της θάλασσας σε υψόμετρο 120 μέτρων και είναι σχεδιασμένο για ετήσια παραγωγή της τάξεως των 300.000 τόνων. Ο σπαστήρας είναι περιστροφικός, τύπου impact με τέσσερα «μαχαίρια», τα οποία μπορούν να αναστραφούν και να αντικατασταθούν. Διαθέτει δύο ρυθμιζόμενους θώρακες και το άνοιγμα εξόδου ρυθμίζεται στα 50mm. Έτσι η κοκκομετρία παραγωγής είναι περίπου 90% -50mm και 10% -100mm. Τέλος, στο συγκρότημα που βρίσκεται ο σπαστήρας βρίσκεται και η σκάλα φόρτωσης των πλοίων όπου μεταφέρουν το κονιορτοποιημένο προϊόν του σπαστήρα στα εργοστάσια επεξεργασίας της γύψου που διαθέτει η εταιρία. Η σκάλα ακολουθεί το φυσικό πρανές της περιοχής και με το ελαστικό ακροφύσιο που διαθέτει τροφοδοτεί το πλοίο το οποίο δένει στον όρμο κοντά στην περιοχή του σπαστήρα.

(Πηγή: ΛΑΒΑ, Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε.)

Εικόνα 2.5 : Σπαστήρας τύπου Impact, εξωτερικά.



Σχέδιο 2.1 : Σπαστήρας τύπου Impact, απλουστευμένο μηχανολογικό σχέδιο.

2.8 Λήψη δειγμάτων από το κοίτασμα.

Προκειμένου να γίνει δυνατή η λεπτομερέστερη μελέτη, το μέτωπο του κοιτάσματος Αλτσί χωρίστηκε σε 4 κύριες «ζώνες», ανάλογα με την αναλογία σε καθαρή γύψο-ανυδρίτη. Έτσι προέκυψαν οι ζώνες Α,Β,Γ και Δ.

Ωστόσο, οι 2 ενδιάμεσες ζώνες, Β και Γ, εμφάνιζαν παρεμφερή χημική σύσταση από παλαιότερες προκαταρκτικές μελέτες που είχαν γίνει στην περιοχή και, για το λόγο αυτόν, υποδιαιρέθηκαν στις ζώνες B_1, B_2, $Γ_1$ και $Γ_2$, με το δείκτη «1» να υποδηλώνει τη Νότια πλευρά της ζώνης, ενώ αντίστοιχα το δείκτη «2», τη Βόρεια πλευρά.

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο σε μορφή μεγάλων λίθων και στη συνέχεια, αφού σημάνθηκαν, κατατμήθηκαν σε σιαγωνωτό σπαστήρα (σε τεμαχίδια διαμέτρου ≈3mm) στο Εργαστήριο Μηχανικής Τεμαχιδίων και λειοτριβήθηκαν περαιτέρω, σε κρουστικό μύλο, ανάλογα με τη δοκιμή που κάθε φορά ήταν απαραίτητο να γίνει. (Σημειώνεται πως η κάθε δοκιμή απαιτεί διαφορετικού είδους κοκκομετρία δείγματος, άρα λιγότερο ή περισσότερο χρόνο ή/και μέσο λειοτρίβησης.)

Εικόνα 2.6 και 2.7 : Τα δείγματα γύψου και ανυδρίτη αντίστοιχα, όπως μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο.

Παράλληλα με τις πειραματικές δοκιμές στα δείγματα της γύψου από το κοίτασμα του Αλτσί, οι ίδιες δοκιμές έγιναν και σε δείγματα εμπορικής γύψου **Modellgips** της εταιρείας **Rigips** (Ομίλου Saint-Gobain), ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση των ιδιοτήτων με μια γύψο εμπορικής χρήσης, χρησιμοποιούμενης από αρκετούς τεχνίτες γυψοκατασκευών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΥΤΩΝ.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται το θεωρητικό υπόβαθρο, οι αρχές λειτουργίας και τα αποτελέσματα των εκάστοτε μεθόδων δοκιμών στις οποίες υποβλήθηκαν τόσο τα δείγματα της γύψου από το κοίτασμα Αλτσί, όσο και τα δείγματα της εμπορικής γύψου.

Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων έγκειται στο χαρακτηριστικό που είναι κάθε φορά προς μελέτη.

Έτσι, λοιπόν, υπάρχουν οι μέθοδοι που αναλύουν:

- Τη **Χημική** σύσταση των δειγμάτων, όπως για παράδειγμα η **Θερμοβαρυτομετρική Ανάλυση** (TG/DTA), η **Απώλεια Πύρωσης** (Loss On Ignition) και η **Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ** (XRF).

- Την **Ορυκτολογική** τους σύσταση, όπως η **Περιθλασιμετρία Ακτίνων-Χ** (XRD), η **Πολωτική** και **Ηλεκτρονική Μικροσκοπία** (SEM-EDS) και η **Μέτρηση Χρώματος** (Colorimetry - Colour Measurement) και τέλος,

- Τις **Μηχανικές** ιδιότητες των δειγμάτων, όπως η **Μέθοδος Vicat** (μέτρηση χρόνου πήξεως ενός κονιάματος γύψου – Setting Time), η μέτρηση της **αξονικής επιμήκυνσης κονιάματος** κατά την πήξη του (Plaster Extension), η **αντοχή δοκιμίου γύψου σε μονοαξονική θλίψη** (Uniaxial Stress) και η **κοκκομετρική ανάλυση** (Fineness).

3.1 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

Με τον όρο «Χημική Σύσταση» ενός δείγματος εννοούμε το σύνολο των χημικών ουσιών που υπάρχουν στο δείγμα αυτό, συμπεριλαμβανομένης και της περιεκτικότητας του σε αυτές. Η έννοια της χημικής σύστασης αναφέρεται μόνο στο είδος των ουσιών που μπορούν να βρεθούν στο δείγμα και σε ποιές ποσότητες, χωρίς να συμπεριλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι ουσίες είναι δομημένες.

3.1.1. Θερμοβαρυτομετρική Ανάλυση (TG/DTA).

Η θερμοβαρυτομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το θερμοζυγό TGA-6 της εταιρίας Perkin-Elmer, ο οποίος υποστηρίζεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον έλεγχο λειτουργίας και τη διαχείρηση των πειραματικών αποτελεσμάτων, μέσω του λογισμικού PYRIS.

Εικόνα 3.1 : Ο θερμοζυγός Perkin-Elmer TGA-6.

Τα κύρια μέρη του θερμοζυγού είναι :

- Ο φούρνος και
- Ο ηλεκτρονικός μικρο-ζυγός.

Ο φούρνος λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 0-100° C, με ακρίβεια 2° C, ενώ ο ρυθμός θέρμανσης κυμαίνεται μεταξύ των 0 και 100° C/min. Η θέρμανση του δείγματος γίνεται με συνδυασμό ακτινοβολίας και κυκλοφορίας φέροντος αερίου.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος, τοποθετείται δείγμα 35mg στο δειγματοφορέα και κατόπιν στον υποδοχέα, μέσα στο φούρνο. Ο υποδοχέας συνδέεται με το ζυγό μέσω ενός βραχίονα με δύο μέρη, ο οποίος αντισταθμίζεται από ένα αντίβαρο. Ο βραχίονας στηρίζεται σε ηλεκτρικό πηνίο που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και έτσι η θέση του προσδιορίζεται από έναν οπτικό αισθητήρα, αφού οποιαδήποτε εκτροπή προκαλεί παροχή ρεύματος στο πηνίο. Η σχετική αλλαγή θέσης του βραχίονα, σε σχέση με τη θέση αναφοράς, προσδιορίζει τη μάζα του δείγματος. (Καστανάκης, 2002)

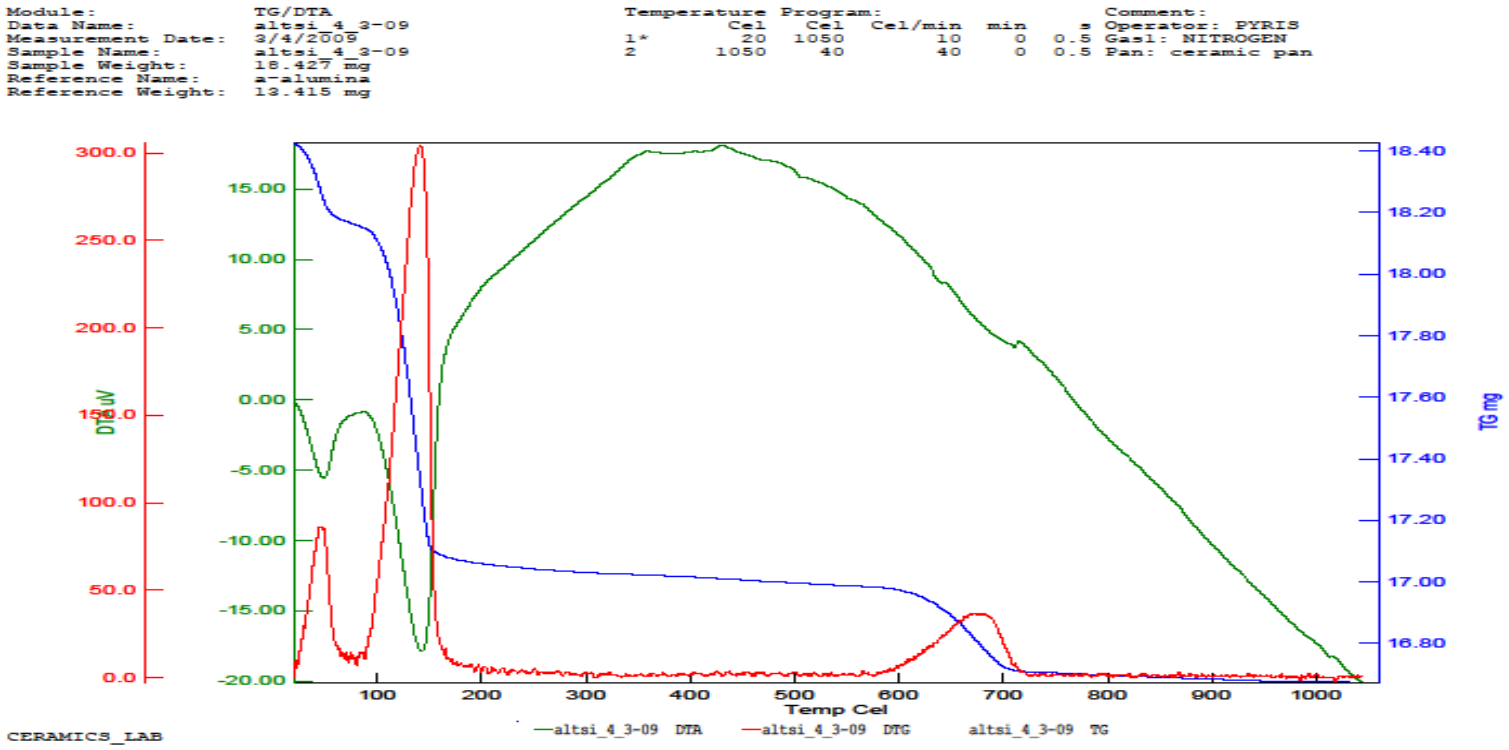
Οι πειραματικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής ήταν οι εξής :

- Το δείγμα παρέμεινε στους 50° C για ένα λεπτό, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 50° C στους 200° C έγινε με ρυθμό 10° C/min. Το δείγμα παρέμεινε στη θερμοκρασία αυτή για 15 λεπτά, ώστε να παρατηρηθεί η μεταβολή του βάρους λόγω αποβολής της φυσικής υγρασίας.

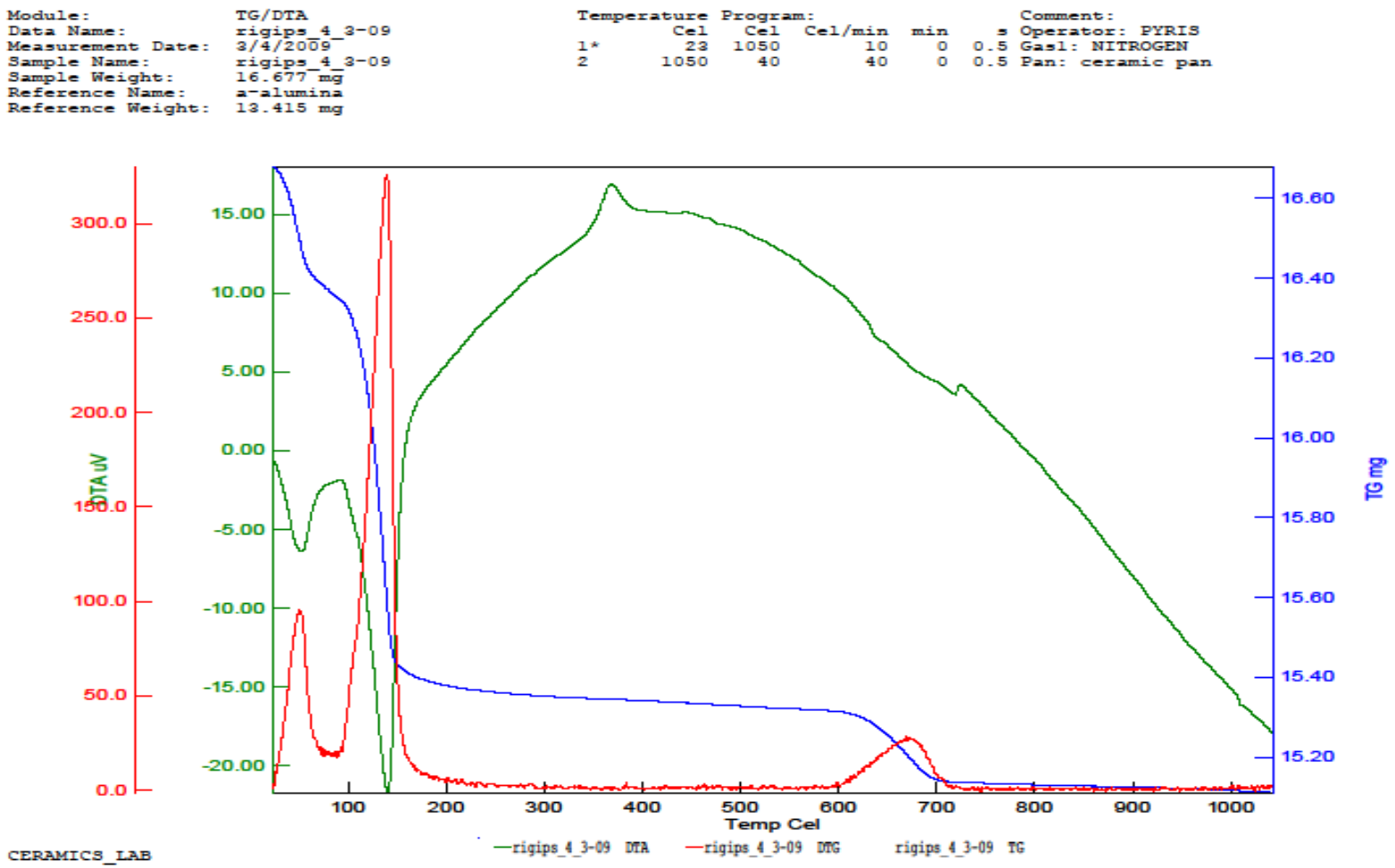
- Έπειτα, η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 550° C, με ρυθμό 10° C/min, το δείγμα παρέμεινε στο φούρνο για άλλα 15 λεπτά, διάστημα κατά το οποίο παρατηρείται η καύση και διάσπαση του $CaCO_3$.

3.1.1.1. Αποτελέσματα μεθόδου Θερμοαρυτομετρικής Ανάλυσης (TG/DTA).

Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης TG-DTA, έτσι όπως προέκυψαν από το λογισμικό του Perkin-Elmer TGA-6, αρχικά του δείγματος Αλτσί και στη συνέχεια του δείγματος Rigips Modellgips:



Διάγραμμα 3.1 : Αποτελέσματα θερμοβαρυτομετρικής ανάλυσης για το **μίγμα δειγμάτων** Αλτσί.



Διάγραμμα 3.2 : Αποτελέσματα θερμοβαρυτομετρικής ανάλυσης για το **δείγμα Rigips Modellgips**.

Στα ανωτέρω διαγράμματα, η κόκκινη καμπύλη υποδεικνύει την απώλεια της φυσικής υγρασίας στους 50 ^{o}C περίπου, τη μετάβαση από γύψο σε βασσανίτη στην περιοχή των 130°C και στη συνέχεια σε ανυδρίτη ενώ, τέλος, στους 700 ^{o}C, παρατηρείται η διάσπαση του δολομίτη.

Αντίστοιχα, η μπλε καμπύλη περιγράφει τα σημεία στα οποία παρατηρείται απώλεια βάρους του δείγματος.

Η πράσινη καμπύλη είναι ενδεικτική των ενδόθερμων και εξώθερμων αντιδράσεων που παρατηρούνται στο δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, στους 50 ^{o}C και στους 130 ^{o}C, παρατηρούνται ενδόθερμες αντιδράσεις, ενώ στη συνέχεια, παρατηρείται εξώθερμη αντίδραση λόγω μετάβασης της γύψου σε ανυδρίτη.

3.1.2. Απώλεια Πύρωσης (Loss On Ignition).

Αρχικά ζυγίστηκε 1 gr από κάθε δείγμα γύψου. Τα δείγματα προέρχονται από τις **έξι ζώνες του κοιτάσματος Αλτσί** (Α - B_1 - B_2 - $Γ_1$ - $Γ_2$ - Δ), ένα δείγμα προέρχεται από τη **μίξη των δειγμάτων των ανωτέρω ζωνών** και το τελευταίο είναι δείγμα που λάβαμε από συσκευασία **εμπορικής γύψου**, τύπου Rigips Modellgips, όπως αυτή πωλείται στο εμπόριο.

Η ζυγισμένη από το κάθε δείγμα μάζα του 1 gr, τοποθετείται σε ειδικές πορσελάνινες, πυρίμαχες κάψες. Ζυγίζεται το μικτό βάρος του δείγματος μαζί με την κάψα και στη συνέχεια τοποθετούνται σε ξηραντήρα.

Εκεί, τα δείγματα παραμένουν επί 24 ώρες σε θερμοκρασία 40° C, προκειμένου να εξατμιστεί όλη η φυσική υγρασία. Το βήμα αυτό εκτελείται αφού η φυσική υγρασία δεν αποτελεί μέρος της μάζας του νερού που περιλαμβάνει ο διυδρίτης στο κρυσταλλικό του πλέγμα και έτσι θα πρέπει να απαλλαγούμε από αυτήν, πριν προχωρήσουμε στην απώλεια πύρωσση.

Με την πάροδο των 24 ωρών, τα δείγματα ζυγίζονται και η διαφορά των βαρών σε σχέση με τα βάρη πριν τη ξήρανση, μας δίνει τη μάζα του νερού που εξατμίστηκε (**φυσική υγρασία**).

Στη συνέχεια, τα δείγματα θα πρέπει να παραμείνουν για 6 ώρες σε κλίβανο, σε θερμοκρασία 300° C. Τότε θα αρχίσει να αποδομείται το κρυσταλλικό πλέγμα του διυδρίτη και τα δείγματα να μετατρέπονται σε ημιυδρίτη, εφόσον καταργούνται οι χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού και του $CaSO_4$. Όταν παρέλθουν οι έξι ώρες, τότε τα δείγματα ξαναζυγίζονται και η διαφορά βαρών πριν και μετά τη θέρμανση, μας δίνει **την ποσότητα του νερού που περιλαμβανόταν στο κρυσταλλικό πλέγμα της γύψου**.

Τέλος, τα δείγματα πυρακτώνονται στους 1050° C, για το χρονικό διάστημα των 2 ωρών, έτσι ώστε να μπορέσει να υπολογισθεί **η ποσότητα των οργανικών ενώσεων** περιελάμβαναν τα δείγματα.

3.1.2.1. Αποτελέσματα μεθόδου Απώλειας Πύρωσης.

Με το πέρας της ανωτέρω διαδικασίας, προέκυψαν οι παρακάτω συγκεντρωτικοί πίνακες:

Δείγμα	Βάρος κάψας (gr)	Βάρος κάψας + γύψου ΠΡΟ ξήρανσης στους 40° C (gr)	Καθαρό βάρος γύψου ΠΡΟ ξήρανσης στους 40° C (gr)	Βάρος κάψας + γύψου ΜΕΤΑ ξήρανσης στους 40° C (gr)	Καθαρό βάρος γύψου ΜΕΤΑ ξήρανσης στους 40° C (gr)	Απώλεια ξήρανσης στους 40° C (%)
Α	52.422	53.422	1.000	53.418	0.996	**0.40**
B_1	36.010	37.009	0.999	37.009	0.999	**0.00**
B_2	31.344	32.345	1.001	32.344	1.000	**0.10**
$Γ_1$	49.096	50.095	0.999	50.094	0.998	**0.10**
$Γ_2$	30.934	31.935	1.001	31.934	1.000	**0.10**
Δ	19.190	20.189	0.999	20.189	0.999	**0.00**
Εμπορική γύψος (Rigips)	16.861	17.861	1.000	17.845	0.984	**1.60**
Δείγμα Αλτσί	17.241	18.241	1.000	18.234	0.993	**0.70**

Δείγμα	Βάρος κάψας + γύψου ΜΕΤΑ πύρωσης στους 300° C (gr)	Καθαρό βάρος γύψου ΜΕΤΑ πύρωσης στους 300° C (gr)	Απώλεια πύρωσης στους 300° C (%)	Βάρος κάψας + γύψου ΜΕΤΑ πύρωσης στους 1050° C (gr)	Καθαρό βάρος γύψου ΜΕΤΑ πύρωσης στους 1050° C (gr)	Απώλεια πύρωσης στους 1050° C (%)
Α	53.330	0.908	9.20	53.324	0.902	9.80
B_1	36.999	0.989	1.00	36.968	0.958	4.10
B_2	32.140	0.796	20.50	32.128	0.784	21.70
$Γ_1$	50.077	0.981	1.80	50.055	0.959	4.00
$Γ_2$	31.922	0.988	1.30	31.895	0.961	4.00
Δ	20.180	0.990	0.90	20.157	0.967	3.20
Εμπορική γύψος (Rigips)	17.776	0.915	8.50	17.770	0.909	9.10
Δείγμα Αλτσί	18.159	0.918	8.20	18.155	0.914	8.60

Πίνακας 3.1 και 3.2 : Πίνακες απώλειας βάρους δειγμάτων κατά την απώλεια πύρωσης.

3.1.3. Φασματοσκοπία Ακτίνων-Χ (XRF).

Η τεχνική του φθορισμού ακτίνων-Χ είναι μία μέθοδος ανάλυσης δειγμάτων η οποία βασίζεται στο φθορισμό των ακτίνων-Χ και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπει ένα διηγηρμένο άτομο, κατά την αποδιέγερσή του, είναι χαρακτηριστικές για το είδος του ατόμου και μπορεί να οδηγήσουν στον προσδιορισμό του. Συνεπώς, η ανάλυση του φάσματος των εκπεμπόμενων, λόγω φθορισμού, φωτονίων και ο εντοπισμός των φωτοκορυφών που μπορούν να αποδοθούν ως χαρακτηριστικές ενός στοιχείου, οδηγεί σε ποιοτικό προσδιορισμό του στοιχείου και, με κατάλληλη μέθοδο βαθμονόμησης απόδοσης, οδηγεί περαιτέρω και σε ποσοτικό προσδιορισμό των περιεχομένων στο δείγμα στοιχείων.

Επισημαίνεται ότι η τεχνική XRF (X-Ray Fluorescence) αναφέρεται στην περίπτωση που η διεγείρουσα ακτινοβολία είναι ακτίνες-Χ. Άλλες παρόμοιες τεχνικές βασίζονται στην εκπομπή ακτινοβολίας Χ εξαιτίας της διέγερσης με σωματιδιακή ακτινοβολία (π.χ πρωτόνια) που προέρχεται από επιταχυντική διάταξη (Particle Induced X-Ray Emission, PIXE).

Γενικά, ενώ υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προσδιορισμού στοιχείων, αξίζει να σημειωθεί πως η τεχνική XRF υπερτερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους για δύο ουσιαστικούς λόγους :

- Είναι σχετικά οικονομική μέθοδος, από την άποψη του συνολικού κόστους του απαιτούμενου εξοπλισμού.

- Ανήκει στις μη καταστρεπτικές μεθόδους, δηλαδή το δείγμα προς ανάλυση δεν καθίσταται ραδιενεργό ύστερα από την ακτινοβόληση και γενικά δεν υφίσταται καμία αλλοίωση. (Περδικάτσης Β. ,Πεντάρη, Δ., 2003)

Κατά την τεχνική XRF υπάρχουν δύο δυνατότητες διέγερσης των ατόμων των προς ανάλυση δειγμάτων:

1) **Από ραδιοϊσοτοπικές πηγές ($_{241}$Am, $_{109}$Cd, $_{57}$Co, $_{55}$Fe) αλλά και από πηγές ακτινοβολίας πεδήσεως, όπως $_{32}$P**. Στην περίπτωση αυτή, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία έχει συγκεκριμένη ενέργεια, ή ενεργειακό φάσμα, με αποτέλεσμα κάθε ραδιενεργός πηγή να είναι ικανή να διεγείρει επιτυχώς ορισμένα μόνο στοιχεία. Κατά συνέπεια, στις περισσότερες διατάξεις XRF με ραδιενεργές πηγές χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία ραδιενεργές πηγές, προκειμένου να αναλυθούν στοιχεία από ευρύ φάσμα του Περιοδικού Πίνακα.

2) **Από μηχανές ακτίνων-Χ (λυχνίες ή θάλαμοι ακτίνων-Χ)**. Ανάλογα με τα στοιχεία που πρόκειται να αναλυθούν επιλέγεται η Υψηλή Τάση λειτουργίας της μηχανής και το υλικό της ανόδου της λυχνίας (ορισμένα από αυτά τα υλικά είναι το Pd, Ti, Mo, W).

Ο τελευταίος τρόπος διέγερσης είναι ο πιο συνηθισμένος και είναι και αυτός που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο Γεωχημείας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

3.1.3.1. Οι Θάλαμοι Ακτίνων-Χ.

Οι μηχανές ακτίνων Χ (ή θάλαμοι Coolidge) αποτελούνται από μια άνοδο και μία κάθοδο, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ένα γυάλινο σωλήνα κενού. Η κάθοδος αποτελείται από θερμαινόμενο σπειροειδές νήμα βολφραμίου. Κατά τη λειτουργία της μηχανής, το ηλεκτρικό ρεύμα θερμαίνει την κάθοδο, με αποτέλεσμα να εκπέμπονται ηλεκτρόνια τα οποία, με την επιβολή υψηλής διαφοράς δυναμικού (τάσης) ανόδου-καθόδου, επιταχύνονται προς την άνοδο. Το κενό αέρος μέσα στο σωλήνα επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, χωρίς απώλειες ενέργειας. Όταν, στη συνέχεια, τα ηλεκτρόνια προσκρούουν στην άνοδο, τότε επιβραδύνονται και προκαλείται εκπομπή ακτινοβολίας-Χ.

Ένα ποσοστό των ηλεκτρονίων που έχει πλέον αποκτήσει ενέργεια μεγαλύτερη αυτής που τα συνδέει με τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια του ατόμου, διεγείρει τα άτομα της ανόδου, με αποτέλεσμα να εκπέμπεται πλέον ακτινοβολία χαρακτηριστική των στοιχείων ανόδου.

Η διάχυση των ακτίνων-Χ είναι προς πάσα κατεύθυνση, ωστόσο ο σωλήνας έχει σχεδιαστεί με τέτοιον τρόπο ώστε τα προερχόμενα από την κάθοδο ηλεκτρόνια να προσπίπτουν πάνω σε μια πολύ μικρή επιφάνεια της ανόδου, η οποία ονομάζεται σημείο εστίασης (focal spot).

Από τις παραχθείσες ακτίνες, ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτών εξέρχονται του παράθυρου της μηχανής, το οποίο είναι κατασκευασμένο από βυρήλλιο και το ποσοστό αυτό συνιστά τη χρήσιμη δέσμη ακτίνων-Χ, ενώ η πλειοψηφία τους απορροφάται από τον ίδιο τον στόχο-άνοδο. Εξετάζοντας ενεργειακά το θάλαμο, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της ενέργειας απορροφήθηκε από τα ηλεκτρόνια μεταξύ ανόδου και καθόδου, ενώ όλη η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο υλικό της ανόδου, γι'αυτό και κρίνεται απαραίτητη η παρακολούθηση της θερμοκρασίας και, ενδεχομένως, η ψύξη του θαλάμου.

Μια τυπική διάταξη φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-Χ περιλαμβάνει μια πηγή πρωτογενούς ακτινοβολίας (ραδιοϊσότοπο ή λυχνία ακτίνων Χ) και ένα σύστημα ανίχνευσης της δευτερεύουσας ακτινοβολίας του δείγματος (Περδικάτσης Β., Πεντάρη Δ., 2003).

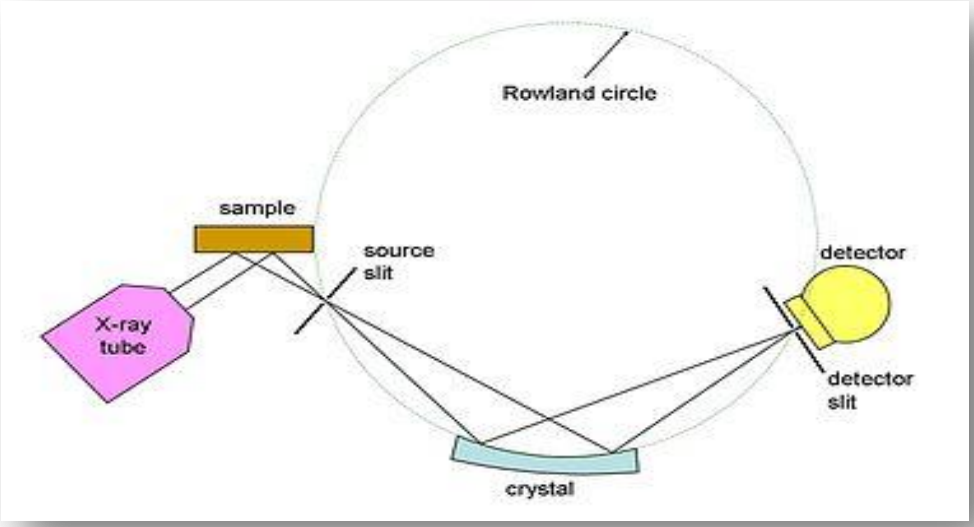
Για ποσοτική μελέτη με τη μέθοδο XRF απαιτείται βαθμονόμηση του συστήματος με πρότυπα δείγματα, γνωστής περιεκτικότητας, στην περιοχή συγκεντρώσεων του υπό εξέταση δείγματος. Η ακρίβεια της βαθμονόμησης εξαρτάται ισχυρά από τη μορφολογία του δείγματος, η οποία πρέπει να συμπίπτει κατά το δυνατόν με εκείνη του προτύπου. Σημαντικό είναι επίσης να διατηρείται σταθερή γεωμετρία κατά την παρασκευή και τοποθέτηση των δειγμάτων στο σύστημα XRF. Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις που είναι δυνατόν να προσδιοριστούν μέσω της φασματοσκοπίας XRF, καθορίζονται τόσο από τα όρια ανίχνευσης του ανιχνευτικού συστήματος, όσο και από τα όρια ανίχνευσης της αναλυτικής μεθόδου (π.χ. προετοιμασία του δείγματος, χρονική διάρκεια της μέτρησης κλπ.). Ανάλογα με το είδος του στοιχείου που προσδιορίζεται και τη μήτρα του δείγματος, τα κατώτερα όρια ανίχνευσης κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10 και 100 ppm .(Πηγή: www.uoi.gr)

Η γεωμετρία του φασματόμετρου ακτίνων-Χ είναι όμοια με αυτή του περιθλασιμέτρου ακτίνων Χ. Ο προσδιορισμός του μήκους κύματος γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Bragg:

$$n\lambda = 2d \cdot \eta\mu\theta$$

Το δείγμα διεγείρεται και στη συνέχεια εκπέμπει ακτίνες Χ των στοιχείων που το αποτελούν.

Σαρώνοντας μια συγκεκριμένη περιοχή 2θ με το γωνιόμετρο του φασματομέτρου, παρατηρούνται ανακλάσεις εφόσον πληροίται η εξίσωση του Bragg. Στη συνέχεια, λύνοντας την εξίσωση αυτή ως προς λ (με 2d: σταθερό και το θ: προσμετράται) προσδιορίζεται το αντίστοιχο χημικό στοιχείο.



Σχέδιο 3.1 : Μια τυπική διάταξη φασματοσκοπίας XRF

3.1.3.2. Προετοιμασία δειγμάτων.

Κατ' αρχήν, τα δείγματα που χρησιμοποιούνται στα πειράματα XRF πρέπει να είναι σταθερά και να μην αποκολλούνται από τη θήκη αλουμινίου. Συνεπώς, για τη σωστή μορφοποίηση δειγμάτων όπως είναι το χώμα, η γύψος, η ιπτάμενη τέφρα και διάφορα άλλα υλικά όπως η μαρμαρόσκονη ή το αλεύρι, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται συνδετικό υλικό το οποίο ονομάζεται **binder**.

Το binder βρίσκεται σε μορφή προζυγισμένων δισκίων 0.2g τα οποία κονιοποιούνται σε πορσελάνινο δοχείο με αναδευτήρα πορσελάνης. Το υλικό που χρησιμοποιείται στο binder είναι η κυτταρίνη ή το βορικό οξύ. Το πλεονέκτημα των δύο αυτών ουσιών είναι ότι δεν

επηρεάζουν τα δείγματά μας κατά την ανάλυση με φθορισμό ακτίνων-Χ. Από τη μία, η κυτταρίνη είναι μια οργανική ένωση με χημικό τύπο $C_6H_{10}O_5$ και οι χαρακτηριστικές ενέργειες αυτών των στοιχείων βρίσκονται πολύ χαμηλά(κάτω από 0.55keV) με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται τα φάσματα και οι αναλύσεις μας από τις συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ενέργειες. Από την άλλη, το ίδιο ισχύει και για το βορικό οξύ(χημικός τύπος H_3BO_3) όπου το B ενεργοποιείται σε πολύ χαμηλή ενέργεια (0.185 keV) και δεν επηρεάζει τα προς εξέταση στοιχεία που υπάρχουν στα δείγματα.

Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί το συνδετικό υλικό, έχει παρατηρηθεί ότι τα δισκία διαρρέουν και διαλύονται αμέσως τη μορφοποίησή τους, ανεξάρτητα της πίεσης που μπορεί να τους επιβληθεί μέσω της υδραυλικής πρέσας. Όσον αφορά στην αναλογία του συνδετικού υλικού στο δείγμα, αποφασίστηκε ότι το ποσοστό συνδετικού υλικού για τα δείγματα της γύψου είναι της τάξεως του 10%.

Κατά την προετοιμασία των δειγμάτων απαιτείται μεγάλη προσοχή ώστε το δείγμα να μη ρυπανθεί. Για το λόγο αυτό, όλα τα υλικά που εμπλέκονται στην προετοιμασία (π.χ. δοχεία ανάδευσης και αναδευτήρες κλπ), απαιτείται να κατασκευάζονται από ανοξείδωτα υλικά, πορσελάνη ή πλαστικά υλικά και να καθαρίζονται πριν και μετά από κάθε χρήση με νερό και μεθανόλη, ενώ για την προστασία των δειγμάτων από τη σκόνη και την υγρασία, μετά τη μέτρηση, αυτά φυλάσσονται σε πλαστικές θήκες (Βαρδαβά Α., 2008).

Εικόνα 3.2 : Συμπιεσμένα δισκία προς ανάλυση (Pressurized pellet), όπως αυτά διαμορφώνονται από την πρέσα.

3.1.3.3. Η υδραυλική πρέσα του Εργαστηρίου.

Η υδραυλική πρέσα που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωχημείας είναι χειροκίνητη με δυναμικότητα έως και 20t. Συνοδεύεται από θήκες αλουμινίου διαμέτρου 38mm και ύψους 7mm. Η πρέσα είναι τοποθετημένη πάνω σε σταθερή μεταλλική κατασκευή και συνοδεύεται από παρελκόμενα: θηλυκό και αρσενικό κυλινδρικό καλούπι, βάση καλουπιού, ανοικτός δακτύλιος για την απομάκρυνση του δείγματος. Κατά τη λειτουργία της πρέσας, η πίεση εφαρμόζεται χειροκίνητα με ειδικό μοχλό. Τα υλικά που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για την παρασκευή δισκίων είναι σιδηρούχα κράματα, γεωλογικά δείγματα, τσιμέντο, σκωρία, ορυκτά και κεραμικά σε μορφή ξηρής πούδρας με μέγιστο μέγεθος κόκκου 100μm και μέγιστη σκληρότητα 9mohs. Απαγορεύεται η χρήση υγρών, πτητικών, εκρηκτικών ή τοξικών υλικών στην πρέσα, καθώς και δείγματα που περιέχουν υγρασία.

Για την ανάλυση της εν προκειμένω γύψου, ενδείκνυται η άσκηση χαμηλής πίεσης της τάξης των 20t για περίπου ένα λεπτό της ώρας, χωρίς άμεση απελευθέρωση του μοχλού. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η σταθερότητα του δισκίου, μειώνεται η πιθανότητα αποκόλλησης της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος και τα χείλη της θήκης αλουμινίου συμπιέζονται σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην καταστραφούν. Η μεταβολή της εφαρμοζόμενης πίεσης παρατηρείται από το μανόμετρο, το οποίο είναι ενσωματωμένο στην κύρια κατασκευή. Κατά τη λήξη της δημιουργίας του δείγματος ακολουθεί η διαδικασία απομάκρυνσης του δισκίου.

Εικόνα 3.3 : Υδραυλική πρέσα για την προετοιμασία δισκίων XRF.

3.1.3.4. Αποτελέσματα μεθόδου Φασματοσκοπίας Ακτίνων-Χ.

Η χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ απέφερε τα κάτωθι αποτελέσματα:

Δείγμα	CaO (%)	SO_3 (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	K_2O (%)	LOI (%)	SUM
A	37,26	52,22	0,79	0,54	0,03	0,29	0,03	8,39	99,55
B_1	38,81	55,29	0,33	0,54	0,07	1,07	0,06	3,90	100,08
B_2	32,69	44,56	0,21	0,57	0,02	0,24	0,04	21,76	100,09
$Γ_1$	38,50	54,59	1,63	0,65	0,10	1,03	0,01	3,10	99,62
$Γ_2$	39,42	55,65	0,23	0,53	0,01	0,34	0,07	3,39	99,64
Δ	40,03	55,24	0,80	0,54	0,02	0,27	0,01	3,49	100,40
Μίγμα Αλτσί	36,07	51,96	0,35	0,50	0,05	0,34	0,16	10,88	100,32
Rigips Modellgips	36,12	52,23	0,27	0,64	0,12	1,10	0,01	9,40	99,89

Πίνακας 3.3 : Πίνακας εκατοστιαίων περιεκτικοτήτων σε χημικές ενώσεις, των δειγμάτων Αλτσί και Rigips Modellgips.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί πως το δείγμα «Μίγμα Αλτσί», το οποίο αναλύθηκε στον παραπάνω πίνακα, αποτελεί ένα μίγμα των δειγμάτων καθεμίας από τις ζώνες του κοιτάσματος (A-B_1-B_2-$Γ_1$-$Γ_2$-Δ), έτσι ώστε να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων της εμπορικής γύψου **με το σύνολο του κοιτάσματος Αλτσί** και όχι με κάποια μεμονωμένη ζώνη.

3.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

Στο τμήμα αυτό της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται οι μέθοδοι με τις οποίες αναλύθηκαν τα δείγματα γύψου του κοιτάσματος Αλτσί, ώστε αυτά να χαρακτηριστούν με βάση **τα ορυκτολογικά** τους **χαρακτηριστικά**.

Οι μέθοδοι είναι αυτές της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων-Χ (XRD), της Πολωτικής και Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας (**SEM-EDS**) και της Μέτρησης Χρώματος (**Colorimetry - Colour Measurement**).

3.2.1. Η μέθοδος της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων-Χ (XRD).

Μια από τις ορυκτολογικές ανάλυσεις των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (X-Ray Diffraction) στα έξι δείγματα γύψου από την περιοχή Αλτσί (Α, B_1, B_2, $Γ_1$, $Γ_2$, Δ), σε δείγμα από την εμπορική γύψο Rigips Modellgips καθώς και σε μίγμα δειγμάτων από τις έξι ζώνες του κοιτάσματος Αλτσί.

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-Χ που προσπίπτουν σε παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ αποτελείται από τα εξής μέρη:

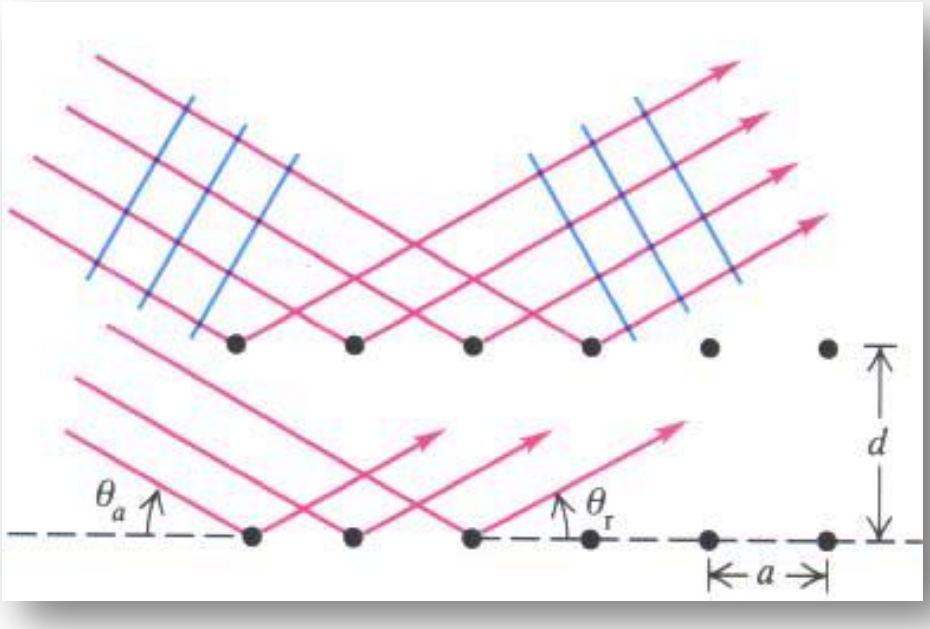
- Τη μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης (35 KV),
- Τη λυχνία ακτίνων-Χ (Cu),
- Το γωνιόμετρο με ταχύτητα 1° / sec,
- Τον απαριθμητή κρούσεων και
- Τη μονάδα μικροϋπολογιστή για την καθοδήγηση του συστήματος και την αξιολόγηση των καταγραφών.

3.2.1.1. Θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδου XRD.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο οι ακτίνες-Χ αποτυπώνουν την κρυσταλλική δομή ενός υλικού, αρκεί να παρατηρήσουμε το σχέδιο 3.3., το οποίο παρουσιάζει μια δισδιάστατη συστοιχία ατόμων, τα οποία είναι δυνατόν να αποτελούν ένα από τα κρυσταλλικά επίπεδα ενός υλικού, στα οποία προσπίπτουν οι ακτίνες-Χ. Οι ακτίνες-Χ, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία, όταν προσπίπτουν πάνω σε άτομα, δημιουργούν ηλεκτρικά δίπολα σε κάθε ένα από αυτά. Στη συνέχεια τα άτομα, αποδιεγειρόμενα, σκεδάζουν τις ακτίνες-Χ προς όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα τη διάδοσή τους στο χώρο με σφαιρική συμμετρία. Οι σκεδαζόμενες όμως ακτίνες συμβάλλουν ενισχυτικά σε ορισμένες κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα σε αυτές, λόγω ακριβώς της συμβολής, η έντασή τους να είναι πολύ μεγαλύτερη. Οι κατευθύνσεις στις οποίες συμβαίνει η ενισχυτική συμβολή δίνονται από την εξίσωση που είναι γνωστή ως νόμος του Bragg:

$$\mathbf{n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\theta,}$$

όπου: **n** σταθερά, **λ** το μήκος κύματος του προσπίπτοντος κύματος, **d** η απόσταση των ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα και **θ** η γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας ακτίνας και επιπέδου σκέδασης.



Σχέδιο 3.2 : Κατευθύνσεις συμβολής των περιθλώμενων ακτίνων-Χ.

Όλες οι μετρήσεις της περίθλασης ακτίνων-Χ που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, έγιναν με τη βοήθεια του περιθλασιμέτρου **Bruker AXS D8 Advance**, που εφαρμόζει γεωμετρία Bragg-Brentano, καθώς και με ανιχνευτή **LynxEye detector**.

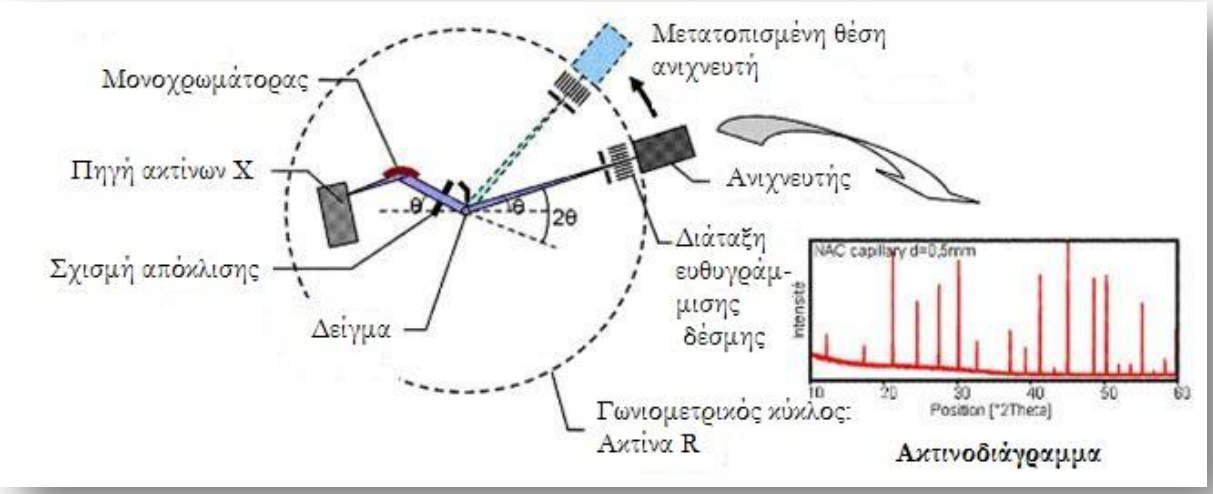
Ως πηγή ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε η μετάπτωση Κα του Cu που παράγει ακτινοβολία με μήκος κύματος λ=1,54 Å. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν U=35 kV, I=35mA και χρησιμοποιήθηκε φίλτρο νικελίου.

Εικόνα 3.4 : Το σύστημα αυτόματης περιθλασιμετρίας **Bruker D8 ADVANCE**.
(http://www.chem.memphis.edu/facilities/bruker-X-ray.htm)

Οι παραγόμενες, από την πηγή, ακτίνες-Χ διέρχονται από ένα **μονοχρωμάτορα** (φίλτρο) ο οποίος απομακρύνει τα μη επιθυμητά μήκη κύματος, παράγοντας μια μονοχρωματική ακτινοβολία. Ακολούθως, **κατάλληλες διατάξεις** (slits) αποκόβουν τις ακτίνες εκείνες που δεν ακολουθούν παράλληλη πορεία ενώ ταυτόχρονα καθορίζουν και το εύρος της δέσμης. Μετά την αλληλεπίδραση με το δείγμα, η δέσμη ευθυγραμμίζεται και συλλέγεται από τον **ανιχνευτή**.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης γεωμετρίας αποτελεί το γεγονός ότι η βάση της πηγής και ο ανιχνευτής κινούνται σε μια κυκλική τροχιά με αντίθετες κατευθύνσεις και με την ίδια ταχύτητα.

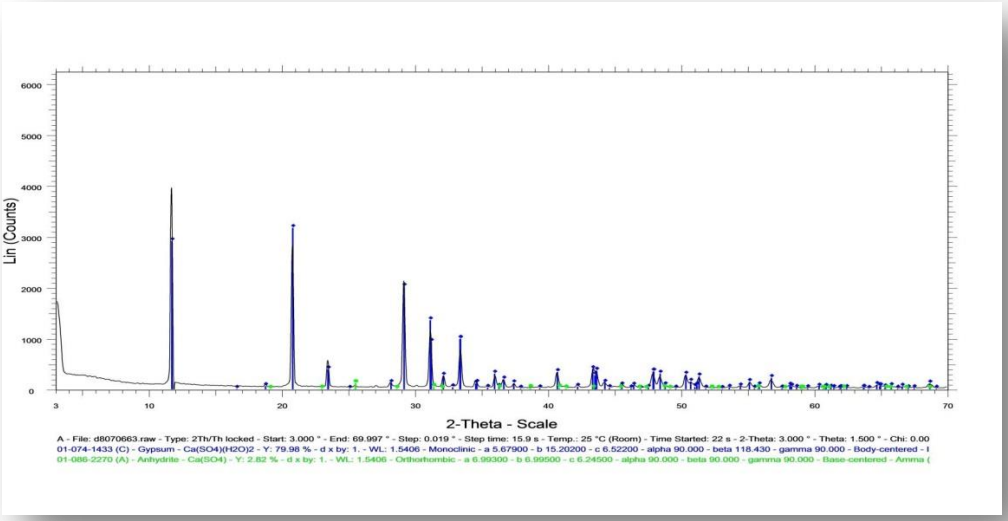
Με αυτό τον τρόπο συλλέγεται η ακτινοβολία στις διευθύνσεις της μέγιστης συμβολής, ικανοποιώντας τη σχέση του Bragg.



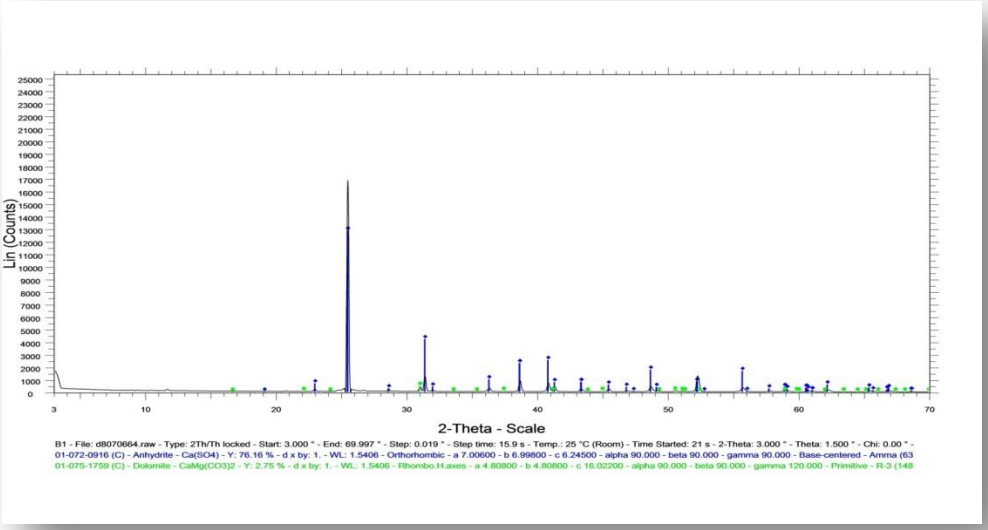
Σχέδιο 3.3 : Τα κύρια μέρη του Περιθλασιμέτρου Ακτίνων-Χ.

3.2.1.2. Αποτελέσματα μεθόδου Περίθλασης Ακτίνων-Χ (XRD).

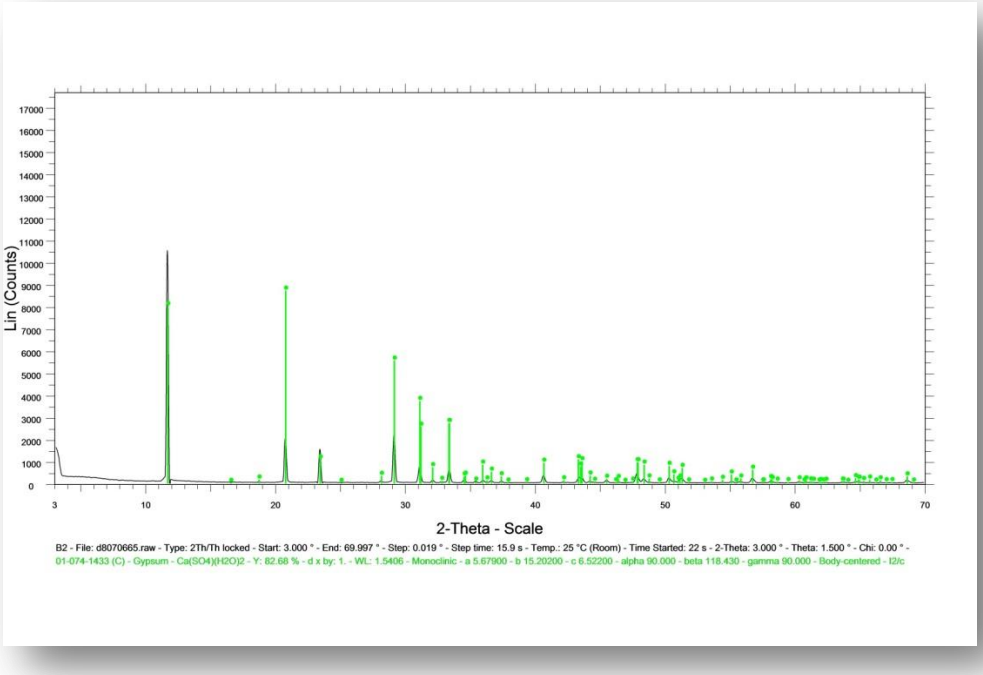
Από την ορυκτολογική ανάλυση που έγινε στα δείγματα, προέκυψαν τα παρακάτω ακτινοδιαγράμματα:



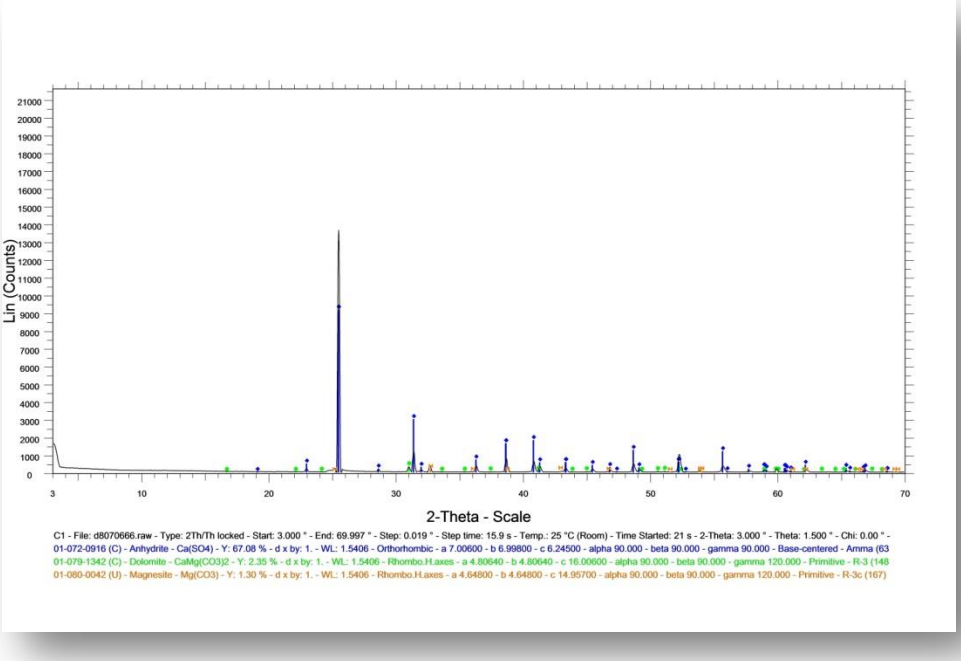
Διάγραμμα 3.3 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος Α**, κοίτασμα Αλτσί.



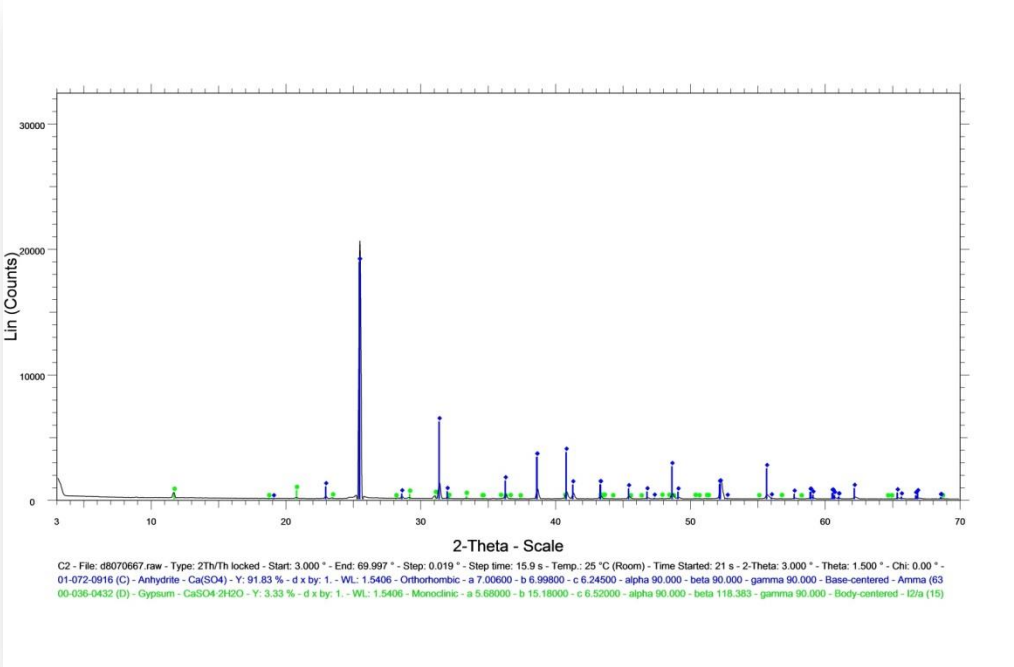
Διάγραμμα 3.4 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος B_1** , κοίτασμα Αλτσί.



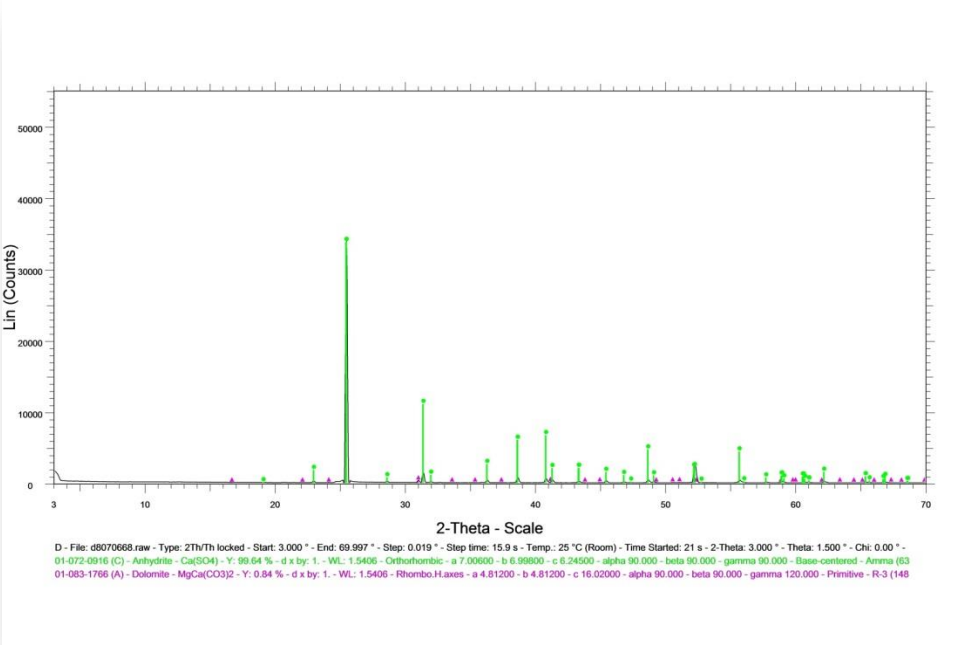
Διάγραμμα 3.5 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος B_2** , κοίτασμα Αλτσί.



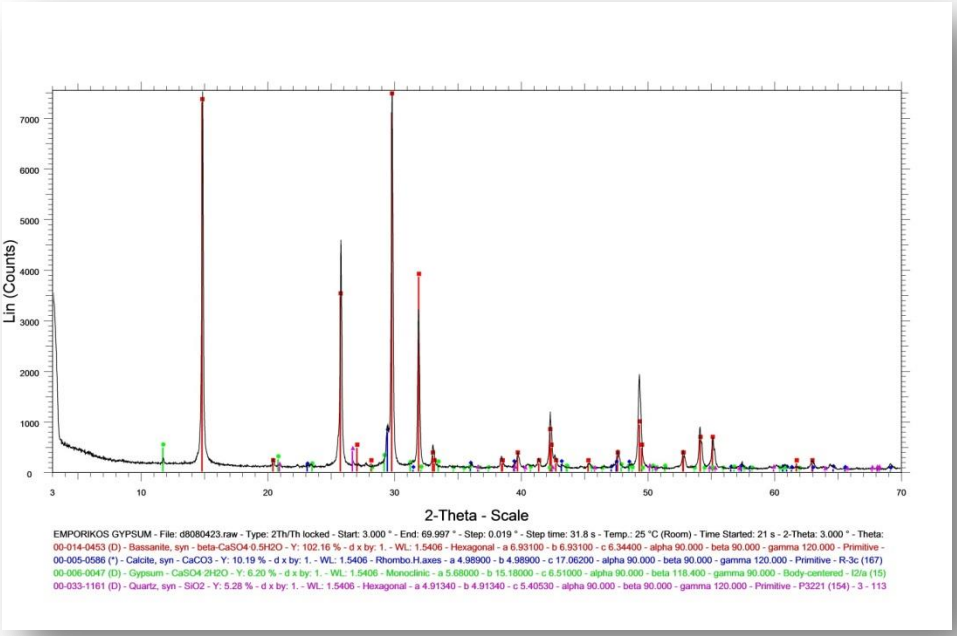
Διάγραμμα 3.6 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος $Γ_1$** , κοίτασμα Αλτσί.



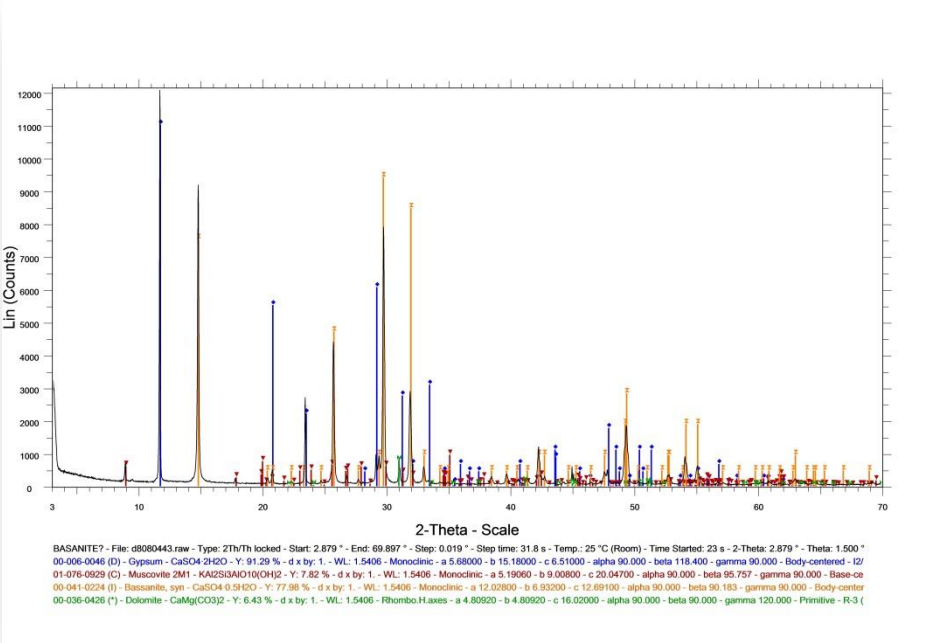
Διάγραμμα 3.7 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος Γ$_2$** , κοίτασμα Αλτσί.



Διάγραμμα 3.8 : Ακτινοδιάγραμμα **δείγματος Δ** , κοίτασμα Αλτσί.



Διάγραμμα 3.9 : Ακτινοδιάγραμμα **εμπορικής γυψου Rigips Modellgips**.



Διάγραμμα 3.10 : Ακτινοδιάγραμμα **Μίγματος Αλτσί**.

Πιο συνοπτικά, από τις ημιποσοτικές αναλύσεις, προκύπτουν οι παρακάτω περιεκτικότητες:

Περιεκτικότητες ορυκτολογικών συστατικών ανά δείγμα								
	Γύψος (%)	**Ανυδρίτης (%)**	**Δολομίτης (%)**	**Μαγνησίτης (%)**	**Βασανίτης (%)**	**Ασβεστίτης (%)**	**Χαλαζίας (%)**	**Μοσχοβίτης (%)**
Α	99	1	-	-	-	-	-	-
B_1	-	96	4	-	-	-	-	-
B_2	100	-	-	-	-	-	-	-
$Γ_1$	-	95	3	2	-	-	-	-
$Γ_2$	4	96	-	-	-	-	-	-
Δ	-	97	3	-	-	-	-	-
Rigips	1	-	-	-	95	3	1	-
Μίγμα Αλτσί	16	-	4	-	78	-	-	2

Πίνακας 3.4 : Συγκεντρωτικός πίνακας περιεκτικοτήτων ορυκτολογικών συστατικών ανά δείγμα

Για λεπτομερέστερη απεικόνιση των ακτινοδιαγραμμάτων XRD, τα διαγράμματα παρατέθηκαν και στο παράρτημα της εργασίας.

3.2.2. Μέθοδος Πολωτικής Μικροσκοπίας.

Με τη μέθοδο αυτή εξετάστηκαν τα δείγματα ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση, με τη βοήθεια **πολωτικού μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός**.

3.2.2.1. Το πολωτικό μικροσκόπιο.

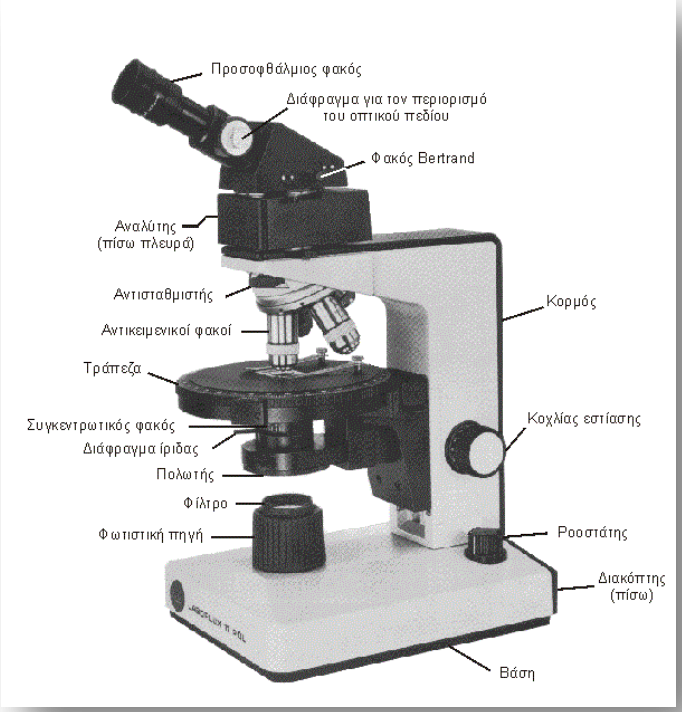
Το πολωτικό μικροσκόπιο είναι το είδος μικροσκοπίου που χρησιμοποιείται κυρίως σε μελέτες γεωλογικών δειγμάτων, γνωστό και ως πετρογραφικό μικροσκόπιο.

Τα πολωτικά μικροσκόπια κατασκευάζονται ακριβώς όπως τα οπτικά μικροσκόπια, ωστόσο έχουν κάποια πρόσθετα χαρακτηριστικά. Σε αντίθεση με τα απλά οπτικά μικροσκόπια που χρησιμοποιούν μια δέσμη απλού φωτός, αυτά πολώνουν το φως ώστε να μελετηθούν τα δείγματα. Στο πολωμένο φως, τα κύματα φωτός ταλαντώνονται προς μια μόνο κατεύθυνση, ενώ στο κανονικό φως προς όλες τις κατευθύνσεις.

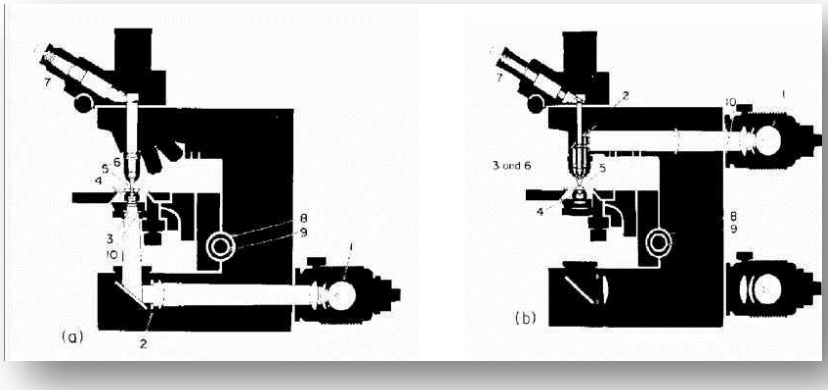
Το πολωμένο φως δε γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι υπό κανονικές συνθήκες. Ωστόσο, χρησιμοποιείται στη μικροσκοπία για να τονισθούν τα χαρακτηριστικά των ορυκτών, αφού τα πολωτικά μικροσκόπια εκμεταλλεύονται τις διπλοθλαστικές ιδιότητες των ανισότροπων υλικών, ώστε να γίνει δυνατή η εξέτασή τους. (Ανισότροπα υλικά είναι οι ουσίες σε στερεά μορφή οι οποίες έχουν πολλούς δείκτες διάθλασης, ενώ ισότροπα υλικά όπως αέρια και υγρά, έχουν μόνο έναν.)

Η διπλοθλαστικότητα λαμβάνει χώρα όταν ένα κύμα φωτός διαπερνά ένα ανισότροπο υλικό και διασπάται σε δύο δέσμες φωτός, διαφορετικής ταχύτητας. (Πηγή: http://www.wisegeek.com).

Το αντικείμενο τοποθετείται πολύ κοντά σε ένα συγκλίνοντα φακό (**αντικειμενικός φακός**), πολύ μικρής εστιακής απόστασης, ο οποίος σχηματίζει ένα πραγματικό είδωλό του. Το είδωλο αυτό μεγεθύνεται από έναν άλλο συγκλίνοντα φακό (**προσοφθάλμιος φακός**), ο οποίος σχηματίζει ένα φανταστικό είδωλο σε μια απόσταση από το μάτι που βρίσκεται ανάμεσα στην ελάχιστη και τη μέγιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως. Το μάτι παρατηρεί αυτό το είδωλο. Το μήκος του σωλήνα του μικροσκοπίου έχει συνήθως σταθερό μήκος (τυπικά 160 mm). Έτσι, η εστίαση γίνεται με μετακίνηση του όλου οπτικού συστήματος ως προς το παρατηρούμενο αντικείμενο, μέχρι να επιτευχθεί εστίαση για ευκρινή παρατήρηση. (Πηγή: Χριστοδουλίδης Κ. , http://www.physics.ntua.gr)



Εικόνα 3.5 : Τα μέρη ενός πολωτικού μικροσκοπίου.



Σχέδιο 3.4 : Η δομή δυο σύγχρονων μικροσκοπίων:

a) Διερχόμενου φωτός, b) Ανακλώμενου φωτός.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η δομή δύο σύγχρονων μικροσκοπίων. Τα δύο μικροσκόπια διαφέρουν ως προς τον τρόπο φωτισμού του παρατηρούμενου αντικειμένου: το ένα, (a), είναι μικροσκόπιο διέλευσης φωτός, ενώ το άλλο, (b), είναι μικροσκόπιο ανάκλασης φωτός.

Οι τρόποι φωτισμού των δειγμάτων, καθώς και οι βασικές επιμέρους συνιστώσες των μικροσκοπίων, όπως φαίνονται στο σχήμα, είναι οι εξής:

i. **Πηγή φωτός**,
ii. **Διάφραγμα πεδίου** (field aperture ή field stop), το οποίο καθορίζει τις διαστάσεις του παρατηρούμενου οπτικού πεδίου,
iii. **Συγκεντρωτικός φακός** (condenser), ο οποίος εστιάζει την ακτινοβολία της φωτεινής πηγής στο παρατηρούμενο αντικείμενο,
iv. **Εγγύς συγκεντρωτικός φακός**, με ανάλογη λειτουργία,
v. **Αντικείμενο** (δείγμα),
vi. **Αντικειμενικός φακός** (objective), ο οποίος δημιουργεί ένα πραγματικό είδωλο του αντικειμένου, με μία εγκάρσια μεγέθυνση M_{To}, με τυπικές τιμές από 1x έως 100x.
vii. **Προσοφθάλμιος φακός** (eyepiece), ο οποίος σχηματίζει την τελική εικόνα του αντικειμένου με μία επιπλέον γωνιακή μεγέθυνση (eyepiece Angular Magnification) M_{Ae}, με τυπικές τιμές από ×5 μέχρι ×25,
viii. **Αδρή εστίαση**,
ix. **Λεπτή εστίαση**,
x. **Διάφραγμα ανοίγματος** (φωτισμού), το οποίο καθορίζει την ενεργό διάμετρο του συγκεντρωτικού φακού.

Η τελική μεγεθυντική ισχύς (Magnifying Power), **MP**, του μικροσκοπίου είναι

$$\mathbf{MP = M_{To} \cdot M_{Ae}},$$

με τυπικές τιμές από 5× μέχρι 2500×.

Οι μεγεθύνσεις M_{To} και M_{Ae} αναγράφονται από τον κατασκευαστή στα αντίστοιχα στοιχεία του μικροσκοπίου, και με κατάλληλο συνδυασμό επιτυγχάνεται η επιθυμητή ολική μεγέθυνση.

3.2.2.2. Παρασκευή λεπτών τομών.

Η Πετρογραφία είναι η επιστήμη της μελέτης των ορυκτών με τη χρήση μικροσκοπίου. Υπάρχουν δυο τύποι προετοιμασίας δειγμάτων προς πετρογραφική ανάλυση: οι λεπτές τομές και οι στιλπνές τομές.

Οι στιλπνές τομές είναι παρεμφερείς με τα δείγματα μεταλλογραφίας υπό την έννοια ότι η επιφάνεια προετοιμάζεται για εξέταση με μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός. Αντίθετα, η παρατήρηση των λεπτών τομών γίνεται με μικροσκόπιο διερχώμενου, πολωμένου φωτός.

Η προετοιμασία των λεπτών τομών αποτελείται από τις εργασίες της τομής, πλήρωσης κενών, λείανσης, κόλλησης σε δειγματοφόρο πλάκα, κοπής του περισσεύοντος υλικού, λείανσης της καινούργιας επιφάνειας που δημιουργήθηκε από τη δεύτερη κοπή και, τέλος, την εργασία του γυαλίσματος.

Γενικότερα, η προετοιμασία λεπτών τομών θεωρείται πολύ δυσκολότερη αυτής των στιλπνών, αφού απαιτείται πάχος τομής γύρω στα 30μm, με σχεδόν άψογο παραλληλισμό.

Αναλυτικότερα:

i. Αρχικά δημιουργούνται τμήματα πάχους περίπου 3mm από το αρχικό δείγμα. Πιο εύθρυπτα υλικά είναι καλύτερο να κατατμώνται σε κομμάτια μεγαλύτερους πάχους, περίπου 10mm.

ii. Πληρούνται οι πόροι με εποξική ρητίνη, ώστε το κομμάτι του πετρώματος να μπορέσει να υποστηρίξει μηχανικά το δείγμα.

iii. Λειοτριβείται το δείγμα και απομακρύνονται όλες οι πτυχές, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια επίπεδη, λεία επιφάνεια, απαλλαγμένη από παραμορφώσεις. Η επιλογή υλικού λείανσης και στίλβωσης εξαρτάται από το εάν το υλικό είναι μαλακό (όπως π.χ. Ανθρακικά πετρώματα και ψαμμίτες) ή σκληρό (όπως γρανίτης, βασάλτης, χαλαζίας κ.α.).

iv. Ελέγχεται το εάν η επιφάνεια έχει λειανθεί εντελώς. Η λεία πλευρά παρατηρείται στο φως, υπό γωνία 45°. Μια ομοιογενώς ανακλούσα επιφάνεια υποδεικνύει ότι η διαδικασία της λείανσης έχει γίνει σωστά. Μια μη ομοιογενής, «θαμπή» επιφάνεια δείχνει μη αποτελεσματική λείανση και άρα η λείανση πρέπει να συνεχιστεί.

v. Προετοιμασία κόλλησης της λείας επιφάνειας πάνω σε δειγματοφόρο πλάκα: Αρχικά καθαρίζεται επιμελώς το δείγμα ώστε να αφαιρεθούν όλα τα κατάλοιπα και στη συνέχεια αφήνεται να στεγνώσει. Έπειτα, προλειαίνεται και η δειγματοφόρος ώστε να είναι όμοιου πάχους και να δημιουργηθεί κατάλληλη επιφάνεια που θα συγκολληθεί καλύτερα με το ορυκτό. Γενικότερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σκόνες καρβιδίου του πυριτίου (SiC), με μέγεθος κόκκου 600 ή 1200, πάνω σε πλάκες χυτοσιδήρου.

vi. Προσαρτάται το δείγμα πάνω στην αντικειμενοφόρο με εποξική ρητίνη, με τις παρακάτω παρατηρήσεις:

- Η αναλογία κατά την ανάμιξη ρητίνης και σκληρυντικού πρέπει να είναι όπως ορίζει ο κατασκευστής. Η ανάμιξη πρέπει να γίνεται σωστά και προς όλες τις διευθύνσεις, ταυτόχρονα όμως με προσοχή ώστε να μη σχηματισθούν φυσαλλίδες αέρα. Το μίγμα πρέπει να αφεθεί για κάποια λεπτά πριν χρησιμοποιηθεί, έτσι ώστε όλος ο παγιδευμένος, μέσα στο μίγμα, αέρας, να ανεβεί στην επιφάνεια.
- Η επάλειψη της ρητίνης πάνω στις λείες επιφάνειες πρέπει να γίνει με φειδώ.
- Η πλευρά του δείγματος που έχει επαληφθεί τοποθετείται προς τα κάτω, πάνω στην πλάκα.

Ασκώντας σχετικά μικρή πίεση, το δείγμα πρέπει να μετακινηθεί μπρος-πίσω πάνω στην πλάκα, ώστε να εξωθηθεί η περίσσεια ρητίνης και αέρα.

Εικόνα 3.6 : Η εποξική ρητίνη REN HY 5161 και το σκληρυντικό RENLAM CY 219 της εταιρείας HUNTSMAN, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την παρασκευή των λεπτών τομών.

Εικόνα 3.7 : Τα δείγματα Αλτσί και Modellgips Rigips, μετά τον εμποτισμό τους.

vii. Το συσσωμάτωμα δείγματος-δειγματοφόρου πλάκας τοποθετείται πάνω σε ζεστή μεταλλική πλάκα, ώστε να επιταχυνθεί η στερεοποίηση της ρητίνης. Η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 50°C. Απαιτούνται περίπου δύο με τρεις ώρες ώστε να στερεοποιηθεί η ρητίνη, διαφορετικά η διαδικασία ενδέχεται να κρατήσει έως και 40-48 ώρες, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Εικόνα 3.8 : Η θερμαινόμενη μεταλλική πλάκα που χρησιμοποιείται για την ταχύτερη σκλήρυνση της ρητίνης.

viii. Το δείγμα ξανακόβεται, με τη βοήθεια τροχού ακριβείας, έτσι ώστε να ελαττωθεί το πάχος του και να μειωθεί ο χρόνος λείανσης.

ix. Εφ'όσον το δείγμα έχει φτάσει το επιθυμητό πάχος, εξετάζεται σε μικροσκόπιο διερχώμενου φωτός.

x. Τέλος, η τομή στιλβώνεται και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικροσκόπια διερχόμενου ή/και ανακλώμενου φωτός. Άλλα πλεονεκτήματα μια στιλβωμένης τομής είναι ότι μπορεί να υπολογισθεί η σκληρότητα του ορυκτού και ότι μπορούν να διεξαχθούν χημικές δοκιμές πάνω στις τομές αυτές.

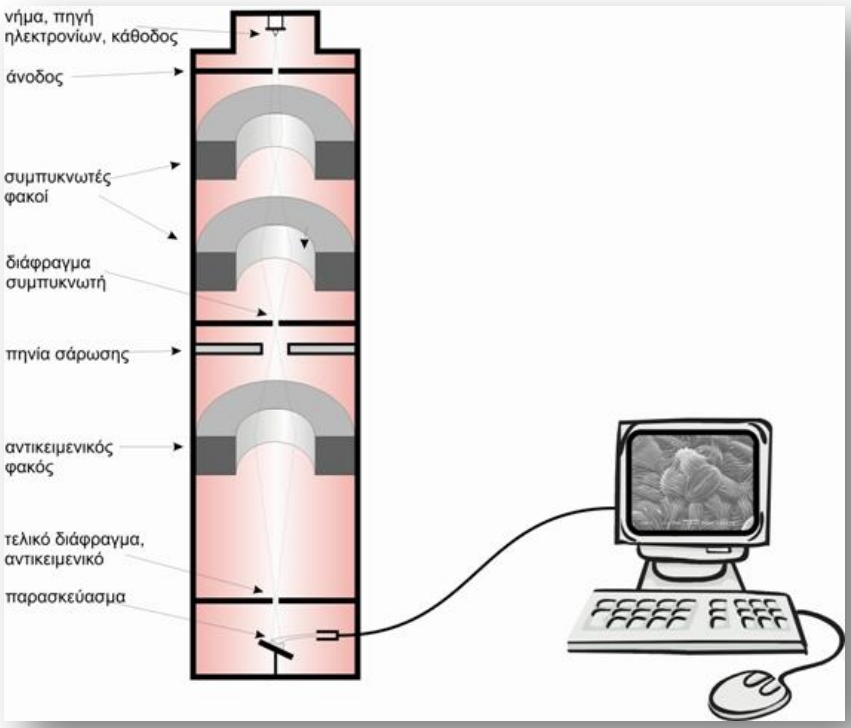
3.2.2.3. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος προκειμένου να εξεταστεί σε επίπεδο μικροδομής ένα υλικό ή, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένας δείγμα πετρώματος, είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Αυτό επιτρέπει την απεικόνιση ενός δείγματος σε μεγέθυνση, με διακριτική ικανότητα της τάξεως των nm, μέσω της αλληλεπίδρασης αυτού με μια δέσμη ηλεκτρονίων. Η δέσμη αυτή, η οποία προσπίπτει στο δείγμα, χειρίζεται με τη βοήθεια μαγνητικών φακών, όπως ακριβώς γίνεται και με τη δέσμη ηλεκτρονίων που σκεδάζεται από την επιφάνεια του δείγματος.

Ένα από τα είδη ηλεκτρονικών μικροσκοπίων είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην παρατήρηση των δειγμάτων γύψου.

Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη χρήση μιας λεπτής δέσμης ηλεκτρονίων, ενέργειας μέχρι 50 keV, η οποία, αφού διέλθει μέσω μιας ακολουθίας δύο ή τριών φακών εστίασης, καταλήγει να έχει διάμετρο 2-10 nm. Ένα πηνίο οδήγησης, εκτρέπει τη λεπτή αυτή δέσμη έτσι ώστε να σαρώνει περιοδικά την προς μελέτη επιφάνεια, δηλαδή την επιφάνεια του δείγματος. Η δέσμη, προσπίπτωντας πάνω στην επιφάνεια μελέτης, προκαλεί την εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων, ενέργειας 2-5 eV, αλλά και οπισθοσκεδαζωμένων ηλεκτρονίων, με ενέργεια που κυμαίνεται από την ενέργεια τηε δέσμης μέχρι τα 50 eV περίπου. Τα σήματα αυτά ενισχύονται και στη συνέχεια διαμορφώνουν την ένταση μιας εξωτερικής, ανεξάρτητης, καθοδικής δέσμης, η οποία προσπίπτει σε φθορίζουσα οθόνη, ακολουθώντας

την ίδια σάρωση που οδηγεί τη δέσμη του μικροσκοπίου. Έτσι προκύπτει μια μεγεθυμμένη απεικόνιση της επιφάνειας του δείγματος στη φθορίζουσα οθόνη.



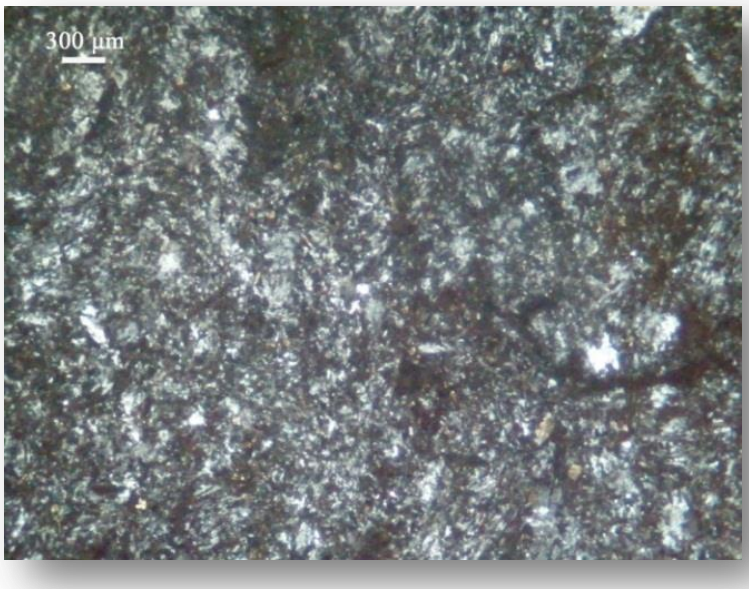
Σχέδιο 3.4: Η οργανολογία του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης.

Ανάλογα με την επιλογή του σήματος που χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή της εικόνας, αναδεικνύονται και διαφορετικά χαρακτηριστικά του δείγματος, δεδομένου ότι τόσο η παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρονίων, όσο και οσυντελεστής οπισθοσκέδασης, εξαρτώνται από τις τοπικές τιμές της γωνίας πρόσπτωσης, το μέσο ατομικό αριθμό αριθμό και τον κρυσταλλικό προσανατολισμό.

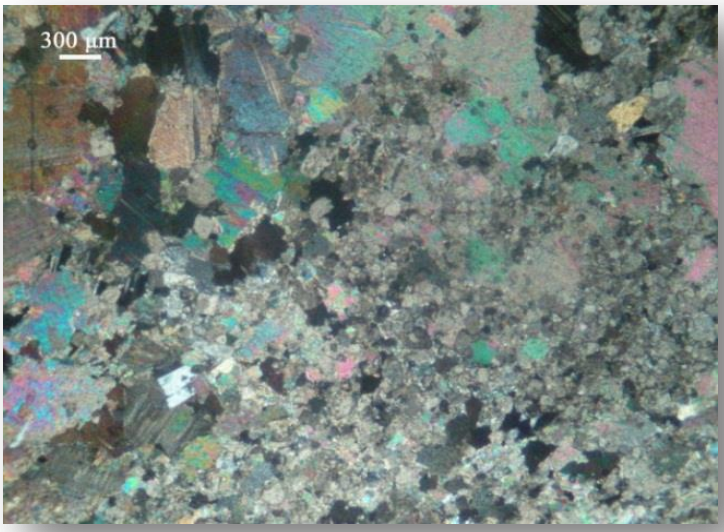
Οι εικόνες που προέρχονται από τη μελέτη των δειγμάτων, τόσο στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, όσο και στο μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός, παραβάλλονται στο παράρτημα της εργασίας.

3.2.2.4. Αποτελέσματα Πολωτικής Μικροσκοπίας.

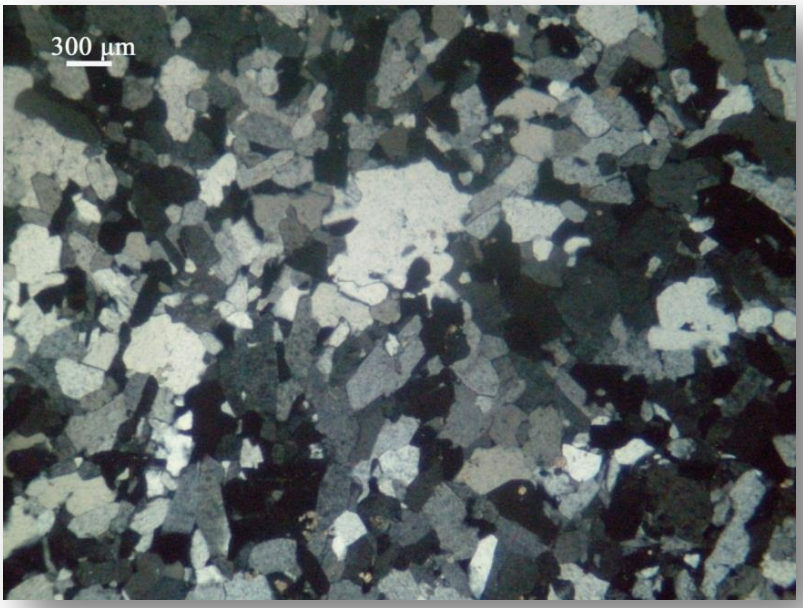
Μετά τη δημιουργία των λεπτών τομών από όλα τα δείγματα, και με τη βοήθεια του πολωτικού μικροσκοπίου διερχομένου φωτός τύπου JENALAB, ελήφθησαν οι παρακάτω φωτογραφίες:



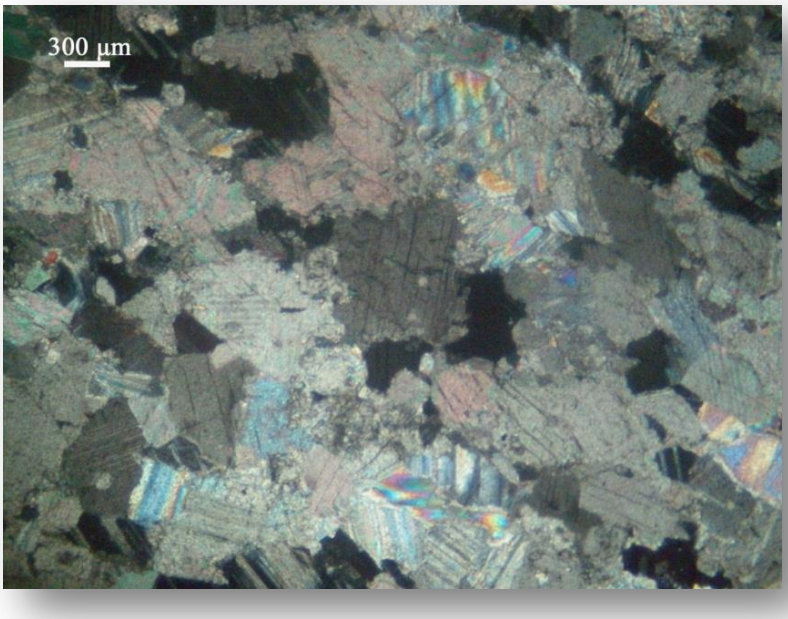
Εικόνα 3.9 : Κρύσταλλοι γύψου από το μέτωπο της εκμετάλλευσης.
(**Δείγμα Α**, διερχόμενο φως, x Nic.)



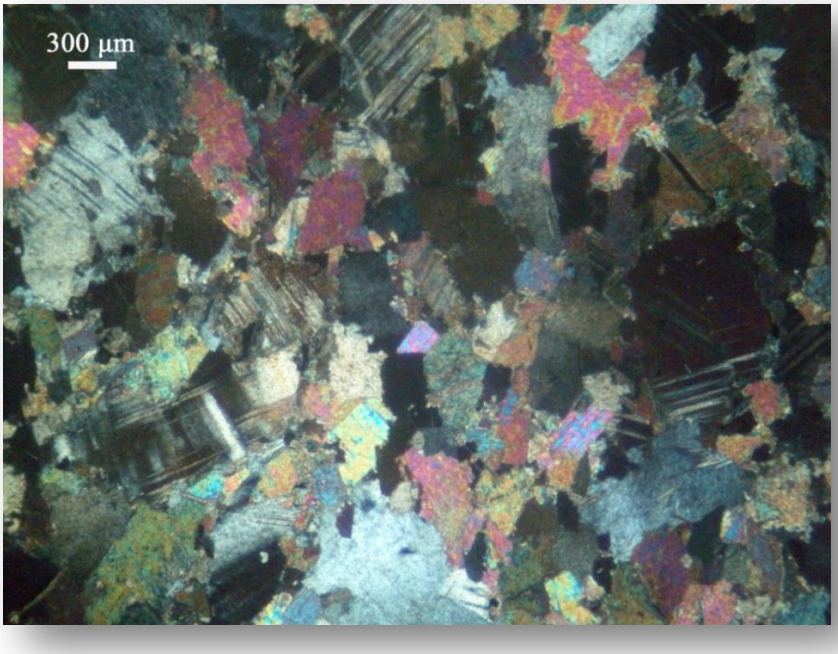
Εικόνα 3.10 : Κρύσταλλοι γύψου και ανυδρίτη από την διεπιφάνεια γύψου-ανυδρίτη της εκμετάλλευσης.
(**Δείγμα B_1**, διερχόμενο φως, x Nic.)



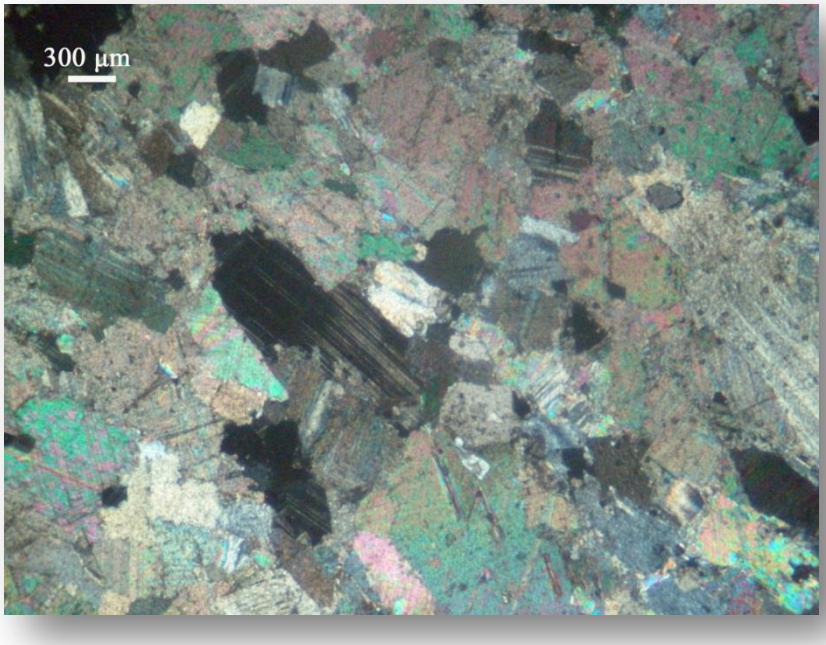
Εικόνα 3.11 : Κρύσταλλοι γύψου από την διεπιφάνεια γύψου-ανυδρίτη της εκμετάλλευσης. (**Δείγμα B_2**, διερχόμενο φως, x Nic).



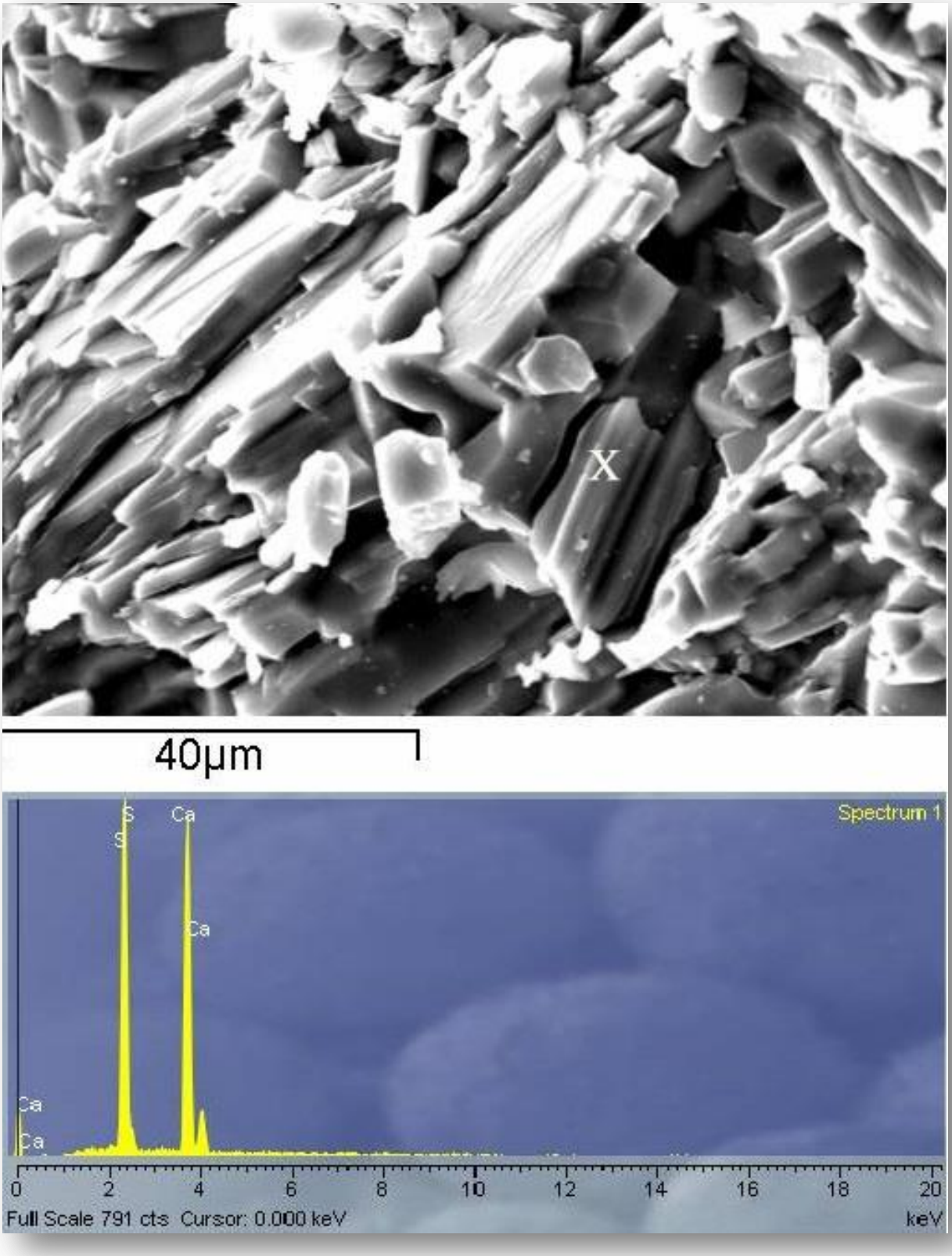
Εικόνα 3.12 : Κρύσταλλοι γύψου και ανυδρίτη από την διεπιφάνεια γύψου-ανυδρίτη της εκμετάλλευσης. (**Δείγμα $Γ_1$**, διερχόμενο φως, x Nic).



Εικόνα 3.13 : Κρύσταλλοι γύψου και ανυδρίτη από την διεπιφάνεια γύψου-ανυδρίτη της εκμετάλλευσης. (**Δείγμα Γ$_2$**, διερχόμενο φως, x Nic).



Εικόνα 3.14 : Κρύσταλλοι ανυδρίτη με ίχνη γύψου από το μέτωπο της εκμετάλλευσης. (**Δείγμα Δ**, διερχόμενο φως, x Nic).



Εικόνα 3.15: Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) από δείγμα γύψου κοιτάσματος Αλτσί με τη σημειακή χημική ανάλυση (EDS).

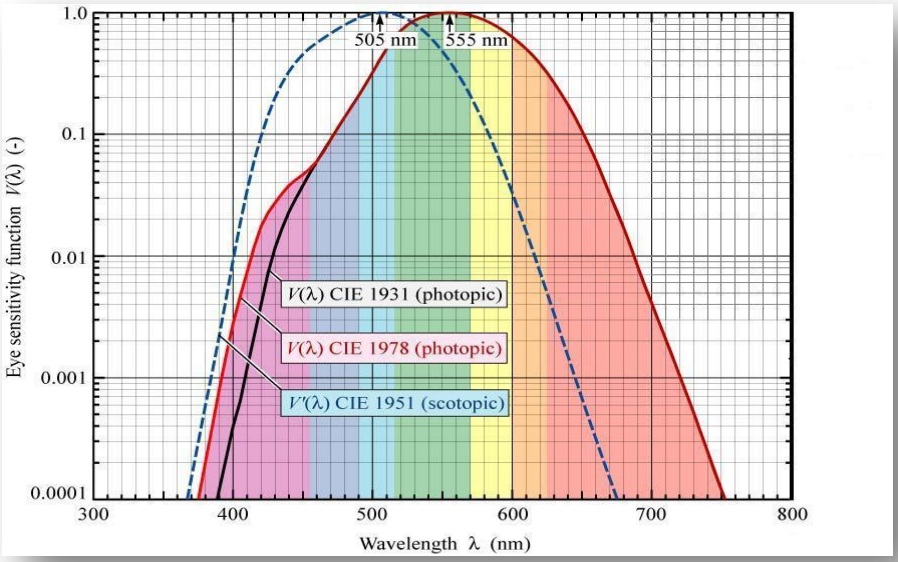
3.2.3. Μέθοδος Μέτρησης Χρώματος (Colorimetry).

Το χρώμα είναι ιδιότητα υψίστης σημασίας στην επιλογή ενός διακοσμητικού υλικού όπως η γύψος καλλιτεχνίας. Διαφορές στις φυσικές ιδιότητες, όπως μέγεθος και σχήμα τεμαχιδίων, καθώς και τα ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά μπορεί να επηρρεάσουν το χρώμα.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία μέτρησης του χρώματος των εξεταζομένων δειγμάτων γύψου και η σύγκρισή τους με τις ιδιότητες της εμπορικής γύψου Rigips Modellgips.

3.2.3.1. Φύση του χρώματος.

Έχουν γίνει πολλές μελέτες για τα χαρακτηριστικά της φασματικής απόκρισης του ανθρώπινου ματιού και έχει γίνει γενικώς παραδεκτή η καμπύλη ευαισθησίας ενός «μέσου» ματιού.



Διάγραμμα 3.11 : Η καμπύλη ευαισθησίας «μέσου» ανθρώπινου ματιού

Η αίσθηση του χρώματος δημιουργείται στον εγκέφαλο από ερέθισμα που μεταφέρεται μέσω του οπτικού νεύρου στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Το ανθρώπινο μάτι ανταποκρίνεται μόνο σε μια πολύ μικρή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το λεγόμενο **ορατό φάσμα** ή λευκό φως, με μήκη κύματος 400 nm (ιώδες) έως 700 nm (κόκκινο). Κάθε άνθρωπος έχει διαφορετική αίσθηση του χρώματος, οπότε είναι φανερή η αναγκαιότητα ύπαρξης οργάνων μέτρησης χρώματος.

3.2.3.2. Φασματοφωτόμετρα.

Το φασματοφωτόμετρο είναι ένα όργανο που μετρά την ένταση του φωτός σε μια εξαιρετικά περιορισμένη περιοχή φάσματος γνωστού μήκους κύματος. Κατά τη μέτρηση του χρώματος, η προς μελέτη επιφάνεια φωτίζεται με μια παράλληλη δέσμη φωτός που προσπίπτει συνήθως με γωνία 45° πάνω σε αυτήν και το φασματοφωτόμετρο μετράει το φως που ανακλάται.

Για πολλές πρακτικές εφαρμογές, ικανοποιητικές πληροφορίες αποκτώνται με απλούστερα όργανα με τα οποία πραγματοποιούνται περιορισμένες μετρήσεις από όλο το ορατό φάσμα. Τέτοια όργανα αναφέρονται ως "abridged" φασματοφωτόμετρα. Αυτά μετρούν την ανάκλαση του δείγματος σε μια σειρά από μήκη κύματος και παρέχουν φασματικές καμπύλες απόκρισης.

3.2.3.3. Το σύστημα μέτρησης χρώματος CIE.

Σήμερα η περισσότερο αποδεκτή μέθοδος μέτρησης χρώματος είναι η μέθοδος που ορίζει η **Διεθνής Ένωση Φωτισμού** (International Commission on Illumination ή Commision Internationale de l' Eclairage), **CIE**.

Τρεις συντελεστές χρείαζεται να ελεγχθούν ώστε να οριστούν αποδεκτές αριθμητικές τιμές ενός χρώματος:

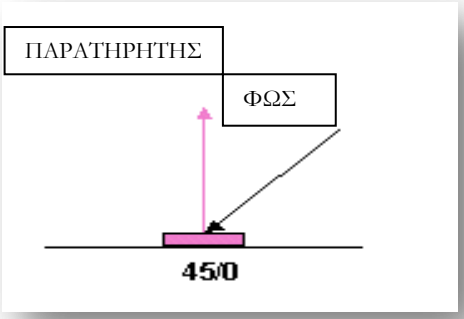
i. Ο πρώτος συντελεστής είναι ο **φωτισμός**. Μερικά χρώματα φαίνονται όμοια κάτω από συγκεκριμένο φωτισμό, αλλά διαφέρουν κάτω από άλλον (μεταμερισμός) . Επομένως, είναι απαραίτητο να ορισθεί η πηγή φωτός που χρησιμοποιείται.

Πρότυπες πηγές φωτισμού, όπως έχουν ορισθεί από τη CIE είναι:

- Η πηγή φωτός C που αντιστοιχεί σε φως συννεφιασμένου καλοκαιρινού ουρανού, που ανταποκρίνεται σε χρώμα που προέρχεται από θερμοκρασία 6744° K.
- Η πηγή φωτός A, που αντιπροσωπεύει το φως λάμπας πυρακτωμένου νήματος βολφραμίου, θερμοκρασίας 2854° K.
- Η πηγή φωτός D65, που αντιστοιχεί σε φυσικό φως ημέρας και προέρχεται από πηγή θερμοκρασίας 6500° K.

ii. Ο δεύτερος συντελεστής που πρέπει να οριστεί είναι ο **παρατηρητής**. Ο πρότυπος παρατηρητής βασίζεται στην ικανότητα παρατήρησης του «μέσου ματιού» ενός ανθρώπου. Η παρατήρηση αυτή γίνεται από το κέντρο του αμφιβληστροειδούς και καλύπτει 2° της όρασης, ενώ είναι προσαρμοσμένη σε όλα τα όργανα μέτρησης χρώματος και αναφέρεται ως 1931 2° πρότυπος παρατηρητής.

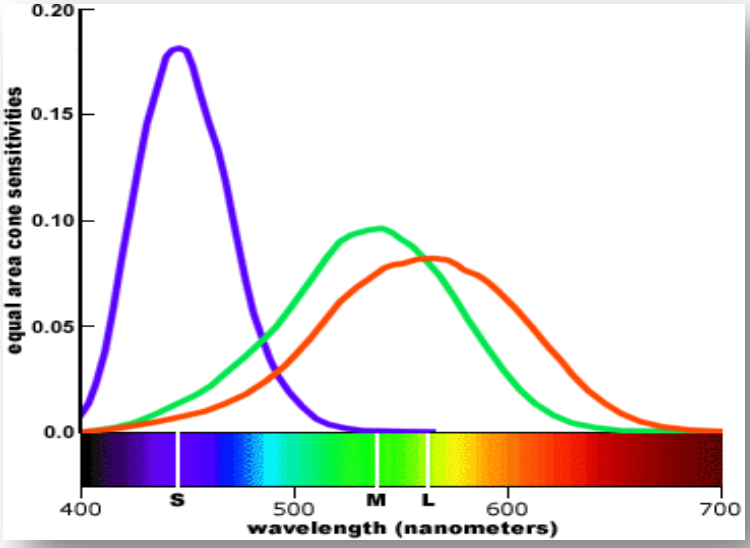
iii. Τέλος, ο τρίτος συντελεστής για τον ορισμό του χρώματος είναι **η γεωμετρία της πηγής του φωτός και του παρατηρητή**. Η CIE προτείνει τη διάταξη $45^o/0^o$.



Σχέδιο 3.5 : Η διάταξη $45^o/0^o$, κατά CIE.

Το βασικό τμήμα του οργάνου μέτρησης του χρώματος είναι το **χρωματόμετρο**. Μετρά την ανακλαστικότητα της επιφάνειας ενός δείγματος σε τρία συγκεκριμένα μήκη κύματος. Έτσι, χρησιμοποιώντας τα βασικά χρώματα του **κόκκινου** (700 nm), **πράσινου** (556 nm) και **μπλε** (436 nm), μπορεί να ορισθεί το οποιοδήποτε χρώμα.

Οι τιμές ανάκλασης των βασικών χρωμάτων μπορούν να υπολογισθούν από τη φασματοφωτομετρική καμπύλη. Οι τιμές αυτές ονομάζονται **τριχρωματικοί συντελεστές** και αναφέρονται ως **X,Y** και **Z**. Ο συντελεστής Y είναι σταθερός και ο κατά CIE 1931 πρότυπος παρατηρητής αποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως θα αποκρινόταν το μάτι σε φωτεινότητα χρώματος, ανεξάρτητα από τη χροιά (**hue**) και την απόχρωση (**chroma**) του χρώματος. Για το λόγο αυτό, ο συντελεστής Y χρησιμοποιείται για να ορίσει τη λευκότητα των ορυκτών κόνεων. (Ρεπούσκου, Ε., 2001)



Διάγραμμα 3.12 : Φασματικές κατανομές των τριων βασικών χρωμάτων (Billmeyer & Saltzman).

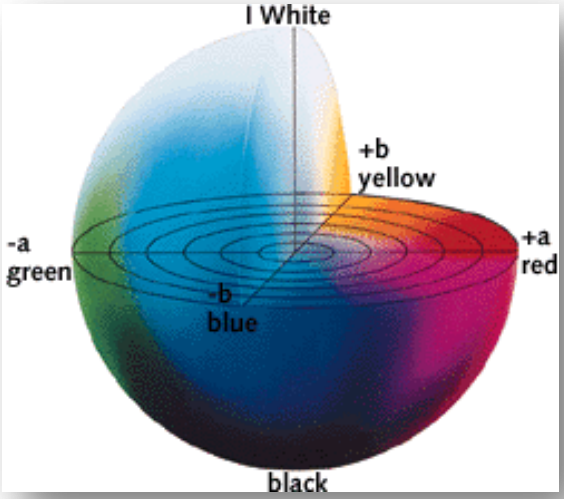
Το 1976, η CIE όρισε μια πιο πλήρη σειρά παραμέτρων για να περιγράψει το χρώμα, το **Σύστημα CIE L*A*B***.

Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν:

- Το **δείκτη L** (lightness), που αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα σε μια κλίμακα από 0 (μαύρο) έως 100 (τέλειο λευκό).

- Το **δείκτη a***, που ορίζει το βαθμό ερυθρού, αν έχει θετική τιμή ή το βαθμό πράσινου, αν έχει αρνητική.

- Το **δείκτη b*,** που ορίζει το βαθμό κίτρινου αν η τιμή του είναι θετική ή το βαθμό κυανού αν η τιμή του είναι αρνητική.



Διάγραμμα 3.13 : Σχηματική απεικόνιση του συστήματος CIE L*A*B*.

3.2.3.4. Λευκά πρότυπα.

Τα φασματοφωτόμετρα, όπως και τα φωτόμετρα, βασίζονται σε πρότυπα βάσει των οποίων μετρώνται τα διάφορα δείγματα. Η επιλογή των προτύπων εξαρτάται από τη φύση του δείγματος. Για πιο ακριβή αποτελέσματα, θα πρέπει το χρώμα τους να ταιριάζει όσο το δυνατόν περισσότερο με αυτό του υπό μελέτη δείγματος.

Διαφορετικές απόψεις υπάρχουν όσον αφορά στο ποιο πρότυπο είναι περισσότερο αποδεκτό να χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χρώματος. Προτεινόμενα πρότυπα είναι τα MgO, $BaSO_4$, $MgCO_3$, ο βιτρολίτης και διάφορα εφυαλωμένα λευκά πλακίδια.

Κατά τη CIE προτείνεται η χρήση ενός κεραμικού πλακιδίου βαθμονομημένου από εξουσιοδοτημένα εργαστήρια.

3.2.3.5. Μεθοδολογία.

Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση ενός "abridged" φασματοφωτόμετρου ανάκλασης, της εταιρίας Diffusion Systems (Model 099) στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πρόκειται για φασματοφωτόμετρο ανάκλασης απλής δέσμης, με γεωμετρία $45^o/0^0$. Η πηγή φωτός είναι ένας λαμπτήρας πυρακτωμένου νήματος βολφραμίου, σε θερμοκρασία 2848° K, η οποία αναφέρεται στο CIE ως **πηγή A**. Συνοδεύεται από ένα δίσκο με εννέα φίλτρα, που αντιστοιχούν σε μήκη κύματος από 426, 470, 490, 520, 550, 580, 600 έως και 648 nm. Ένας δεύτερος δίσκος περιλαμβάνει τα τριχρωματικά φίλτρα X, Y και Z και έτσι το όργανο λειτουργεί ως χρωματοφωτόμετρο.

Στο φασματοφωτόμετρο τύπου **EEL** (**Evans Electroselenium Limited**), είναι προσαρμοσμένο ένα φωτοβολταικό στοιχείο, το οποίο ανιχνεύει το ανακλώμενο φως και τα αποτελέσματα καταγράφονται μέσω ενός γαλβανομέτρου. Η όλη διαδικασία μέτρησης περιγράφεται παρακάτω.

Το EEL φασματοφωτόμετρο συνοδεύεται από ένα λευκό πρότυπο $MgCO_3$, με τιμή ανάκλασης 100% σε όλα τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στα εννέα φίλτρα. Για καλύτερα αποτελέσματα όμως, χρησιμοποιήθηκε λευκό εφυαλωμένο πλακίδιο, βαθμονομημένο σε σχέση με το τέλειο λευκό από τη British Ceram LTD. (Ρεπούσκου, Ε., 2001)

Οι τιμές ανάκλασης του πρότυπου πλακιδίου, δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήκος κύματος (nm)	Ανάκλαση %
426	84.78
470	86.66
490	87.23
520	87.83
550	88.09
580	87.98
600	88.15
660	88.11
684	88.47
Τριχρωματικές τιμές	**Ανάκλαση %**
X	96.66
Y	88.01
Z	30.66

Πίνακας 3.5 : Πίνακας ποσοστιαίας ανάκλασης ανά μήκος κύματος φωτός.

Στη χρωματομετρία, η ακρίβεια και η πιστότητα εξαρτάται από τη μέθοδο παρασκευής δειγμάτων. Απαραίτητη δε, είναι η απαρέγκλιτη χρήση κοινής μεθόδου προετοιμασίας σε όλα τα δείγματα. Στη μελέτη αυτή ακολουθήθηκε η μέθοδος BS 3900 : Part D9.

3.2.3.6. Μεθοδολογία μέτρησης χρώματος με το φασματοφωτόμετρο ανάκλασης EEL.

1. Αλλαγή του δίσκου φίλτρων.

i. Αφαιρούμε το πάνω κάλυμμα του οργάνου το οποίο συγκρατείται από μια βίδα σε κάθε πλευρά.
ii. Πιέζουμε πλήρως τον άξονα με το ελατήριο και τραβούμε το δίσκο με τα φίλτρα προς τα πάνω.
iii. Τοποθετούμε τον άλλο δίσκο και επανατοποθετούμε το κάλυμμα του οργάνου.

2. Εγκατάσταση του οργάνου.

i. Συνδέουμε το γαλβανόμετρο στο ρεύμα.
ii. Θέτουμε το διακόπτη ευαισθησίας του γαλβανομέτρου αριστερόστροφα και ανάβουμε το διακόπτη, ρυθμίζοντας έτσι ώστε η ένδειξη να είναι μηδέν.
iii. Συνδέουμε την κεφαλή του φασματοφωτόμετρου ανάκλασης με το γαλβανόμετρο και το όργανο είναι πλέον έτοιμο για λειτουργία.

3. Μετρήσεις.

Χρησιμοποιώντας το δίσκο με τα εννέα φίλτρα, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

i. Τοποθετούμε το άνοιγμα της κεφαλής του οργάνου πάνω στο λευκό πρότυπο πλακίδιο και ρυθμίζουμε το γαλβανόμετρο ώστε να δείξει τη βαθμονομημένη τιμή του λευκού προτύπου.
ii. Τοποθετούμε το όργανο πάνω στην εξεταζόμενη επιφάνεια και καταγράφουμε την τιμή της από την ένδειξη του γαλβανομέτρου.
iii. Καταγράφουμε όλες τις τιμές και για τα εννέα φίλτρα και σχεδιάζουμε τις φασματοφωτομετρικές καμπύλες.
iv. Αλλάζουμε το δίσκο και τοποθετούμε το δίσκο με τα φίλτρα X,Y,Z και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία.

3.2.3.7. Τύποι υπολογισμού των δεικτών λευκότητας.

$\alpha^* = 500\,[\,(\frac{X}{Xn})^{1/3} - (\frac{Y}{Yn})^{1/3}\,]$, $b^* = 200\,[\,(\frac{Y}{Yn})^{1/3} - (\frac{Z}{Zn})^{1/3}\,]$,

$L^* = 116\,(\frac{Y}{Yn})^{1/3} - 16$, $\Delta E^*ab = [\,(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\,]^{1/2}$,

όπου :

- **X**, **Υ**, **Z** οι τριχρωματικές τιμές όπως μετρώνται από το φασματοφωτόμετρο
- **Xn**=109.83 ,
- **Yn**=100 ,
- **Zn**=35.55 (Οι τριχρωματικές τιμές του τέλειου λευκού για πηγή φωτός A με παρατηρητή με γωνία 2°)
- **ΔL*** η διαφορά φωτεινότητας του χρώματος του δείγματος από το τέλειο λευκό,
- **Δa*** η διαφορά του δείκτη a* του δείγματος από το δείκτη a* του τέλειου λευκού και
- **Δb*** η διαφορά του δείκτη b* του δείγματος από τον αντίστοιχο δείκτη του τέλειου λευκού.

3.2.3.8. Αποτελέσματα μεθόδου Μέτρησης Χρώματος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν μετά τις μετρήσεις για τα δυο δείγματα γύψου (Μίγμα δειγμάτων από το Αλτσί, Δείγμα εμπορικής γύψου Rigips Modellgips):

Μήκος κύματος (nm)	Ανάκλαση Εμπορικής γύψου (%)	Ανάκλαση Δείγματος Αλτσί (%)
426	85.2	92.7
470	86.5	94.0
490	87.5	93.9
520	89.2	94.2
550	89.9	95.5
580	91.3	95.0
600	92.2	95.6
660	92.6	94.7
684	92.7	94.6
Τριχρωματικές τιμές	**Ανάκλαση Εμπορικής γύψου (%)**	**Ανάκλαση Δείγματος Αλτσί (%)**
X	99.8	104.2
Y	91.4	95.3
Z	31.4	34.3

Πίνακας 3.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας ποσοστιαίας ανάκλασης και τριχρωματικών τιμών για τα δείγματα Αλτσί και Modellgips, ανά μήκος κύματος προσπιπτομένου φωτός.

3.2.3.9. Επεξεργασία δεδομένων.

Με βάση τους παραπάνω τύπους και τα δεδομένα από τις μετρήσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε τους δείκτες α^*, b^*, L^* και ΔE^*ab για τα δύο δείγματα:

	α^*	b^*	L^*	ΔE^*ab
Μίγμα δειγμάτων Αλτσί	- 0,73	- 0,83	98,15	2,15
Δείγμα εμπορικής γύψου	- 0,98	2,2	96,57	4,19

Πίνακας 3.7 : Συγκεντρωτικός πίνακας δεικτών μέτρησης χρώματος

3.3. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής, όπως έχει διευκρινιστεί και παραπάνω, δεν είναι η μονόπλευρη εξέταση των δειγμάτων γύψου ως προς την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση, αλλά η ενδελεχής έρευνα σχετικά με το πως συμπεριφέρεται το εν λόγω δείγμα σε πρακτικές εφαρμογές, και πιο συγκεκριμένα ως γύψος καλλιτεχνίας. Έτσι, γίνεται εύκολα κατανοητή η ανάγκη για μελέτη και των **μηχανικών** ιδιοτήτων αυτού.

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να εξεταστούν είναι αυτά του **χρόνου πήξεως**, ώστε να προσδιορισθεί ο χρόνος που απαιτείται για να σταθεροποιηθεί το κονίαμα, η **επιμήκυνση** (διαστολή) που αυτό παρουσιάζει κατά την πήξη του, ώστε να αποφεύγονται κακοτεχνίες και ρωγμές στο σώμα του συμπαγούς, μετά την πήξη, υλικού και τέλος η **κοκκομετρία** του κονιάματος, προκειμένου να γίνεται χρήση συγκεκριμένης κοκκομετρίας γύψου, με γνωστά τα ανωτέρω αναφερθέντα χαρακτηριστικά.

Ωστόσο, για να είναι εφικτή η μέτρηση των χαρακτηριστικών αυτών και η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές που έγιναν τόσο στο δείγμα γύψου από το Αλτσί, όσο και στο δείγμα της εμπορικής γύψου, χρειάζεται κάποιου είδους «οδηγός», ως σημείο αναφοράς.

Ως οδηγός για την εκτέλεση και αξιολόγηση των απαιτούμενων δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα **σχετικά πρότυπα της ASTM** (American Society for Testing and Materials International).

Η ASTM International ιδρύθηκε το 1898 και εδρεύει στη Πενσυλβάνια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.

Αποτελεί διεθνή κυβερνητικό οργανισμό μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που αναπτύχθηκε ακολουθώντας συναινετικές διαδικασίες πολυμελών επιστημονικών επιτροπών συντάσσοντας διεθνή τεχνικά πρότυπα (Standards) τα οποία και γίνονται παγκοσμίως ευρύτερα αποδεκτά.

Σήμερα θεωρείται ίσως ο μεγαλύτερος οργανισμός προτύπων στον κόσμο, περιλαμβάνοντας περισσότερα από 12.000 πρότυπα που διακρίνονται σε έξι βασικές κατηγορίες:

1. πρότυπα προδιαγραφών,
2. πρότυπα μεθόδων δοκιμών,
3. πρότυπα οδηγών πληροφοριών
4. τυποποιημένη ταξινόμηση υλικών και προϊόντων
5. τυποποιημένη ορολογία καθώς και
6. πρακτικά πρότυπα επί προϊόντων ή μεθόδων εκτός ή πέρα των παραπάνω.

Όλα τα παραπάνω πρότυπα που φέρουν την ονομασία του οργανισμού ακολουθούμενου από ένα χαρακτηριστικό γραμματαριθμό, (π.χ. ASTM A354), περιλαμβάνονται σε ετήσιες πολύτομες εκδόσεις του οργανισμού, οι οποίες τίθενται σε παγκόσμια κυκλοφορία και σε ηλεκτρονική μορφή. Οι εκδόσεις αυτές διακρίνονται κατά τομείς ενδιαφέροντος όπως π.χ. προϊόντα χαλυβουργίας, μετάλλων, κλωστοϋφαντουργίας, πετρελαιοειδών και λιπαντικών, πλαστικών και χρωμάτων, ειδικών χημικών προϊόντων, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων, θεμάτων περιβαλλοντικής και πυρηνικής τεχνολογίας, γεωθερμίας, ηλιακής και αιολικής ενέργειας, μεθόδους και όργανα ελέγχου και μέτρησης καθώς και δείκτες ασφαλείας – διακίνησης.

Η συμμετοχή στον Οργανισμό αυτό φυσικών προσώπων, ιδιωτικών και κρατικών φορέων είναι ελεύθερη. Η δε συμμετοχή σε πολλές επιτροπές είναι εθελοντική. Τα μέλη του οργανισμού υπολογίζονται σήμερα σε περισσότερα από 30.000 από 120 χώρες τα οποία και κατανέμονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: σε **χρήστες**, **παραγωγούς** και **καταναλωτές**. (πηγή: Wikipedia)

Έτσι, από τον τομέα των **Προτύπων Μεθόδων Δοκιμών**, για τη διπλωματική αυτή εργασία, χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο **ASTM C 472 – 99**.

3.3.1. Το πρότυπο ASTM C472-99.

Η Αμερικανική Ένωση Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Materials, **ASTM**), όπως κάθε οργανισμός πιστοποίησης, έχει θέσει κάποιες παραμέτρους με βάση τις οποίες γίνονται οι δοκιμές σε πάσης φύσεως υλικό, όπως τα κονιάματα στην εξεταζόμενη περίπτωση. Αποτελούν δηλαδή μια σειρά «οδηγιών» προκειμένου οι εργαστηριακές δοκιμές να εκτελούνται με συγκεκριμένο τρόπο, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών αυτών, ***άμεσα και απαρέγκλιτα***.

Το πρότυπο **C472-99** αφορά στις Πρότυπες Μεθόδους Δοκιμών για Φυσική Δοκιμή Γύψου, Κονιαμάτων Γύψου και Τσιμέντων Γύψου (**Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete**).

Σ'αυτό υποδεικνύονται οδηγίες για τις παρακάτω παραμέτρους ή δοκιμές:

- **Προετοιμασία για τις Δοκιμές Φυσικών Ιδιοτήτων** *(Precautions for Physical Tests)*
- **Αντιδραστήρια και Υλικά** *(Reagents and materials)*
- **Φυσική Υγρασία** *(Free Water)*
- **Κοκκομετρία** *(Fineness)*

- **Κανονική Συνοχή του κονιάματος γύψου** (*Normal Concistency of Gypsum Plaster)*
- **Κανονική Συνοχή του τιμέντου γύψου** *(Normal Concistency of Gypsum Concrete)*
- **Χρόνος Πήξεως** *(Setting Time)*
- **Χρόνος Πήξεως με τη μέθοδο της Αυξανόμενης Θερμοκρασίας** *(Temperature Rise Method)*
- **Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη** *(Compressive Strength)*
- **Πυκνότητα** *(Density)*

Αναλυτικότερα:

i. **Προετοιμασία για τις Δοκιμές Φυσικών Ιδιοτήτων :** Η γύψος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από ακαθαρσίες, οι οποίες εισέρχονται στα δείγματα από απρόσεκτο χειρισμό κατά τις εργαστηριακές δοκιμές. Προκειμένου να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι κρίσιμης σημασίας η καθαριότητα όλων των συσκευών που χρησιμοποιούνται και να έχουν αφαιρεθεί όλα τα τυχόν υπολείμματα κονιάματος από τις επιφάνειες των συσκευών, που προέρχονται από προηγούμενες δοκιμές.

ii. **Αντιδραστήρια και Υλικά :** Στις δοκιμές, όπου αυτό ήταν αναγκαίο, χρησιμοποιήθηκε μόνο απιονισμένο νερό, ελεύθερο χλωρίου και θείου, θερμοκρασίας 21° C ± 1° C.

iii. **Φυσική Υγρασία :** Κατά το βήμα αυτό υπολογίζεται η φυσική υγρασία που εμπεριέχεται στη γύψο και τα κονιάματα αυτής και το δείγμα προετοιμάζεται για τη δοκιμή.

a. Συσκευές : Ζυγός ακρίβειας 0.1 g, ικανότητας ζύγισης όχι μικρότερης των 500 g.

b. Φούρνος : Ρυθμισμένος να λειτουργεί στους 45 ± 3° C.

c. Ξηραντήρας : Ο ξηραντήρας πρέπει να περιέχει χλωριούχο ασβέστιο ή παρόμοιο αφυγραντικό.

d. Διαδικασία : Ζυγίζεται δείγμα όχι μικρότερης μάζας των 500 g. του δείγματος με ακρίβεια 0.1 g. και κατανέμεται ομοιόμορφα σε ένα λεπτό στρώμα κατάλληλου δοχείου. Το δοχείο αυτό τοποθετείται μαζί με το ζυγισμένο δείγμα σε φούρνο και ξηραίνεται για δύο ώρες. Στη συνέχεια τοποθετείται στο ξηραντήρα και ζυγίζεται ξανά. Το αποξηραμένο πλέον δείγμα παραμένει σε αεροστεγή κλωβό, μέχρι να χρησιμοποιηθεί στην κοκκομετρική ανάλυση.

iv. **Χρόνος Πήξεως :** Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για να προσδιορισθεί ο χρόνος πήξεως του κονιάματος γύψου (ή των τσιμέντων γύψου), καθώς επίσης και για να καθοριστεί η συμμόρφωση του υπο δοκιμή δείγματος με τις ανάλογες προδιαγραφές. Ωστόσο, ο βαθμός συσχέτισης των εργαστηριακών αποτελεσμάτων με τα πρότυπα, είναι άμεσα εξαρτόμενος από μια πληθώρα συνθηκών, γι'αυτό και ποικίλλει από δοκιμή σε δοκιμή.

a. *Συσκευές :*

1. *Συσκευή Vicat :* Μια συσκευή Vicat πρέπει να αποτελείται από ένα πλαίσιο (A), το οποίο φέρει μια μετακινούμενη ράβδο (B) η οποία ζυγίζει 300 g., ένα άκρο (C) το οποίο αποτελεί το άκρο της ράβδου και έχει διάμετρο 10 mm και μήκος όχι μικρότερο των 50 mm. Το άλλο άκρο φέρει αφαιρούμενη βελόνη (D), διαμέτρου 1 mm και μήκους 40 mm. Η ράβδος B οφείλει να είναι αντιστρέψιμη και να μπορεί να συγκρατηθεί από οποιαδήποτε θέση από κοχλία (E), καθώς και να φέρει ρυθμιζόμενο δείκτη (F), ο οποίος να κινείται πάνω σε βαθμονομημένη, σε χιλιοστά, κλίμακα. Η κλίμακα αυτή στηρίζεται στο πλαίσιο A. Το κονίαμα πρέπει να εμπεριέχεται σε άκαμπτο, κωνικό δακτύλιο (G), ο οποίος να επικάθεται σε τετραγωνική, γυάλινη πλάκα, πλευράς περίπου 100 mm. Τέλος, ο δακτύλιος πρέπει να είναι κατασκευασμένος από μη διαβρώσιμο, μη απορροφητικό υλικό, με εσωτερική διάμετρο 70 mm στη βάση και 60 mm στην κορυφή, ύψους 40 mm.

Επιπρόσθετα, η συσκευή Vicat θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις παρακάτω απαιτήσεις :

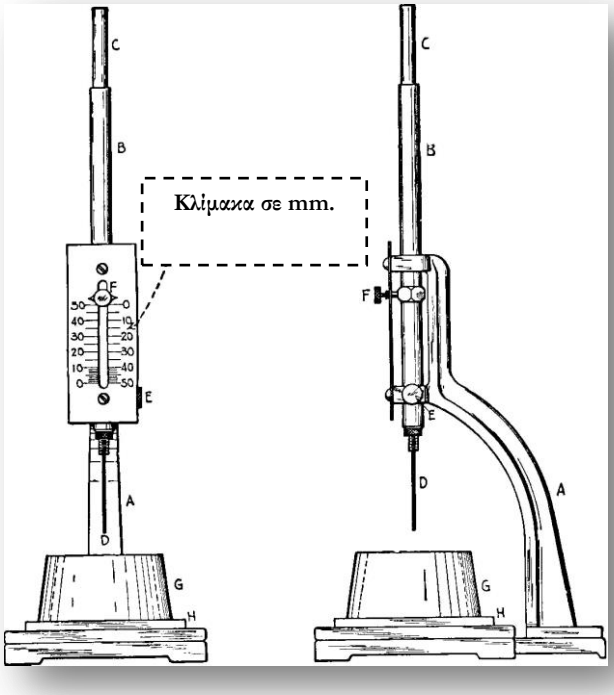
a. **Βάρος εμβόλου :** 300 ± 0.5 g.
b. **Διάμετρος μεγαλύτερου άκρου εμβόλου :** 10 ± 0.05 mm.
c. **Διάμετρος βελόνης :** 1 ± 0.05 mm.
d. **Εσωτερική διάμετρος δακτυλίου στη βάση :** 70 ± 3 mm.
e. **Εσωτερική διάμετρος δακτυλίου στην κορυφή :** 60 ± 3 mm.
f. **Ύψος δακτυλίου :** 40 ± 1 mm.

g. **Βαθμονομημένη κλίμακα :** Η βαθμονομημένη κλίμακα, συγκρινόμενη με πρότυπη κλίμακα ακριβείας 0.1 mm, σε όλα τα σημεία, πρέπει να μη δείχνει απόκλιση σε οποιοδήποτε σημείο μεγαλύτερη των 0.25 mm.

2. *Ζυγός :* Ικανός για ελάχιστη ζύγιση δείγματος μάζας 500 g, ακρίβειας 0.1 g.
3. *Χρονόμετρο ή Ρολόι :* Για την ακριβή μέτρηση του χρόνου πήξεως.
4. *Θάλαμος σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας :* Ο θάλαμος θα πρέπει να έχει ρυθμισθεί έτσι ώστε να λειτουργεί σε θερμοκρασία 21 ± 1° C και με ελάχιστη σχετική υγρασία 85%.

b. Διαδικασία : Η χρονομέτρηση ξεκινά με την επαφή του υλικού με το νερό. Δημιουργείται ικανή ποσότητα κονιάματος ώστε να πληρωθεί ο όγκος του κωνικού δακτυλίου. Δεν πρέπει να προστεθούν επιβραδυντικά πήξεως. Ο κωνικός δακτύλιος τοποθετείται πάνω στη γυάλινη πλάκα και το κονίαμα ρίχνεται μέσα στο δακτύλιο, μέχρι να φτάσει τη στάθμη της κορυφής αυτού. Το ύψος στο οποίο είναι ρυθμισμένη η βελόνη είναι τέτοιο ώστε αυτή να ακουμπά οριακά πάνω στην επιφάνεια του κονιάματος. Η ράβδος που φέρει τη βελόνη, αφήνεται ελεύθερη, μέσω του κοχλία που τη συγκρατεί, και η βελόνη εισχωρεί στο δείγμα ελεύθερα. Μετά από κάθε εισχώρηση, η βελόνη καθαρίζεται με στεγνό πανί και στη συνέχεια η γυάλινη πλάκα, μαζί με το δακτύλιο μετακινούνται, έτσι ώστε στην επόμενη επανάληψη η βελόνη να διεισδύσει σε διαφορετικό σημείο του δείγματος. Ο χρόνος κατά τον οποίο θα ληφθεί η πρώτη μέτρηση ορίζεται στα 15 λεπτά για τα κονιάματα γύψου, ενώ η συχνότητα επανάληψης στα 5 λεπτά. Ο χρόνος λήξεως του πειράματος ορίζεται ως ο χρόνος κατά τον οποίο η βελόνη δεν εισχωρεί στο στερεοποιημένο πλέον κονίαμα γύψου.

c. Αναφορά : Ως χρόνος πήξεως αναφέρεται ο χρόνος που παρήλθε από τη στιγμή που το υλικό ήρθε σε πρώτη επαφή με το νερό μέχρι τη στιγμή του χρόνου λήξεως του πειράματος.



Εικόνα 3.16 : Η συσκευή Vicat σε πρόοψη και πλάγια όψη.

v. **Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη :** Αυτή η μέθοδος δοκιμής χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την αντοχή δοκιμίων κονιάματος γύψου σε μονοαξονική θλίψη.

a. *Συσκευές :*

1. **Καλούπια Δοκιμίων :** Τα καλούπια που θα φιλοξενούν το κονίαμα πρέπει να είναι αποσπώμενα, πλευράς δυο ιντσών (2 in = 50.8 mm), κατασκευασμένα από μη διαβρώσιμο υλικό και η συναρμογή τους να είναι καλή ώστε να μην απωλεθεί δείγμα κατά το καλούπωμα. Δεν πρέπει να αποτελούνται από παραπάνω από τρια κυβικά διαμερίσματα και να είναι διασπώμενα σε παραπάνω από δυο τμήματα. Όταν συναρμολογούνται, τα τμήματα των καλουπιών πρέπει να συγκρατώνται σφιχτά και οι διαστάσεις πρέπει να είναι οι ακόλουθες :

i. Οι εσωτερικές επιφάνειες των καλουπιών πρέπει να είναι λείες, με τραχύτητα που

να μην ξεπερνά τις 0.001 in. (0.03 mm) για αχρησιμοποίητα καλούπια, ή τις 0.002 in. (0.05 mm) για πρότερα χρησιμοποιημένα.

ii. Η απόσταση μεταξύ δυο αντικρυστών αποσπώμενων τμημάτων για κάθε κυβικό διαμέρισμα πρέπει να είναι 2 ± 0.005 in. (50.8 ± 0.13 mm) για κάθε καινούργιο καλούπι ή 2 ± 0.020 in. (50.8 ± 0.51 mm) για χρησιμοποιημένα καλούπια.

iii. Η περιεχόμενη γωνία μεταξύ δυο παρακείμενων τμημάτων πρέπει να είναι 90 ± 0.5°, μετρούμενη από σημεία που απέχουν ελάχιστα από τις διατομές των δυο αυτών τμημάτων.

2. **Μηχανή Δοκιμής :** Η μηχανή δοκιμής μπορεί να είναι είτε υδραυλική είτε βιδωτού τύπου, με άνοιγμα επαρκές ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί το δοκίμιο. Το φορτίο που ασκείται στο δοκίμιο πρέπει να αποδίδεται με ακρίβεια ± 1% από το πραγματικό φορτίο. Η συσκευή ένδειξης του φορτίου πρέπει να έχει ένδειξη με το μέγιστο φορτίο. Η άνω σιαγόνα της μηχανής δοκιμής θα πρέπει να αποτελείται από ένα συμπαγές, σκληρυμένο κομμάτι μετάλλου (χάλυβας), κυκλικής διατομής, σφιχτά συναρμολογημένο, το οποίο να εδράζεται σφαιρικά στο κέντρο του άνω τμήματος της μηχανής. Το μέταλλο αυτό πρέπει να είναι ελεύθερο να κλίνει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ένα δεύτερο κομμάτι σκληρυμένου μετάλλου θα πρέπει να χρησιμοποιείται κάτω από το δείγμα, προκειμένου να περιορίζονται οι φθορές στην κάτω σιαγόνα της μηχανής. Η τελευταία θα πρέπει να φέρει ομόκεντρους κύκλους, με διαφορά ακτίνας ¼ in., οι οποίοι θα εξυπηρετούν στο ακριβές κεντράρισμα του δοκιμίου. Οι πλάκες που θα έρχονται σε

επαφή με το δείγμα θα πρέπει να έχουν ελάχιστο δείκτη σκληρότητας, κατά Rockwell, 60. (**≥ 60 HRC**).

Τέλος, οι επιφάνειες των πλακών αυτών, δε θα πρέπει να παρουσιάζουν στις επιφάνειές τους εξογκώματα ύψους μεγαλύτερα των 0.0005 in. (0.013 mm) όταν αυτές είναι καινούργιες, ή 0.0010 in. (0.025 mm) μετά από χρήση.

3. **Κλίβανος :** Ειδικός θερμοθάλαμος κατασκευασμένος από πυρίμαχα υλικά, σταθεροποιημένος στους 45 ± 3° C, με μέγιστη σχετική υγρασία 50%.

4. **Ξηραντήρας :** Περιέχει υπερχλωρικό άλας μαγνησίου ή χλωριούχο ασβέστιο, ικανός να κλείνει αεροστεγώς και να φιλοξενεί 6 κύβους (δοκίμια).

5. **Δοκίμια :** Λαμβάνεται ελάχιστη ποσότητα δείγματος 1000 mL, η οποία αναδεύεται με συγκεκριμένο όγκο νερού (η **ποσότητα** και **ποιότητα** του οποίου αναφέρονται στα δεδομένα του πειράματος), το μίγμα τοποθετείται σε δοχείο χωρητικότητας 2 L και αφήνεται να διαποτιστεί η γύψος για 2 λεπτά περίπου. Στη συνέχεια αναδεύεται ισχυρά (περίπου 150 κυκλικές, πλήρεις αναδεύσεις ανά λεπτό) επί 1 λεπτό, με μεταλλικό κουτάλι, σπάτουλα ή μηχανικό αναδευτήρα, ώστε να παραχθεί ένα ομοιογενές κονίαμα. Σε κανένα βήμα δεν πρέπει να προστεθούν επιβραδυντικά πήξεως. Τα καλούπια πρέπει να επικαλυφθούν με λεπτό στρώμα λαδιού μηχανών, ενώ τοποθετούνται πάνω σε γυάλινη ή μεταλλική πλάκα, η οποία να είναι και αυτή επικαλυμμένη με στρώμα λαδιού. Στη συνέχεια τοποθετείται κονίαμα μέσα στα καλούπια, μέχρι το ύψος των 25 mm όπου, με τη βοήθεια σπάτουλας, αυτό πιέζεται ανάμεσα σε κάθε ζεύγος αντικρυστών επιφανειών του καλουπιού, με τέτοιο τρόπο ώστε να αφαιρεθούν όλες οι φυσαλίδες αέρα που έχουν φυλακιστεί. Ακολουθεί η πλήρωση των καλουπιών με το

υπόλοιπο κονίαμα, μέχρι αυτό να ξεπεράσει κατά ελάχιστα το ύψος των τμημάτων του καλουπιού, επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για την αφαίρεση των φυσαλλίδων. Παράλληλα, με το ίδιο μίγμα, πληρώνεται και ο κωνικός δακτύλιος της συσκευής Vicat, ώστε να προσδιορισθεί ο χρόνος πήξεως του συγκεκριμένου μίγματος. Όταν αυτό πήξει και σταθεροποιηθεί, το εξέχον των πλαϊνών τμήμα του κονιάματος, αφαιρείται με μαχαίρι ή αντίστοιχο σκεύος. Τα καλούπια τοποθετούνται σε υγρό αέρα (90 – 100% σχετική υγρασία). Εκεί τα δοκίμια, κυβικού πλέον σχήματος, εξάγωνται από τα καλούπια, εφόσον έχουν σκληρύνει επαρκώς και παραμένουν σε υγρό αέρα για περίπου 16 ώρες. Τέλος, οι κύβοι τοποθετούνται στο φούρνο, έως ότου οι διαδοχικές μετρήσεις βάρους για κάθε κύβο να μην υπερβαίνουν σε διαφορά τα 0.1 g. και στη συνέχεια σε ξηραντήρα για τουλάχιστον 16 ώρες πριν από τη δοκιμή. (η δοκιμή πρέπει να λάβει χώρα αμέσως μόλις οι κύβοι απομακρυνθούν από το ξηραντήρα, έτσι ώστε τα δοκίμια να μην απορροφήσουν υγρασία από τον περιβάλλοντα αέρα).

b. *Διαδικασία :* Αμέσως μόλις τα δοκίμια έχουν ξηρανθεί, μετράται η αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη. Αυτά τοποθετούνται στη μηχανή δοκιμής έτσι ώστε το φορτίο να ασκείται στις πλευρές που δημιουργήθηκαν από τις εσωτερικές πλευρές των καλουπιών. Το φορτίο ασκείται συνεχώς, με αποφυγή απότομης μεταβολής του, με ένα συνεχή ρυθμό που να κυμαίνεται μεταξύ 15 – 40 psi/sec. Δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 psi/sec. (275 kPa/sec) μετά το σημείο κατά το οποίο έχει ασκηθεί το 50% του μέγιστου φορτίου.

Αναφορά : Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη για κάθε δείγμα ορίζεται ως ο μέσος όρος του μέγιστου φορτίου που ασκείται και στα έξι δοκίμια, στρογγυλεμένη στην εγγύτερη μονάδα psi. Αν κάποιο από τα δοκίμια παρουσιάσει μειωμένη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη άνω του 15% σε σχέση με το μέσο όρο των υπόλοιπων δοκιμίων, οι τιμές αυτές δε λαμβάνονται υπόψη και ο μέσος όρος προκύπτει από τις αντοχές των υπόλοιπων δοκιμίων. Αν πάνω από 3 δοκίμια παρουσιάσουν τέτοια απόκλιση, η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί. (Πηγή: Americal Society for Testing and Materials).

3.3.2. Ακολούθηση του Προτύπου στις Εργαστηριακές δοκιμές.

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών στις οποίες υποβάλλαμε τα δείγματα γύψου που είχαμε (Μίγμα Δειγμάτων Αλτσί και Δείγμα Εμπορικής Γύψου Rigips Modellgips) με τρόπο ώστε να συμμορφώνονται στο πρότυπο C472-99, χρειάστηκε να ακολουθηθούν πιστά οι οδηγίες για:

i. Την **Προετοιμασία για τις Δοκιμές Φυσικών Ιδιοτήτων**,
ii. τα **Αντιδραστήρια και Υλικά**,
iii. τη **Φυσική Υγρασία**,
iv. το **Χρόνο Πήξεως** και
v. την **Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη**.

Η προετοιμασία για τις δοκιμές φυσικών ιδιοτήτων περιγράφονται αναλυτικά στο Πρότυπο, ενώ τα Αντιδραστήρια και τα Υλικά που χρησιμοποιούνται, περιγράφονται σε κάθε μέθοδο ξεχωριστά, πλήν του Προτύπου. Τέλος, η φυσική υγρασία προκύπτει ως αποτέλεσμα της Μεθόδου Απώλειας Πύρωσης. (βλ.3.1.2)

3.3.3. Μέθοδος Υπολογισμού Χρόνου Πήξεως (Μέθοδος Vicat).

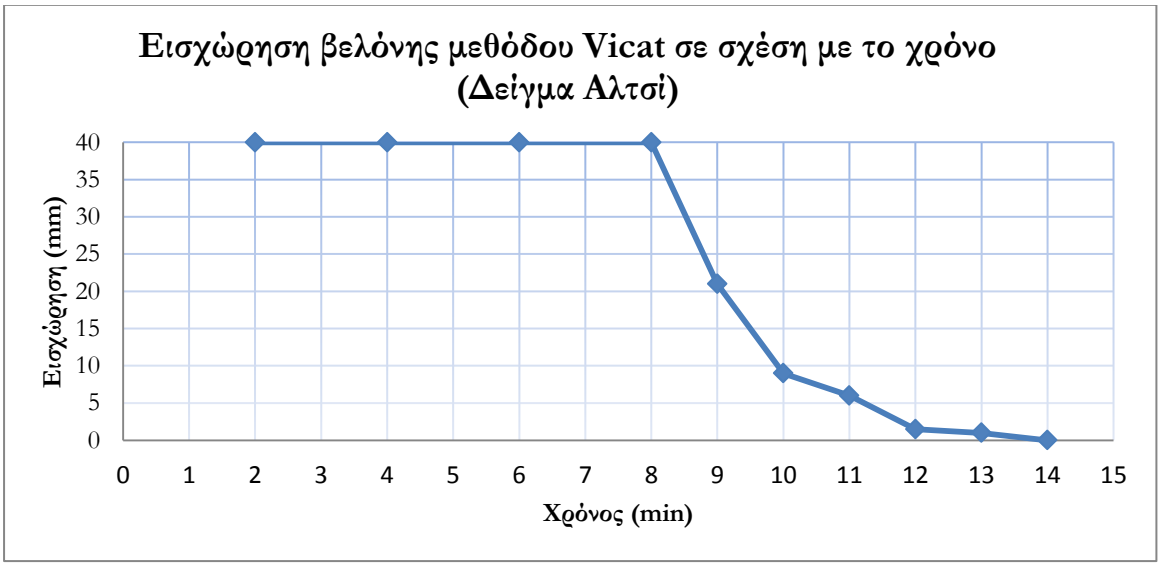
Εφαρμόζοντας τις οδηγίες του προτύπου ASTM, προέκυψαν τα παρακάτω δεδομένα:

	Χρόνος (min)	Εισχώρηση (mm)
Δείγμα Rigips Modellgips (50 gr gypsum/28.38 gr H2O) Ratio: 1.76		
	15	**40**
	20	(40 - 23) = **17**
	25	(40 - 37.5) = **2.5**
	30	(40 - 39) = **1**
	35	**0**
Δείγμα Αλτσί (50 gr gypsum/27.87 gr H2O) Ratio: 1.79	**2**	**40**
	4	**40**
	6	**40**
	8	**40**
	9	(40 - 19) = **21**
	10	(40 - 31) = **9**
	11	(40 - 34) = **6**
	12	(40 - 38.5) = **1.5**
	13	(40 - 39) = **1**
	14	**0**

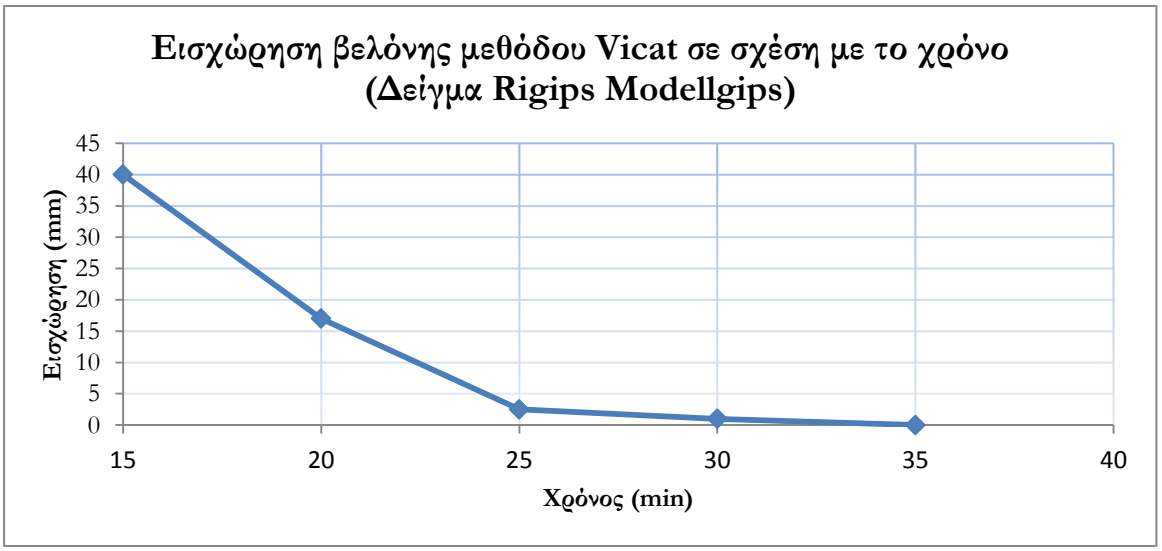
Πίνακας 3.8 : Πίνακας δεδομένων που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Vicat στα δύο δείγματα.

3.3.3.1. Αποτελέσματα μεθόδου Υπολογισμού Χρόνου Πήξεως (Vicat).

Αυτά μπορούν να απεικονιστούν σχηματικά στα διαγράμματα:



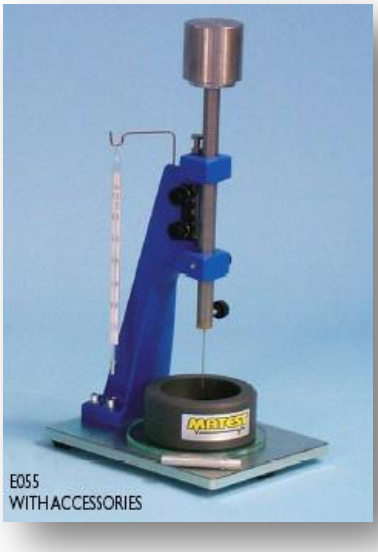
Διάγραμμα 3.14 : Μεταβολή εισχώρησης βελόνης δοκιμής στο κονίαμα, συναρτήσει του χρόνου, από τη στιγμή που ξεκίνησε η μίξη γύψου-νερού. (**Δείγμα Αλτσί**).



Διάγραμμα 3.15 : Μεταβολή εισχώρησης βελόνης δοκιμής στο κονίαμα, συναρτήσει του χρόνου, από τη στιγμή που ξεκίνησε η μίξη γύψου-νερού. (**Δείγμα Rigips Modellgips**)

Στους παραπάνω πίνακες, η στήλη «Χρόνος» αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που παρεμβλήθηκε μεταξύ ανάμιξης της γύψου με το νερό και της χρονικής στιγμής που ελήφθη η συγκεκριμένη μέτρηση. Σημειώνεται δε πως, για το δείγμα από το Αλτσί, ήταν απαραίτητη η συχνότερη λήψη μετρήσεων εισχώρησης, δεδομένου του ταχύτατου χρόνου πήξεως του δείγματος.

Θερμοκρασία χώρου δοκιμής: 25°C.



Εικόνα 3.17 : Η συσκευή Matest E055 που χρησιμοποιήθηκε στο Εργαστήριο για την εκπόνηση του πειράματος. (http://www.matest.com/prodotti/prodottovis.asp?cod=1055&sec=5&type=2).

Από την απεικόνιση των δεδομένων στα διαγράμματα, καθίσταται προφανές πως **το δείγμα Αλτσί έχει πολύ μικρότερο χρόνο πήξεως σε σχέση με αυτό της Rigips**, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ενδεχόμενη προσθήκη επιβραδυντικών προσθέτων στην εμπορική γύψο (δε διευκρινίζεται επίσημα από την εταιρεία στις τεχνικές προδιαγραφές του προϊόντος), καθώς και στη διαφορετική περιεκτικότητα των δύο δειγμάτων σε **ανυδρίτη**.

Ωστόσο, αυτό μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στην διαχείρηση και μορφοποίηση του κονιάματος, ειδικότερα σε διακοσμητικές εφαρμογές, λόγω του περιορισμένου χρόνου διάπλασης.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου Vicat και η σύγκρισή τους αναλύονται περαιτέρω στο Κεφάλαιο IV. (βλ.4.1, σελ.95)

3.3.4. Αξονική επιμήκυνση κονιάματος γύψου κατά την πήξη του.

Κατά την πειραματική αυτή διαδικασία, μελετήθηκε η επιμήκυνση ενός δείγματος από την περιοχή του Αλτσί και ενός από την εμπορική γύψο, κατά τη διάρκεια πήξεως κονιάματος γνωστής αναλογίας γύψου προς νερό.

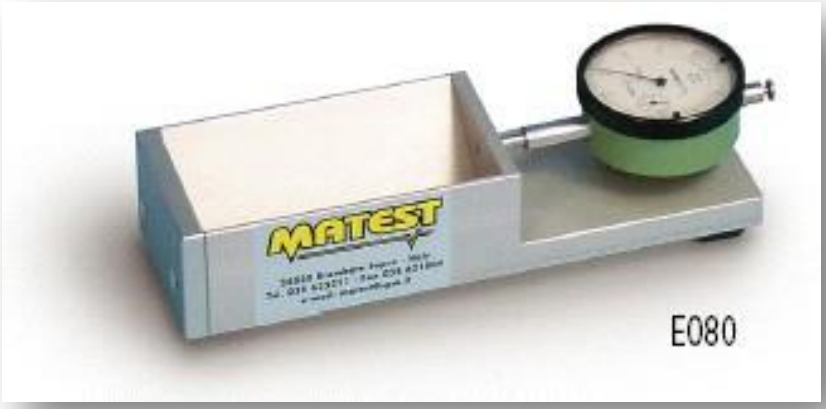
Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής επιμήκυνσης (extensometer) **E080** της εταιρείας **Matest**, ώστε να μετρηθεί με ακρίβεια η γραμμική διόγκωση των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσής τους.

Ο μετρητής αποτελείται από μια οριζόντια, τριγωνικής διατομής, κοιτίδα, διαστάσεων 100 mm μήκος x 60 mm πλάτος x 25 mm βάθος, σταθερή στο ένα άκρο της και μετακινούμενη στο άλλο.

Η μετακινούμενη πλευρά βρίσκεται σε επαφή με μια άτρακτο που φέρει μετρητή επιμήκυνσης, ώστε να μπορεί να υπολογισθεί η πλευρική διόγκωση του δείγματος, σε χιλιοστά του μέτρου. Ο μετρητής έχει δυνατότητα υπολογισμού μέχρι 10 mm διόγκωσης, με ακρίβεια 0,01 mm.

Σε κάθε μέτρηση, ενυδατώθηκαν 105 gr γύψου (από το κάθε δείγμα) με 45 gr απιονισμένου νερού. Η αναλογία μαζών γύψου-νερού ήταν δηλαδή περίπου 2,3 : 1, ακριβώς όπως ορίζει η κατασκευάστρια εταιρεία.

(Πηγή: http://www.matest.it/products/cement-mortar/e080-plaster-extensometer.aspx)



Εικόνα 3.18 : Ο μετρητής επιμήκυνσης E080 της εταιρείας Matest.

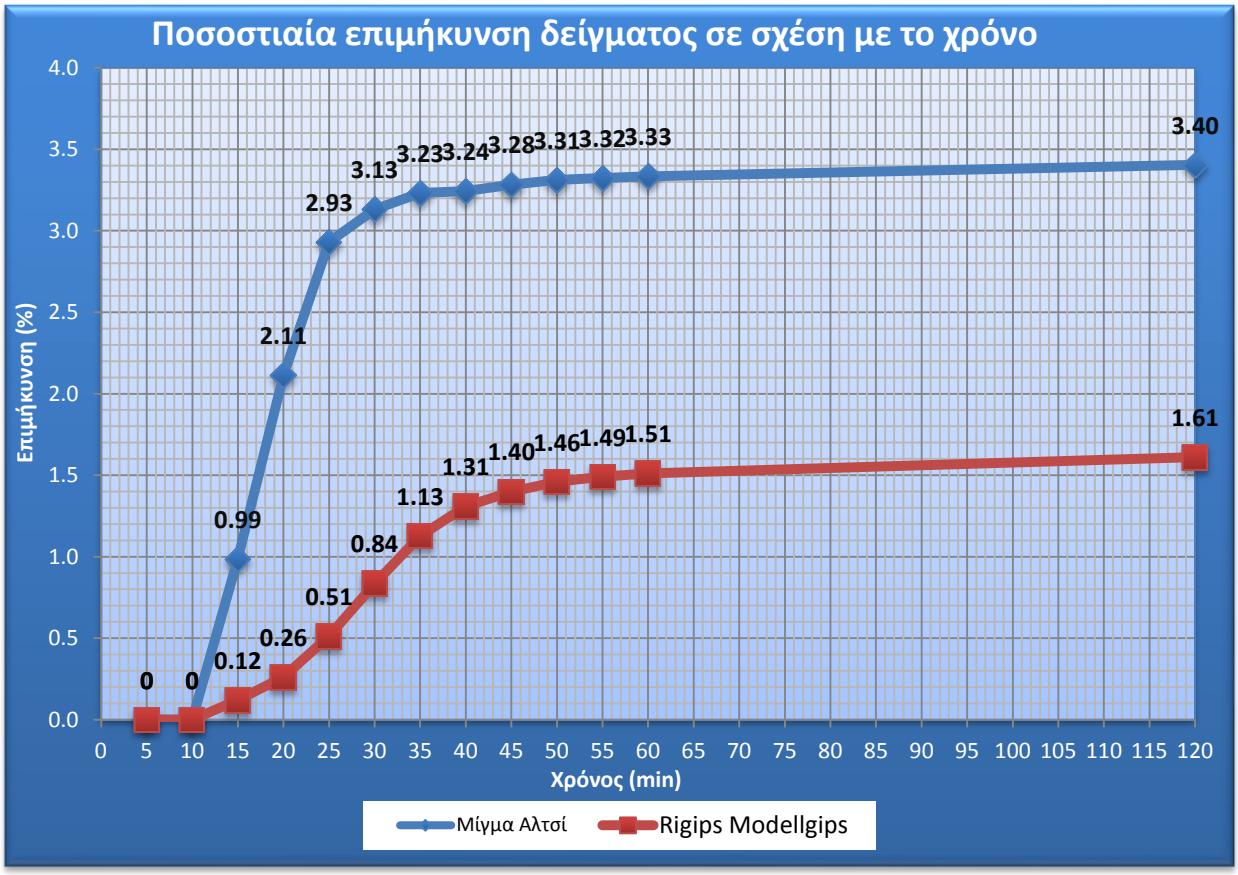
3.3.4.1. Αποτελέσματα μεθόδου Αξονικής Επιμήκυνσης Κονιάματος κατά την πήξη.

Η πειραματική διαδικασία για τα δύο δείγματα, Αλτσί και Rigips, απέφερε τα ακόλουθα δεδομένα. (Σημειώνεται και η **ποσοστιαία επιμήκυνση**, ώστε να καθίσταται δυνατή η καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.)

PLASTER EXTENSOMETER			
Δείγμα Αλτσί	**Χρόνος (min)**	**Επιμήκυνση (x 0,01mm)**	**Επιμήκυνση %**
	5	0	0
	10	0	0
	15	9.8	0.99
	20	21	2.11
	25	29.1	2.93
	30	31.1	3.13
	35	32.1	3.23
	40	32.2	3.24
	45	32.6	3.28
	50	32.9	3.31
	55	33	3.32
	60	33.1	3.33
	120	33.8	3.40
Εμπορικός Γύψος (Rigips Modellgips)	**Χρόνος (min)**	**Επιμήκυνση (x 0,01mm)**	**Επιμήκυνση %**
	5	0	0
	10	0	0
	15	1.2	0.12
	20	2.6	0.26
	25	5.1	0.51
	30	8.3	0.84
	35	11.2	1.13
	40	13	1.31
	45	13.9	1.40
	50	14.5	1.46
	55	14.8	1.49
	60	15	1.51
	120	16	1.61

Πίνακας 3.9 : Δεδομένα δοκιμής επιμήκυνσης κονιάματος.

Σχηματικά, από τα δεδομένα του ανωτέρω πίνακα, προκύπτει το κάτωθι διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.16 : Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων επιμήκυνσης για το δείγμα Αλτσί.

3.3.5. Προσδιορισμός της Αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη.

Το αντικείμενο της δοκιμής αυτής είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων κανονικής γεωμετρίας (κυβικά δοκίμια).

Όπως σε όλες τις προαναφερθείσες μεθόδους δοκιμής ιδιοτήτων, έτσι και στον προσδιορισμό αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη, ακολουθήθηκαν κατά γράμμα οι οδηγίες του Προτύπο ASTM C472-99, όσον αφορά στην προεργασία, τα υλικά και τις εν γένει προδιαγραφές, ώστε να προκύψουν δοκίμια κατάλληλα για το πείραμα. (βλ. 3.3, σελ. 72)

Έτσι, αφού παρασκευάστηκαν τα δοκίμια, και πριν χρησιμοποιηθούν στη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, μετρήθηκαν με διαστημόμετρο όλες οι πλευρές τους. Από τις μετρήσεις αυτές, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας με τις τιμές της κάθε διάστασης ανά δοκίμιο, αλλά και το μέσο όρο του εμβαδού των πλευρών ανά δοκίμιο, πληροφορία που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθεί με ακρίβεια η τάση που ασκήθηκε.

Δείγμα		Ύψος Δοκιμίου (cm)			Μήκος Δοκιμίου (cm)			Πλάτος Δοκιμίου (cm)		
		Y_1	Y_2	Y_3	M_1	M_2	M_3	$Π_1$	$Π_2$	$Π_3$
Δείγμα Αλτσί	A1	5.025	5.010	5.000	5.020	5.000	5.010	5.005	5.005	5.010
	A2	5.020	5.015	5.015	5.050	5.055	5.060	5.000	5.005	5.000
	A3	5.000	5.000	5.000	5.050	5.050	5.100	5.000	5.005	5.010
	A4	5.000	5.010	5.015	5.005	5.010	5.025	5.010	5.005	5.005
	A5	5.000	5.005	5.000	5.050	5.025	5.050	5.005	5.000	5.005
	A6	5.000	5.005	5.000	5.010	5.025	5.025	5.000	5.000	5.000
Rigips Modellgips	E1	5.050	5.050	5.070	5.050	5.075	5.075	5.025	5.025	5.025
	E2	5.040	5.045	5.045	5.060	5.065	5.055	5.050	5.050	5.050
	E3	5.025	5.025	5.050	5.025	5.025	5.030	5.035	5.025	5.045
	E4	5.050	5.050	5.050	5.075	5.050	5.065	5.025	5.025	5.050
	E5	5.050	5.050	5.050	5.050	5.075	5.040	5.025	5.025	5.025
	E6	5.025	5.025	5.025	5.040	5.050	5.025	5.050	5.050	5.050

Πίνακας 3.10 : Μετρήσεις διαστάσεων δοκιμίων.

Δείγμα		Μέσος Όρος Διάστασης			Εμβαδό δοκιμίου			Μέσο Εμβαδό Πλευράς (cm²)
		Ύψος (cm)	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	E_1 (Υ·Μ) (cm²)	E_2 (Μ·Π) (cm²)	E_3 (Υ·Π) (cm²)	
Δείγμα Αλτσί	A1	5.012	5.010	5.007	25.11	25.08	25.09	**25.09**
	A2	5.017	5.055	5.002	25.36	25.28	25.09	**25.24**
	A3	5.000	5.067	5.005	25.33	25.36	25.03	**25.24**
	A4	5.008	5.013	5.007	25.11	25.10	25.08	**25.09**
	A5	5.002	5.042	5.003	25.22	25.23	25.03	**25.16**
	A6	5.002	5.020	5.000	25.11	25.10	25.01	**25.07**
Rigips Modellgips	E1	5.057	5.067	5.025	25.62	25.46	25.41	**25.50**
	E2	5.043	5.060	5.050	25.52	25.55	25.47	**25.51**
	E3	5.033	5.027	5.035	25.30	25.31	25.34	**25.32**
	E4	5.050	5.063	5.033	25.57	25.49	25.42	**25.49**
	E5	5.016	5.055	5.025	25.35	25.40	25.20	**25.32**
	E6	5.025	5.038	5.050	25.32	25.44	25.38	**25.38**

Πίνακας 3.11 : Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων όρων μετρήσεων διαστάσεων και μέσων εμβαδών πλευράς ανά δοκίμιο.

Ο εξοπλισμός ο οποίος είναι απαραίτητος για την εκπόνηση της πειραματικής δοκιμής, πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές (Αγιουτάντης Ζ.,2002):

i. **Συσκευή δοκιμής**: Η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή/και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο, μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή.

ii. **Πλάκες φόρτισης**: Οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους.

iii. **Χαλύβδινοι Δίσκοι**: Οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής.

iv. **Σφαιρική κεφαλή έδρασης**: Η σφαιρική κεφαλή έδρασης πρέπει να βρίσκεται στο επάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονας της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης.

v. **Ηλεκτρονικός υπολογιστής**, συνδεδεμένος κατάλληλα με τον εξοπλισμό μονοαξονικής θλίψης, ο οποίος, με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, θα καταγράφει τις τιμές των τάσεων που ασκούνται κάθε χρονική στιγμή στο εκάστωτε δοκίμιο.

Εικόνα 3.19 : Η διάταξη του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων για τη μέτρηση αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη. (http://www.mred.tuc.gr/p0132061.htm)

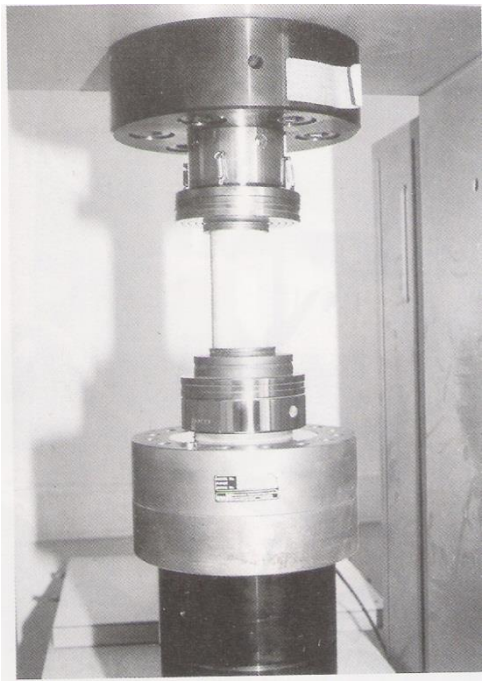
Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Αρχικά, μετρούνται οι πλευρές κάθε δοκιμίου, με ακρίβεια 1.0 mm. (Συνιστάται η δοκιμή τουλάχιστον **πέντε** (5) δοκιμίων).

2. Οι σφαιρικές κεφαλές έδρασης λιπαίνονται με ελαφρό ορυκτέλαιο.

3. Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής πρέπει να επιβάλλεται **αδιάκοπα**, με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0.5 - 1.0 MPa/sec.

4. Το μέγιστο φορτίο πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια 1%.



Εικόνα 3.20 : Πλάκες φόρτισης δοκιμίων.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (C_o) υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$C_o = \frac{Fmax}{A} \text{ (MPa)},$$

όπου:

- F_{max} : Το μέγιστο φορτίο που δέχτηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει,
- **A** : Το μέσο εμβαδό του δοκιμίου (Προκύπτει από το μέσο όρο πλευρών του κάθε δοκιμίου).

3.3.5.1. Αποτελέσματα μεθόδου Αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη.

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, αλλά και τα δεδομένα που κατέγραψε το λογισμικό Windmill Logger κατά τη διάρκεια του πειράματος, προέκυψαν τα διαγράμματα Πίεσης-Παραμόρφωσης (Stress-Strain), από τα οποία προκύπτουν και οι αντοχές σε μονοαξονική θλίψη του κάθε δοκιμίου ξεχωριστά.

Τα διαγράμματα αυτά παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα της εργασίας και τα αποτελέσματα σχολιάζονται στο Κεφάλαιο IV (βλ.4.1,σελ.95) ωστόσο συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

Δοκίμιο		Μέγιστη Πίεση (MPa)	Μέσος Όρος Μέγιστης Πίεσης (MPa)	Ελάχιστη Επιτρεπόμενη Αντοχή Πίεσης (-15% Μ.Ο.) (Mpa)	Διορθωμένος Μέσος Όρος Μέγιστης Πίεσης (MPa)
Δοκίμια Αλτσί	**A1**	5.81252 *	**6,91**	**5,86**	**7,12**
	A2	5.86876			
	A3	6.03752			
	A4	8.45624			
	A5	7.85624			
	A6	7.4			
Δοκίμια Rigips Modelligips	**E1**	6.29376	**6,93**	**5,89**	**6,93**
	E2	7.20624			
	E3	7.20624			
	E4	7.25			
	E5	7.08124			
	E6	6.53124			

Πίνακας 3.12 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για μέγιστες αντοχές δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη.

* : Όπως ορίζεται από το Πρότυπο ASTM C472-99, από τις τιμές των μέγιστων πιέσεων που δέχθηκαν τα δοκίμια, προκύπτει ένας μέσος όρος μέγιστης πίεσης. Στην περίπτωση που κάποιο δοκίμιο παρουσιάσει αντοχή μικρότερη του 85% του μέσου όρου, η τιμή αυτή αφαιρείται και επαναπροσδιορίζεται ο μέσος όρος με τις υπόλοιπες τιμές, όπως και έγινε στην περίπτωση του δοκιμίου Α1. Δεν τίθεται θέμα επανάληψης της δοκιμής, καθώς **μόνο** ένα δείγμα παρουσίασε μειωμένη αντοχή, αντί για τρία που αποτελεί συνθήκη επανάληψης.

Τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις αντοχές κάθε δοκιμίου ξεχωριστά, παρατίθενται στο παράρτημα της εργασίας.

3.3.6. Κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων laser.

Η μέτρηση του κοκκομετρικού μεγέθους με βάση τη σκέδαση φωτός βασίζεται στην αλληλεπίδραση του φωτός με τα σωματίδια.

Σωματίδια συγκεκριμένου μεγέθους σκεδάζουν μια ακτίνα φωτός σε δεδομένη γωνία. Η ένταση της σκέδασης εξαρτάται από το κοκκομετρικό μέγεθος, μειούμενη με μείωση του όγκου του κόκκου. Έτσι, μεγάλοι κόκκοι σκεδάζουν το φως σε χαμηλές γωνίες με μεγάλη ένταση ενώ οι μικρότεροι κόκκοι το σκεδάζουν σε ευρύτερες γωνίες με χαμηλή ένταση. (Loizeau et al.,1994).

Για τον υπολογισμό της κοκκομετρικής κατανομής από τις γωνίες σκέδασης που μετρώνται υπάρχουν δύο οπτικά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

1) **Η θεωρία Mie**: Η θεωρία Mie είναι μια επίλυση των εξισώσεων του Maxwell (οι οποίες αποτελούν μια σειρά τεσσάρων θεμελιωδών εξισώσεων που ελέγχουν τη συμπεριφορά ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων) (Eshel et. al, 2004).

Βασίζεται στις εξής παραδοχές:

i. Το σωματίδιο υποτίθεται ότι είναι σφαιρικό. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή λίγα σωματίδια είναι πραγματικά σφαιρικά. Η σκέδαση του φωτός είναι ευαίσθητη προς τον όγκο του σωματιδίου. Για το λόγο αυτό, οι διάμετροι των σωματιδίων που υπολογίζονται από τη μέτρηση όγκου του σωματιδίου, θεωρείται ότι ισοδυναμούν με μία σφαίρα αντίστοιχου όγκου.

ii. Το αιώρημα είναι αραιό. Η συγκέντρωση των σωματιδίων θεωρείται ότι είναι τόσο χαμηλή που η σκέδαση της ακτινοβολίας μετράται απευθείας από τον ανιχνευτή και ότι δεν υπάρχει εκ νέου σκέδαση από άλλα σωματίδια, πριν φθάσει στον ανιχνευτή (δηλαδή πολλαπλές σκεδάσεις) (Malvern.com).

2) **Η θεωρία Fraunhofer:** Η αρχική της παραδοχή είναι ότι υπάρχει μόνο σκέδαση και όχι διάθλαση, γεγονός που δεν είναι απόλυτα αληθές για το οργανικό υλικό, αφού μπορεί να απορροφήσει μερικό φως (Beuselinck et. al, 1998).

Η προσέγγιση Fraunhofer, χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους αναλυτές σκέδασης φωτός, κυρίως επειδή έχει απλούστερους υπολογισμούς και δεν απαιτείται η εισαγωγή των οπτικών ιδιοτήτων του δείγματος. Βασίζεται σε παρόμοιες παραδοχές με τη θεωρία Mie, αλλά επιπλέον υποθέτει ότι:

- Τα σωματίδια είναι αδιαφανείς δίσκοι.
- Το φως σκεδάζεται σε χαμηλές γωνίες.
- Τα σωματίδια σκεδάζουν το φως με την ίδια αποτελεσματικότητα.
- Η διαφορά του δείκτη διάθλασης μεταξύ του σωματιδίου και του μέσου που το περιβάλλει είναι τεράστια. (Πυλιώτης, 2011)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το αναλυτικό όργανο Mastersizer 2000 της εταιρίας Malvern, το οποίο εκμεταλλεύεται την αρχή της μέτρησης διάθλασης ακτίνας laser και το πρότυπο διασποράς Mie (Mie scattering model), αφού σύμφωνα με τους de Boer et al. (1987) και Pieri et al. (2006), η θεωρία αυτή παρέχει καλύτερη εκτίμηση του κοκκομετρικού μεγέθους ενός αργιλικού κλάσματος.

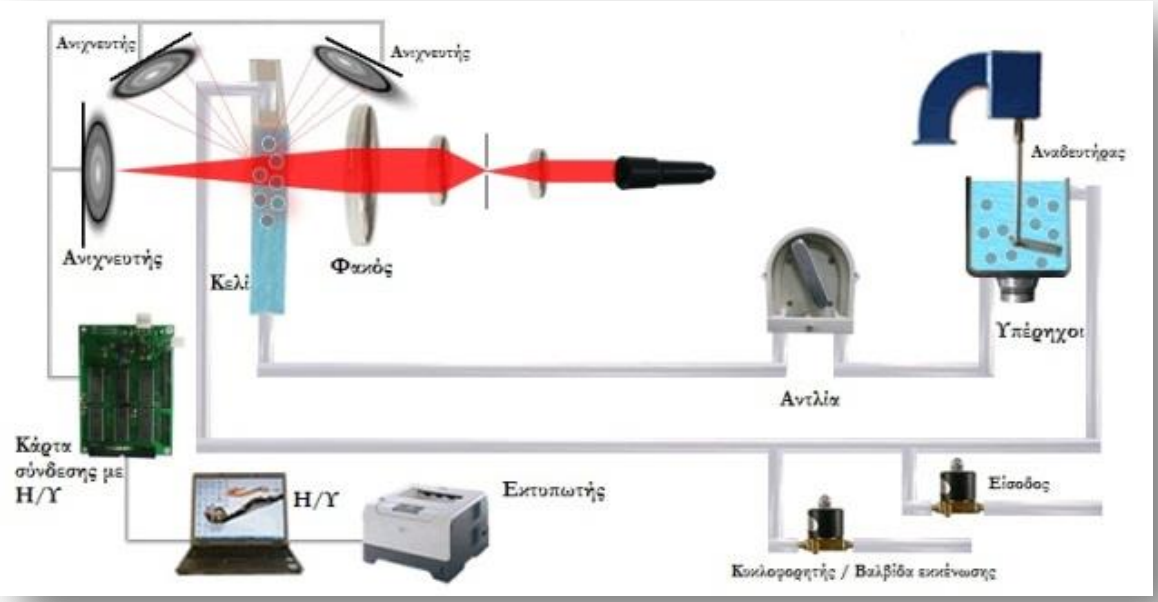
3.3.6.1. Περιγραφή του αναλυτή Mastersizer 2000.

Ο αναλυτής Malvern Mastersizer 2000 είναι σχεδιασμένος για τη μέτρηση τεμαχιδίων των οποίων η κοκκομετρία κυμαίνεται μεταξύ 0.02 - 2000 microns (αναλόγως τη φύση του προς εξέταση υλικού).

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ευρεία γκάμα υλικών, όπως ιζήματα, αλλά και υλικά όπως κρύσταλλοι ζάχαρης, γυάλινες σφαίρες ή κονιάματα. Οι μετρήσεις λαμβάνονται ενώ τα υλικά βρίσκονται εν αιωρήσει και μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι παράγοντες (agents) αιώρησης/διασποράς, από απιονισμένο νερό έως διαλύματα εξαμεταφωσφορικού νατρίου, αλκοόλη κ.α.

Το λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, επιτρέπει την ταυτοποίηση χαρακτηριστικών του δείγματος προς εξέταση καθώς και του διασκορπιστή (dispersant), περιγράφοντας την ανακλαστική τους συμπεριφορά.

Επιπροσθέτως του Mastersizer 2000, το σύστημα του συγκροτήματος G&G είναι επίσης εφοδιασμένο με μια μονάδα αυτόματης διασποράς δειγμάτων (automated sample dispersion unit), μεγάλης χωρητικότητας και γενικής χρήσης με την εμπορική ονομασία Hydro 2000G καθώς και με μια συσκευή αυτόματης δειγματοληψίας. Αυτή περιέχει έναν αναγνώστη γραμμωτού κώδικα (bar code) ώστε να ταυτοποιηθούν τα στοιχεία του κάθε δείγματος και στη συνέχεια να ακολουθηθεί αυτόματα το κατάλληλο πρωτόκολλο μέτρησης.

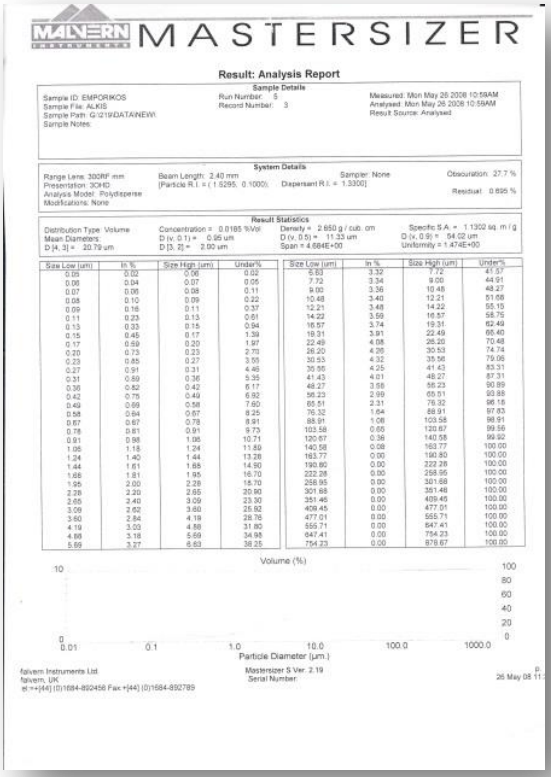


Σχέδιο 3.6 : Σχηματική απεικόνιση οργάνων που απαρτίζουν τον κοκκομετρικό αναλυτή.

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο χρήστη να αναθέσει μέχρι και 36 δείγματα στον αναλυτή σε μια σειρά αναλύσεων, τα οποία στη συνέχεια αναδεύονται αυτόνομα, διασκορπίζονται στο θάλαμο ανάλυσης και μετρώνται από τη διάταξη Malvern.

Ακολουθώντας ένα καλά οργανωμένο πρόγραμμα εργασιών στο εργαστήριο, είναι δυνατόν να αναλυθούν μέχρι και 72 δείγματα ανά ημέρα (24h) (Πηγή: http://www.noc.soton.ac.uk).

Εικόνα 3.21 : Τυπική διάταξη Malvern instrument, περιλαμβανομένου του Mastersizer 2000, του Hydro 2000G, της συσκευής αυτόματης δειγματοληψίας και της διεπαφής Η/Υ. (http://www.tcd.ie/Geography/facilities/labs.php)



MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: EMPORIKOS
Sample File: ALKIS
Sample Path: G:\219\DATA\NEW\
Sample Notes:

Run Number: 5
Record Number: 3

Measured: Mon May 26 2008 10:59AM
Analysed: Mon May 26 2008 10:59AM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: None

Obscuration: 27.7 %
Residual: 0.695 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 20.79 um

Concentration = 0.0185 %Vol
D (v, 0.1) = 0.95 um
D [3, 2] = 2.90 um

Density = 2.650 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 11.33 um
Span = 4.684E+00

Specific S.A. = 1.1302 sq. m / g
D (v, 0.9) = 54.02 um
Uniformity = 1.474E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	5.83	3.32	7.72	41.37
0.06	0.04	0.07	0.05	7.72	3.34	9.00	44.91
0.07	0.06	0.08	0.11	9.00	3.36	10.48	48.27
0.08	0.10	0.09	0.22	10.48	3.40	12.21	51.68
0.09	0.16	0.11	0.37	12.21	3.48	14.22	55.15
0.11	0.23	0.13	0.61	14.22	3.59	16.57	58.75
0.13	0.33	0.15	0.94	16.57	3.74	19.31	62.49
0.15	0.45	0.17	1.39	19.31	3.91	22.49	66.40
0.17	0.59	0.20	1.97	22.49	4.08	26.20	70.48
0.20	0.73	0.23	2.70	26.20	4.26	30.53	74.74
0.23	0.85	0.27	3.55	30.53	4.32	35.56	79.06
0.27	0.91	0.31	4.46	35.56	4.25	41.43	83.31
0.31	0.89	0.36	5.35	41.43	4.01	48.27	87.31
0.36	0.82	0.42	6.17	48.27	3.58	56.23	90.89
0.42	0.75	0.49	6.92	56.23	2.99	65.51	93.88
0.49	0.69	0.58	7.60	65.51	2.31	76.32	96.18
0.58	0.64	0.67	8.25	76.32	1.64	88.91	97.83
0.67	0.67	0.78	8.91	88.91	1.08	103.58	98.91
0.78	0.81	0.91	9.73	103.58	0.65	120.67	99.56
0.91	0.98	1.06	10.71	120.67	0.36	140.58	99.92
1.06	1.18	1.24	11.89	140.58	0.08	163.77	100.00
1.24	1.40	1.44	13.28	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.61	1.68	14.90	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.81	1.95	16.70	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.00	2.28	18.70	258.95	0.00	301.88	100.00
2.28	2.20	2.65	20.90	301.88	0.00	351.46	100.00
2.65	2.40	3.09	23.30	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.62	3.60	25.92	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.84	4.19	28.76	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.03	4.88	31.80	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.18	5.69	34.98	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.27	6.63	38.25	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
tel:++(44) (0)1684-892456 Fax:+(44) (0)1684-892789

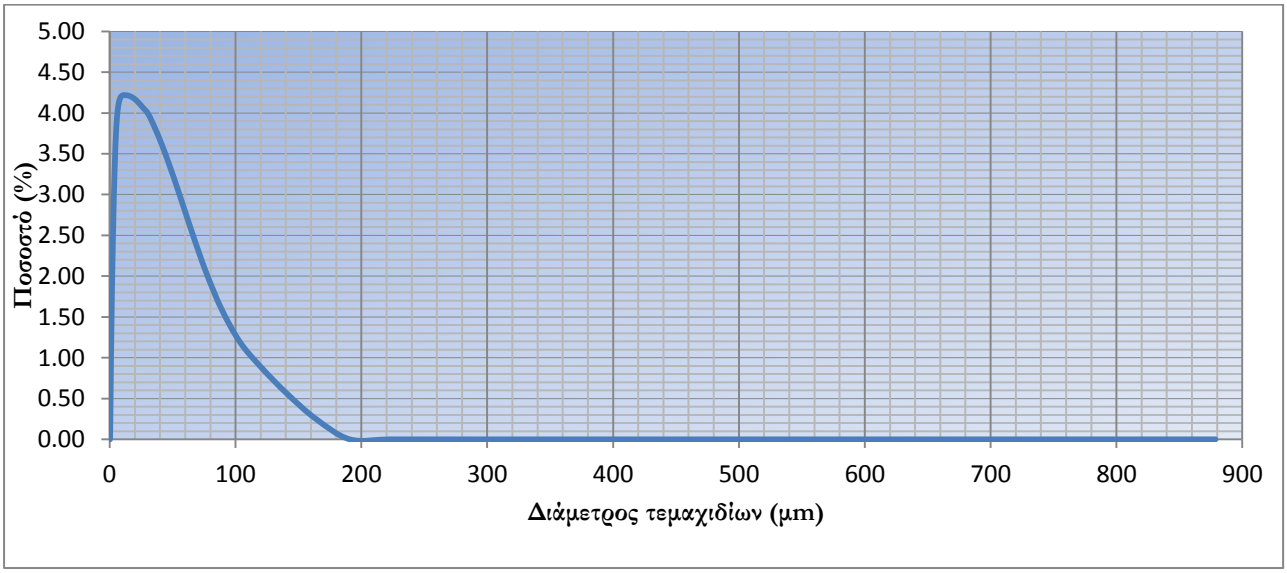
Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number:

26 May 08 11:

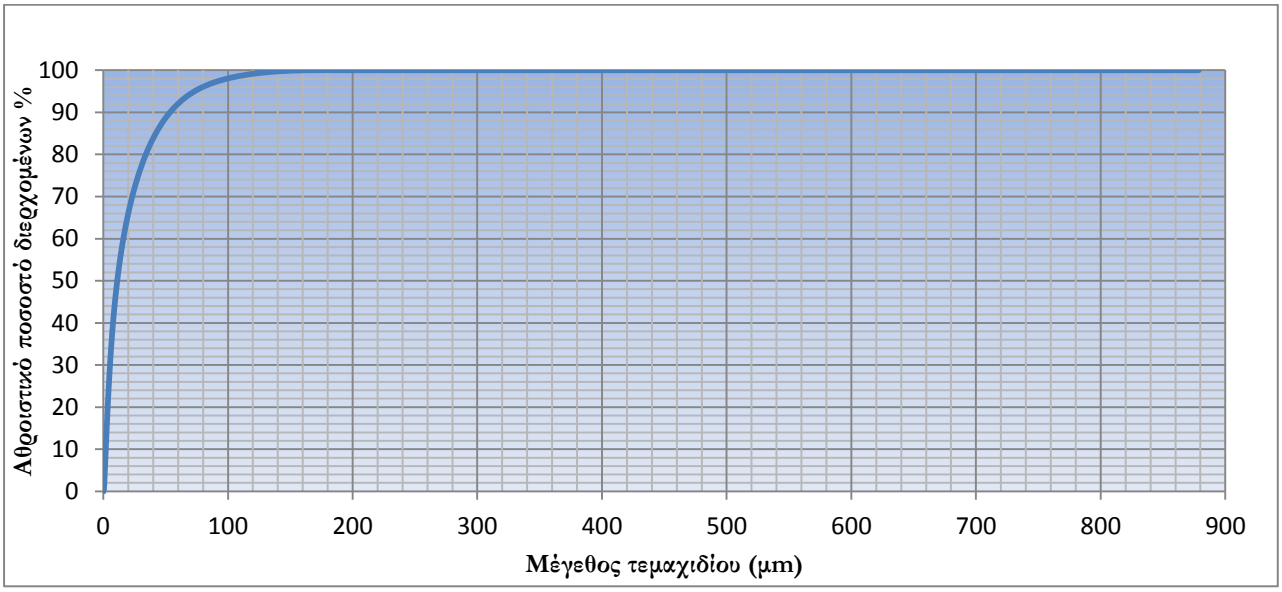
Εικόνα 3.22 : Χαρακτηριστικός πίνακας εξαγωγής αποτελεσμάτων από τη διάταξη Mastersizer. Περιλαμβάνει τις χαρακτηριστικές καμπύλες κοκκομετρίας και τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν.

3.3.6.2. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης.

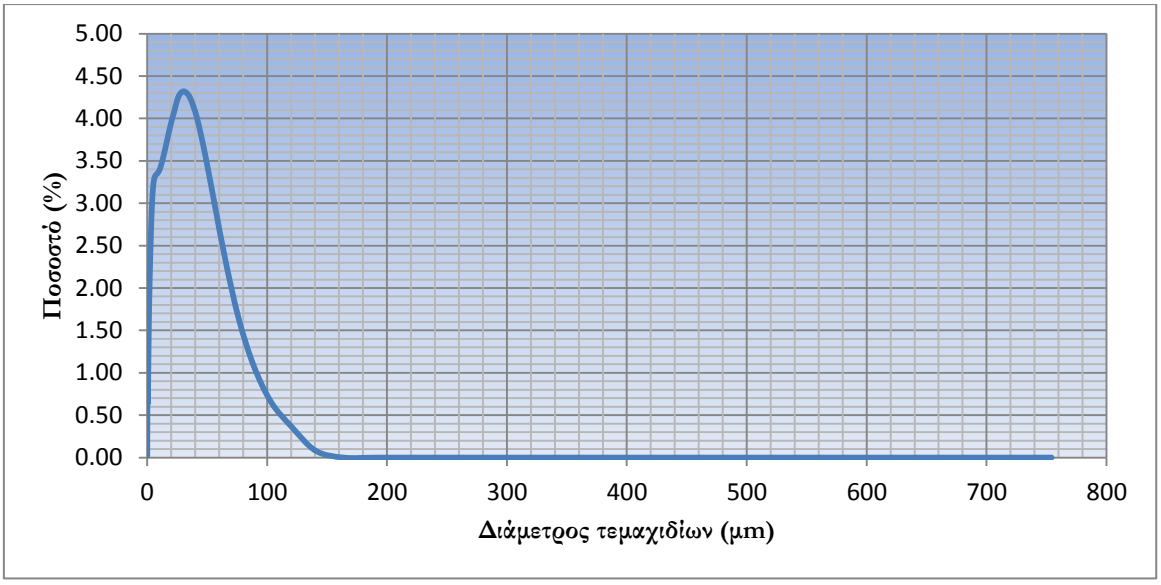
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων «Αλτσί» και «Rigips Modellgips», συνοψίζονται στα παρακάτω διαγράμματα **κοκκομετρικής ανάλυσης** και **κοκκομετρικής κατανομής**:



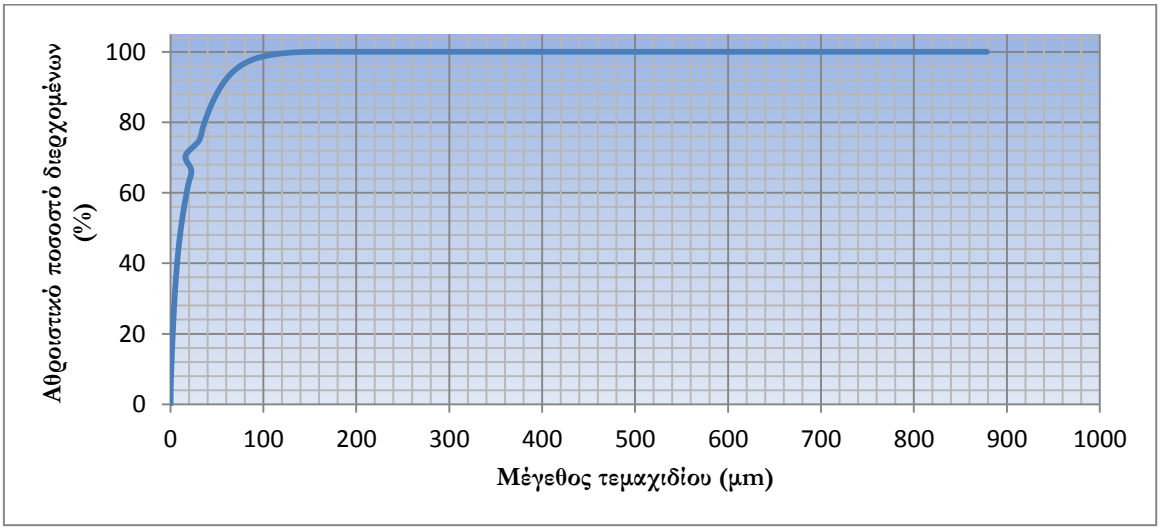
Διάγραμμα 3.17 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος **Αλτσί.**



Διάγραμμα 3.18 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος **Αλτσί.** (Αθροιστικά διερχόμενα)



Διάγραμμα 3.19 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος **Rigips Modellgips**.



Διάγραμμα 3.20 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος **Rigips Modellgips**. (Αθροιστικά διερχόμενα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός της γύψου από το λατομείο Αλτσί και η αξιολόγηση του για παραγωγή γύψου καλλιτεχνίας.

Για την ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων, συγκρίνονται επίσης τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που έγιναν, με αντίστοιχα εμπορικής γύψου καλλιτεχνίας.

Με βαση τα συγκριτικά αποτελέσματα του δείγματος από το Αλτσί και εκείνου της εμπορικής γύψου (Rigips), προκύπτουν τα παρακάτω:

- Σχετικά με τη **Χημική σύσταση**:

  - Όπως περιγράφεται και στα αποτελέσματα της Θερμοβαρυτομετρικής μεθόδου (βλ. 3.1.1.1, σελ. 24), οι καμπύλες των δοκιμών στα δύο δείγματα είναι παρεμφερείς, τόσο στην περιοχή των 50°C όπου εξατμίζεται η φυσική υγρασία που έχουν απορροφήσει τα δείγματα, όσο και στις περιοχές των 130°C και 700 ^{o}C, όπου συντελούνται η μετάβαση από τη γύψο σε ανυδρίτη (με ενδιάμεσο βήμα τη δημιουργία βασανίτη) και η διάσπαση του δολομίτη αντίστοιχα.
    Η ομοιότητα των δύο δειγμάτων σε χημικά χαρακτηριστικά επαληθεύεται και από την καμπύλη που υποδεικνύει τις θερμοκρασίες στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι ενδόθερμες και εξώθερμες αντιδράσεις.
  - Στα δείγματα Rigips εμφανίζονται αρκετά μεγαλύτερα ποσοστά απώλειας βάρους κατά τη διαδικασία της ξήρανσης, η οποία μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί και σε φυσική υγρασία που είχε απορροφήσει το δείγμα στο χώρο που φυλασσόταν.
    Ακόμα, παρατηρούνται ίδιες περίπου απώλειες κρυσταλλικού H_2O, της τάξης 8-8.5% , αλλά και κατά την καύση των οργανικών ενώσεων στους 1050 ^{o}C.

- Τέλος, κατά την ανάλυση XRF, παρατηρούνται σημαντικά μεγαλύτερες τιμές SiO_2 και K_2O στο δείγμα της εμπορικής γύψου, ενώ αντιθέτως προκύπτουν παρεμφερή ποσοστά CaO, SO_3, MgO, Al_2O_3 και Fe_2O_3.

➢ Σχετικά με την **Ορυκτολογική σύσταση**:

- Στην απευθείας σύγκριση του μίγματος δειγμάτων Αλτσί με την εμπορική γύψο, είναι εμφανές πως υπάρχει **σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό καθαρής γύψου** στο πρώτο (16% περιεκτικότητα έναντι μόλις 1% στην εμπορική), με δύο μάλιστα δείγματα να αποτελούνται από **καθαρή γύψο στο σύνολό τους** (δείγματα **A** και $\mathbf{B_2}$), ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα δείγματα ($\mathbf{B_1}$, $\mathbf{\Gamma_1}$, $\mathbf{\Gamma_2}$, **Δ**) να αποτελούνται κατά 96% περίπου από **ανυδρίτη**.

➢ Σχετικά με τη **Μέτρηση Χρώματος:**

- Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου Μέτρησης Χρώματος παρατηρείται πως οι τιμές ανάκλασης για το δείγμα Αλτσί (Δείκτες a, b, L, ΔE*ab) είναι υψηλότερες των αντιστοίχων του δείγματος της Εμπορικής γύψου Rigips, το οποίο πρακτικά υποδεικνύει πως η γύψος από το Αλτσί δείχνει λευκότερη.
  Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική, ειδικά σε εφαρμογές διακοσμητικού τύπου, όπως ακριβώς μελετάται και στην εργασία αυτή.

➢ Σχετικά με τις **Μηχανικές ιδιότητες**:

- Ο χρόνος πήξεως στο Αλτσί είναι ακριβώς ο μισός σχετικά με τη γύψο Rigips, αφού στα 14 λεπτά δεν παρατηρείται καμία απολύτως εισχώρηση της βελόνης στο κονίαμα (αντίστοιχα στο δείγμα Rigips αυτό παρατηρείται στα 30 λεπτά από το χρόνο που αναμίχθηκε το νερό με τη γύψο). Εννοείται πως τα πειράματα διεξήχθησαν με τον ίδιο ακριβώς εξοπλισμό, κάτω απο τις ίδιες ακριβώς συνθήκες θερμοκρασίας.
  Η διαφορά αυτή αποδίδεται στην προσθήκη επιβραδυντικών συστατικών από την ίδια την εταιρεία Rigips, ώστε να καταστήσει το προϊόν εύπλαστο προς τον τεχνίτη,

για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (15-20 λεπτά, όπως προκύπτει από τις επίσημες προδιαγραφές, με τελικό χρόνο πήξεως ≤45 min).

- Η γύψος του Αλτσί εμφανίζει **υπερδιπλάσια διόγκωση** κατά την πήξη της. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει επιμήκυνση 3,4% περαιτέρω του αρχικού μήκους, με τη γύψο Rigips να επιμηκύνεται μόνο κατά 1,6%, γεγονός που αποδίδεται στην πολύ μεγάλη περιεκτικότητα του δείγματος Αλτσί σε **καθαρή γύψο** και την έλλειψη πρόσμικτων συστατικών (όπως επιβραδυντές), οι οποίες θα περιόριζαν τη διαφορά αυτή.
- Η αντοχή και των δυο δειγμάτων στη μονοαξονική θλίψη βγαίνει κατά μέσο όρο η ίδια περίπου (6,91 MPa μέγιστη αντοχή το δείγμα Αλτσί έναντι 6,93 MPa της Rigips). Ωστόσο, η αφαίρεση μιας τιμής μέγιστης πίεσης από το μέσο όρο μέγιστης αντοχής στο δείγμα του Αλτσί, λόγω υπερβολικής απόκλισης, διορθώνει το μέσο όρο μέγιστης πίεσης του δείγματος στα 7,12 MPa.
- Όσον αφορά στην κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων, το 100% του δείγματος Αλτσί είχε κοκκομετρία μικρότερη των 120 μm, ενώ το δείγμα εμπορικής γύψου ήταν στο σύνολό του μικρότερο των 100μm.

Ωστόσο, κάποιες ιδιότητες έχουν μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας σε σχέση με κάποιες άλλες, κατά τη χρήση των δειγμάτων ως γύψου καλλιτεχνίας.

Έτσι, αποκτούν ιδιαίτερη σημασία οι υψηλές μηχανικές αντοχές του δείγματος Αλτσί, μιας και προβλέπεται να είναι πιο ανθεκτικό, όπως επίσης και τα πολύ υψηλά ποσοστά ανάκλασης του φωτός, τα οποία θα έκαναν τη συγκεκριμένη γύψο να δείχνει πιο λευκή σε μια εφαρμογή όπως π.χ. τα γύψινα διακοσμητικά.

Στον αντίποδα, ο πολύ μικρός χρόνος πήξεως του δείγματος Αλτσί, ενδεχομένως να δημιουργούσε προβλήματα ευπλασίας σε κάποιον τεχνίτη, στον οποίο δε θα δινόταν ο κατάλληλος χρόνος να διαμορφώσει το σχήμα που ήθελε αποδώσει στη γύψο. Ωστόσο, η προσθήκη επιβραδυντή θα έλυνε το πρόβλημα του μικρού χρόνου πήξης.

Άλλο ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα σε σχέση με τη γύψο Rigips είναι το μεγάλο ποσοστό επιμήκυνσης κατά την πήξη, γεγονός που θα οδηγούσε σε ρωγμές και ασυνέχειες στο σώμα του γύψινου προϊόντος.

4.2. Προτάσεις.

Η γενικότερη εικόνα και μελέτη τόσο του κοιτάσματος Αλτσί Ανατολικής Κρήτης, όσο και των δειγμάτων γύψου που εξορύχθηκαν από αυτό, καθιστούν **προφανές** το γεγονός πως το κοίτασμα είναι όχι μόνο εμπορικά εκμεταλλεύσιμο (όπως άλλωστε και γίνεται), αλλά μπορεί και να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενός προϊόντος με υψηλότερη προστιθέμενη αξία.

Ενδεχόμενα προβλήματα κατά τη διαχείρηση του κονιάματος είναι πλεόν πολύ εύκολο να λυθούν, με ειδικά υλικά πρόσμιξης (fillers), όπως τα Ceresit CT 26 και CT126, εσωτερικής χρήσης, τα οποία μπορούν και να αλλάξουν τις ιδιότητες του κονιάματος προς χρήση (κυρίως τον πολύ μικρό χρόνο πήξεως), κατά το δοκούν.

Με βάση τα σημερινά αποθέματα του κοιτάσματος, την καθαρότητα προϊόντος αλλά και το χαμηλό κόστος εκμετάλλευσης, μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πηγή εσόδων για την εταιρεία εκμετάλλευσης αλλά και για την οικονομία της τοπικής κοινωνίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνικές:

1. Αγιουτάντης Ζ., *Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2002.

2. Αλεβίζος, Γ., Γαλετάκης, Μ., *Ορυκτολογική εξέταση της εμφάνισης ανυδρίτη-γύψου της περιοχής Βάθης της Δυτικής Κρήτης - μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών και ιδιομορφίες εξόρυξης*, Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά, Vol. 1/2005, Χανιά.

3. Βαρδαβά, Α., *Ανάλυση Φασμάτων Φθορισμού Ακτίνων-Χ (XRF) Περιβαλλοντικών δειγμάτων με το πρόγραμμα WinQXAS*, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 2008.

4. Βάχλας, Γ., *Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του κοιτάσματος γύψου και ανυδρίτη στη θέση Αλτσί της επαρχείας Σητείας στην Ανατολική Κρήτη*, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, 2007.

5. Κανάρης, Ι. Τρ., *Τα κοιτάσματα γύψου της Ν.Κρήτης*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, 1989.

6. Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., *Γεωλογία Πετρελαίων*, Αθήνα, 2000.

7. Παπασταματίου, *Περί του κοιτάσματος γύψου Αλτσί – Αν.Κρήτης*, Ι.Γ.Ε.Υ, Αθήνα, 1958.

8. Ρεπούσκου, Ε., *Αξιολόγηση ανθρακικών πετρωμάτων Κρήτης για εφαρμογή ως πληρωτικά υλικά στη βιομηχανία*, Διδακτορική διατριβή, 2001.

9. Ταυρής, Κ., *Τρισδιάστατη κατανομή ανυδρίτη και γύψου στο γυψορυχείο στην περιοχή Αλτσί της Ανατολικής Κρήτης*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, 2008.

10. Χριστοδουλίδης, Κ., *Σημειώσεις Μαθημάτων, Συνοπτικές Σημειώσεις Οπτικής στο Μάθημα Φυσική ΙΙ, Σχολής Χημικών Μηχανικών*, Αθήνα, 2012.

Ξενόγλωσσες:

1. Arikan, M., Soboler, K., *The Optimization of a Gypsum-based composite material*, Cement and Concrete Research, Pergamon, 2002.

2. ASTM, *Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete*, Designation: C472-99, Vol. 04.01, American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428, 1999.

3. Beuselinck, L., *Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with sieve-pipette method*, Catena Vol. 32, Number 3, 1998.

4. Birkholz, M., *Thin film analysis by X-Ray scattering*, Wiley-VCH G.m.b.H., Weinheim, 2006.

5. Boer, P.L. de, *Aspects of middle Cretaceous pelagic sedimentation in Southern Europe*, Geologica Ultrajectina, 31, 1-112, 1983.

6. British Standards Institution, British standard 3900, Parts D8, D9, D10. Determination of colour difference: principles, measurement and calculation, 1986.

7. Dantas, H.F., Mendes, R.A.S., Pinho, R.D., Soledade, L.E.B., Paskocimas, C.A., Lira, B.B., Schwartz, M.O.E., Souza, A.G., Iêda, M.G., *Characterization of gypsum using TMDSC*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 87 (2007) 3, 691-695, Akadémiai Kiadó, 2007.

8. Einsele, G., *Sedimentary Basins: Evolution, Facies and Sediment Budget*, Second edition, Springer Publications, Tuebingen, Deutschland, 2000.

9. Eshel, B., McNeal, B.L., Carter, D.L., *Saline and Sodic Soils: Principles, Dynamics, Modeling*, 1982.

10. Groves, A.W., *Gypsum and Anhydrite*, Overseas Geological Surneys, Mineral Resources Division, Her Majesty's Stationery Office, London, 1958.

11. Hayverova, R., Kasabova, N., *Gypsum composition for preparing moulds and models based on local raw materials*, Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 42, 4, 2007, 381-386, Sofia, 2007.

12. Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley & Sons, 1992.

13. Kostakis, G., Häußler, K., Schlegel, E., *Gips aus der Lagerstätte Stomio auf Kreta/Griechenland*, ZKG International, Material Science No.3-2004, Vol. 57, 2004.

14. Loizeau, J.L., Arbouille, D., Santiago, S., Vernet, J.P., *Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyser for use with sediments*, Sedimentology, 41, 353-361, 1994.

15. Papastamatiou, Reichel, *Sur l'âge des Phyllades de l'île de Crète*, Eclogae geol. Helv., 49: 147-149, Universität Basel, 1956.

16. Pieri, D.C., Dziewonski, A., *The Earth as a Planet: Surface and Interior*, Encyclopedia of the Solar System, Second edition, Weissman, McFadden and Johnson, eds. Academic Press, San Diego, CA, United States of America.

17. Pourmorad, S., Dr. Mosavi harami,R., Batvandi, A., *New procedure for evaluation of cap rock across the oil fields in sedimentary basin in SW Iran*, Festival and Conference of Islamic Azad University, Isfahan Branch, 2010.

18. Stewart, F.H., Fleischer, M., *Marine Evaporites*, Data of Geochemistry, Sixth edition, Chapter Y., Washington D.C., United States of America, 1963.

19. *Ullman's Encyclopedia of Chemical Industry*, Vol. A.4., VCH m.b.H., 1985.

Διαδίκτυο:

1. **Perkin-Elmer Aanalyst 100:** www.gcmsservice.com/images2/10356-450.jpg

2. **Φασματικές κατανομές των 3 βασικών χρωμάτων (Billmeyer & Saltzman):** http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/conesens5.gif

3. **Σύστημα CIE L*A*B* :** http://www.sapdesignguild.org/resources/glossary_color/images/ciela2.gif

4. **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM/EDS) :** http://www.chemeng.ntua.gr/files/SEM.doc , http://www.aua.gr/fasseas/electron%20microscopes.htm

5. **Φασματοσκοπία ακτίνων Χ:** http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/2797/3/vardavaa_winqxas

6. **Plaster Extensometer:** http://www.matest.it/products/cement-mortar/e080-plaster-extensometer.aspx

7. **Διάταξη Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων για μέτρηση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη:** http://www.mred.tuc.gr/p0132061.htm

8. **Mastersizer 2000:** http://www.tcd.ie/Geography/facilities/labs.php

9. **XRD Bruker D8 ADVANCE:** http://www.chem.memphis.edu/facilities/bruker-X-ray.htm

10. **Λεπτές τομές:** http://www.buehler.ca/vol1_issue3petrologysumitnotes.pdf

11. **Gypsum Cap Rocks (Oil Traps) :** http://conference.khuisf.ac.ir/DorsaPax/userfiles/file/pazhohesh/zamin%20mashad/260.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Προδιαγραφές εμπορικής γύψου Rigips Modellgips.

Product-Datasheet

Rigips MODELLGIPS

Product Description

MODELLGIPS is a multiphase gypsum ($CaSO_4 \cdot n\ H_2O$; n = 0, ½, 2), produced from naturally occurring gypsum mineral.

Colour: whitely

Application

MODELLGIPS is used for manufacturing of ceramic powders, moulding and models of architecture, reliefs, decoration and also to pour plaster figures, modelling, applications and manufacture of crayons.

Site Conditions

Air-, material and background temperature have to be above +5°C. The background has to be solid, clean, dust free and dry.

Preparation

Remove loose parts, dirt, dust etc. The repairing area should be pre-wetted.

Handling

MODELLGIPS can be handled for about 15 minutes and hardens within 20 minutes. Mix approx. 1,5 kg MODELLGIPS into 1 litre water. Use only absolutely clean vessels and tools. Gypsum residues can change the setting time. Always sprinkle the MODELLGIPS into the mixing water, never contrariwise.

Allow MODELLGIPS to soak in for about 1 minute and then mix it.

Anchors can be used at the earliest after 24 hours.

Technical Data

The stated technical data are typical figures.

Usage powder:
130 – 160 g/100 ml water
Initial set: ≥ 8 min
Final set: ≤ 45 min
pH-value: 7
Sieve residue: R 200 µm: max. 0,5%
Flexural strength: ≥ 5 N/mm²
Compressive strength: ≥ 15 N/mm²

Changes of the ratio powder to water will affect the product performance, especially the setting time and strength.

Gypsum products are not resistant for use under constant moisture conditions, therefore it is not recommended for using in outdoors and by excessive moisture.

Absorption of moisture can result in changes to physical properties including a shortening of setting time.

EN-Classification

CE EN 13279-1: A /A1

Product Data

Mixing ratio	app. 1,5 kg / 1 L water
Working-time	app. 15 – 20 min.
Fire resistance	A1
Package-size	2,5 kg / 5 kg / 25 kg

Storage
Shelf life: Ensure stock rotation and use within 12 months of the marked date. Use unsealed bags within 3 months. Protect from freezing - store between +2°C and +30°C.

For further information please contact:
Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH
Wiener Neustädter Straße 63
A-2734 Puchberg / Schneeberg
Tel. +43 (0) 2636 / 2203-0
Fax +43 (0) 2636 / 2206-625
www.rigips.com

The information in this publication is based on our current technical knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our products, these data do not relieve the users of our products from the responsibility of carrying out their own inspections and tests, as they only represent general guidelines. They neither do imply any legally binding assurance of certain properties or of suitability for a particular application. It is the responsibility of those to whom we supply our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and regulations are observed. We reserve the right to modifications in the interests of technical advancement without prior notice.

SAINT-GOBAIN Saint-Gobain Rigips Austria GmbH • Wiener Neustädter Straße 63 • 2734 Puchberg
Telefon 02636/2203-0 • www.rigips.com • Stand 10.01.2012

Rigips SAINT-GOBAIN

Προδιαγραφές τελικού προϊόντος ΛΑΒΑ Μεταλλευτική & Λατομική Α.Ε.

ΛΑΒΑ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ & ΛΑΤΟΜΙΚΗ Α.Ε

Γύψος

Το **ορυχείο γύψου** βρίσκεται στο **Αλτσί της Κρήτης** και είναι **υπαίθριο**. Η εξόρυξη γίνεται με εκρηκτικά και το εξορυγμένο υλικό μεταφέρεται στην εγκατάσταση θραύσης.
Η παραγωγική ικανότητα του **ορυχείου** είναι 300.000 MT/έτος (μία βάρδια). Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων φόρτωσης είναι για πλοία έως 10.000 τόνους και ο ρυθμός φόρτωσης είναι 600 MT/ώρα.

ΓΥΨΟΣ

Το τελικό προϊόν του **ορυχείου Αλτσί** αποτελείται από άνυδρο και ένυδρο γύψο. Προορίζεται για αποκλειστική χρήση από την τσιμεντοβιομηχανία.

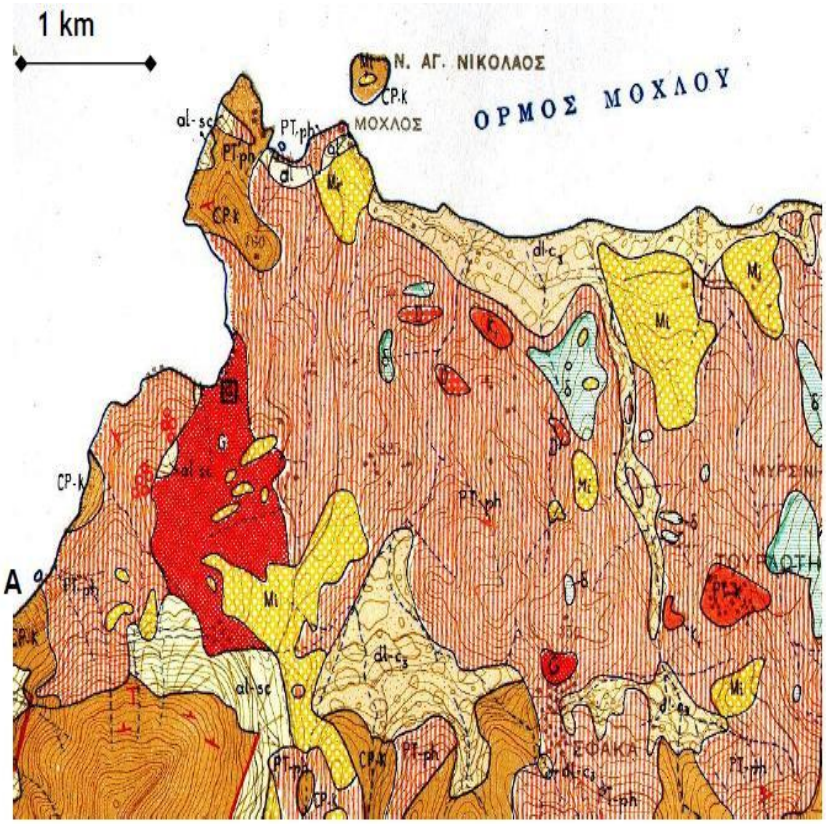
Οι προδιαγραφές του παραγομένου προϊόντος είναι:

PURITY (in the form of CaSO4.2H2O+CaSO4)	Min. 88%
SULFURIC ANHYDRITE (SO3)	Min. 42%
GYPSUM (CaSO4.2H2O)	Min. 10%
CARBONATES as CaCO3	Max. 12%
MATERIAL SIZE	85-90% pass 50MM 95-100% pass 80MM
Υγρασία %	< 3%

Σοφοκλή Βενιζέλου 49-51, 141 23 Λυκόβρυση Αττικής. Τηλ.: 210 2898462, 210 2898372, Fax: 210 2817778,
Web: www.lava.gr - E-mail: lava@aget.gr

P

Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε.



al — Σύγχρονοι προσχώσεις. Recent alluvial deposits.

Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Colluvial deposits. Talus and slope fan debris.

Ποταμία άναβαθμίς 20—25 μ. Χειμαρρώδεις αποθέσεις κυρίως εκ μεγάλων ή πολύ μεγάλων κροκαλών, ημιθρύπτων ή τεμαχών άμμων και άλλων εν μεταφορά εξικνούμενων υλικών (c_5). Fluviatil terrace. Elevation 20—25 m. Torrential deposits of boulders, gravels and pebbles, red or gray sands and other transported materials (c_5) of various composition.

Mi — Μή διαχωριζόμενοι θαλάσσιοι σχηματισμοί εκ μαρνών, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών κ.ά. Marine formations undivided. Marl, sandstone, conglomerate etc.

Λατομείον γύψου. Quarry of gypsum.

Φυλλίται κυρίως σερικιτικοί, σκοτεινότεφροι, ύποπράσινοι ή βυσσινόχροοι εἰς διάφορα στάδια μεταμορφώσεως επιζώνης. Περιέχουν ενστρώσεις ψαμμιτών, χαλαζιτών (q), κροκαλοπαγών, σκοτεινοχρώων πλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων (k_1) και δολομιτών (D). Κατά περιοχάς εγκλείουν σημαντικά σώματα εκχυτιγενών πετρωμάτων. Εντός των κατωτέρων ορίζόντων του συστήματος τούτου και παρά τό χωρίον Σφάκα (Σητείας) ανευρέθη τό άσβεστοφύκος *Mitia velebitana* Schubert, χαρακτηριζόν τό πέρμιον της Ανατολικής Μεσογείου. Εντός των ανωτέρων ορίζόντων, εξ άλλου, του συστήματος τούτου, ανευρέθησαν τά λιθ. Κρήτην απολιθώματα χαρακτηριστικά του ανωτέρου τριάδικού.
Phyllites, mainly sericitic of a dark gray, greenish, or maroon colour, in various grade of epizone metamorphism, containing intercalations of sandstone, quartzite@conglomerate and dark coloured thin-bedded crystalline limestone (k_1) and dolomite (D). In some places noticable eruptive bodies are included. In the lower strata of phyllitic series, near the village Sfaka, the algae *Mitia velebitana* Schubert was found, a fossil characteristic for the Permian outcrops in the East Mediterranean basin. In the upper layers of the same system, in western Crete, were found characteristic fossils of the upper Triassic.

G. Κοιτάσματα γύψου ανυδρίτου εντός των κατωτέρων ορίζόντων του φυλλιτικού συστήματος. D_1 Κυψελώδεις δολομίται εξ αποπλύσεως της ημιπερεχούσης γύψου. R, Υπολείμματα εκ δυσδιαλύτων συστατικών αποκομισθείσης γύψου.
G. Gypsum-anhydrite deposits in the lower part of the phyllitic series. D_1 cellular dolomite which were disseminated in washed out parts of gypsum deposits. R, Residue of undissolved gypsum materials.

Πλακώδεις κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι συνήθως ανοικτόχροοι με λεπτάς διαστρώσεις ή βολβούς εκ πυριτολίθου λίαν λεπτοκόκκου. Υπόκεινται συμφώνως των φυλλιτών με κανονικάς μεταβάσεις.
Average bedded, usually bluish, crystalline limestone, with flaggy intercalations or nodules of very fine grained chert. They gradually fall into the overlying-in conformity-phyllite.

Πίνακες αποτελεσμάτων Mastersizer 2000.

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details

Sample ID: ALTSI
Sample File: ALKIS
Sample Path: F:\NEW\
Sample Notes:

Run Number: 2
Record Number: 5

Measured: Wed Jul 2 2008 2:32PM
Analysed: Wed Jul 2 2008 2:32PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3THD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (2.5935, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: None

Obscuration: 24.6 %
Residual: 0.846 %

Result Statistics

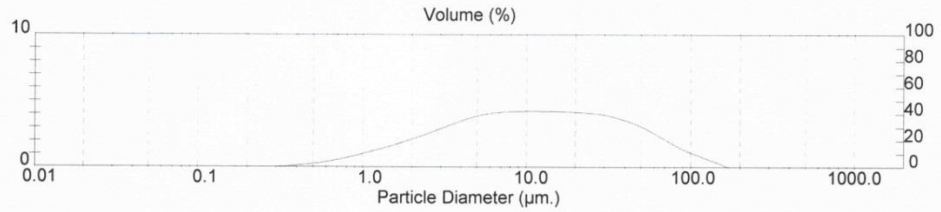
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 20.86 um

Concentration = 0.0162 %Vol
D (v, 0.1) = 1.98 um
D [3, 2] = 4.96 um

Density = 2.650 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 11.19 um
Span = 4.602E+00

Specific S.A. = 0.4561 sq. m / g
D (v, 0.9) = 53.47 um
Uniformity = 1.430E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.16	7.72	39.78
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.20	9.00	43.98
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.22	10.48	48.19
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.22	12.21	52.41
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.22	14.22	56.63
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.20	16.57	60.83
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.18	19.31	65.01
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.13	22.49	69.14
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.07	26.20	73.21
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.99	30.53	77.20
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.83	35.56	81.03
0.27	0.01	0.31	0.01	35.56	3.61	41.43	84.64
0.31	0.06	0.36	0.08	41.43	3.33	48.27	87.97
0.36	0.13	0.42	0.20	48.27	2.96	56.23	90.93
0.42	0.20	0.49	0.41	56.23	2.53	65.51	93.46
0.49	0.31	0.58	0.71	65.51	2.06	76.32	95.52
0.58	0.44	0.67	1.15	76.32	1.59	88.91	97.12
0.67	0.61	0.78	1.76	88.91	1.19	103.58	98.31
0.78	0.78	0.91	2.54	103.58	0.88	120.67	99.18
0.91	0.99	1.06	3.53	120.67	0.56	140.58	99.75
1.06	1.21	1.24	4.75	140.58	0.25	163.77	100.00
1.24	1.44	1.44	6.19	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.68	1.68	7.87	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.94	1.95	9.81	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.22	2.28	12.03	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.51	2.65	14.54	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.81	3.09	17.35	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.13	3.60	20.48	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.44	4.19	23.91	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.71	4.88	27.63	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.93	5.69	31.55	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.07	6.63	35.62	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number:

p. 1
12 Oct 12 12:13

MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: EMPORIKOS
Sample File: ALKIS
Sample Path: G:\219\DATA\NEW\
Sample Notes:

Run Number: 5
Record Number: 3

Measured: Mon May 26 2008 10:59AM
Analysed: Mon May 26 2008 10:59AM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: None

Obscuration: 27.7 %
Residual: 0.695 %

Result Statistics

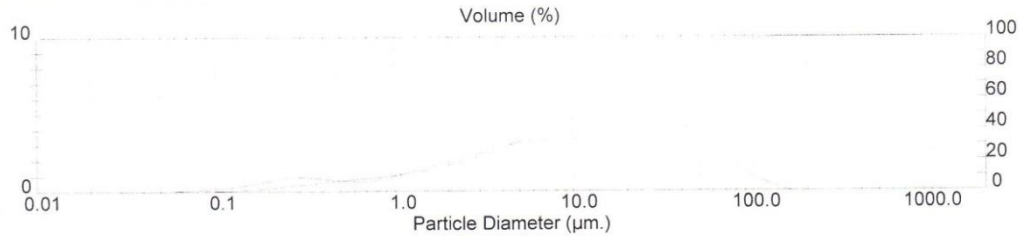
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 20.79 um

Concentration = 0.0185 %Vol
D (v, 0.1) = 0.95 um
D [3, 2] = 2.00 um

Density = 2.650 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 11.33 um
Span = 4.684E+00

Specific S.A. = 1.1302 sq. m / g
D (v, 0.9) = 54.02 um
Uniformity = 1.474E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	3.32	7.72	41.57
0.06	0.04	0.07	0.05	7.72	3.34	9.00	44.91
0.07	0.06	0.08	0.11	9.00	3.36	10.48	48.27
0.08	0.10	0.09	0.22	10.48	3.40	12.21	51.68
0.09	0.16	0.11	0.37	12.21	3.48	14.22	55.15
0.11	0.23	0.13	0.61	14.22	3.59	16.57	58.75
0.13	0.33	0.15	0.94	16.57	3.74	19.31	62.49
0.15	0.45	0.17	1.39	19.31	3.91	22.49	66.40
0.17	0.59	0.20	1.97	22.49	4.08	26.20	70.48
0.20	0.73	0.23	2.70	26.20	4.26	30.53	74.74
0.23	0.85	0.27	3.55	30.53	4.32	35.56	79.06
0.27	0.91	0.31	4.46	35.56	4.25	41.43	83.31
0.31	0.89	0.36	5.35	41.43	4.01	48.27	87.31
0.36	0.82	0.42	6.17	48.27	3.58	56.23	90.89
0.42	0.75	0.49	6.92	56.23	2.99	65.51	93.88
0.49	0.69	0.58	7.60	65.51	2.31	76.32	96.18
0.58	0.64	0.67	8.25	76.32	1.64	88.91	97.83
0.67	0.67	0.78	8.91	88.91	1.08	103.58	98.91
0.78	0.81	0.91	9.73	103.58	0.65	120.67	99.56
0.91	0.98	1.06	10.71	120.67	0.36	140.58	99.92
1.06	1.18	1.24	11.89	140.58	0.08	163.77	100.00
1.24	1.40	1.44	13.28	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.61	1.68	14.90	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	1.81	1.95	16.70	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.00	2.28	18.70	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.20	2.65	20.90	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.40	3.09	23.30	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.62	3.60	25.92	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.84	4.19	28.76	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.03	4.88	31.80	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.18	5.69	34.98	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.27	6.63	38.25	754.23	0.00	878.67	100.00

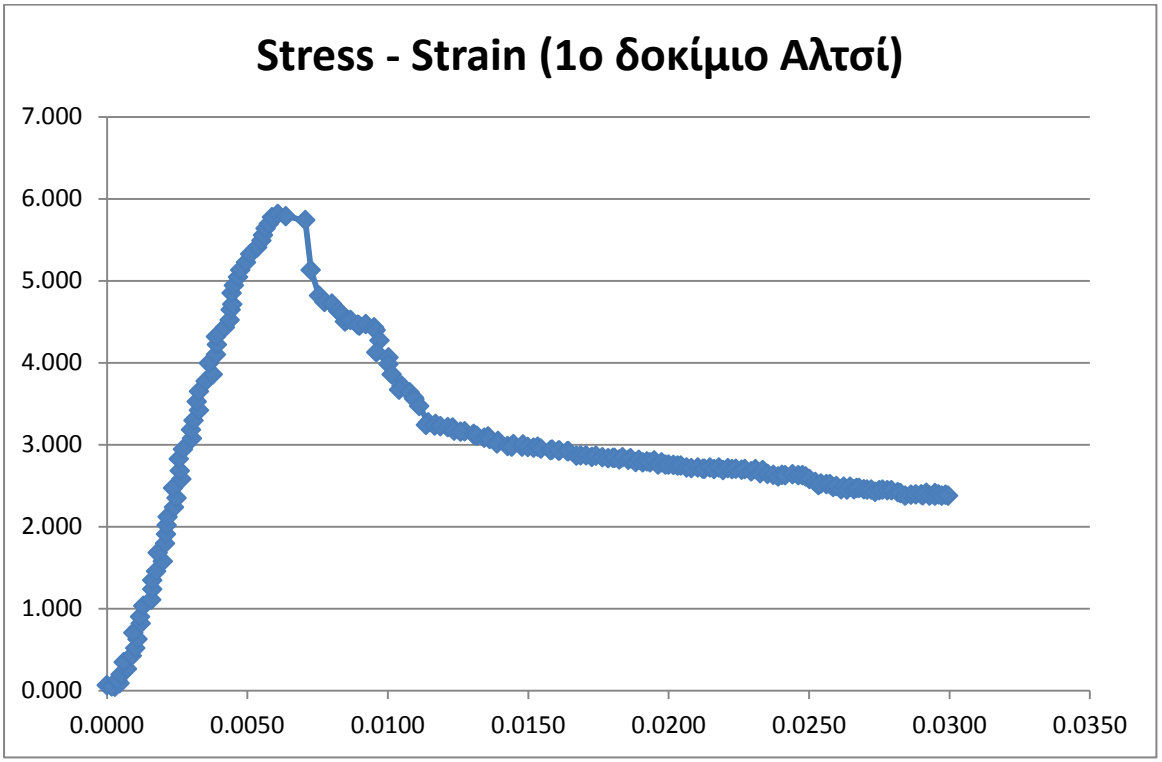


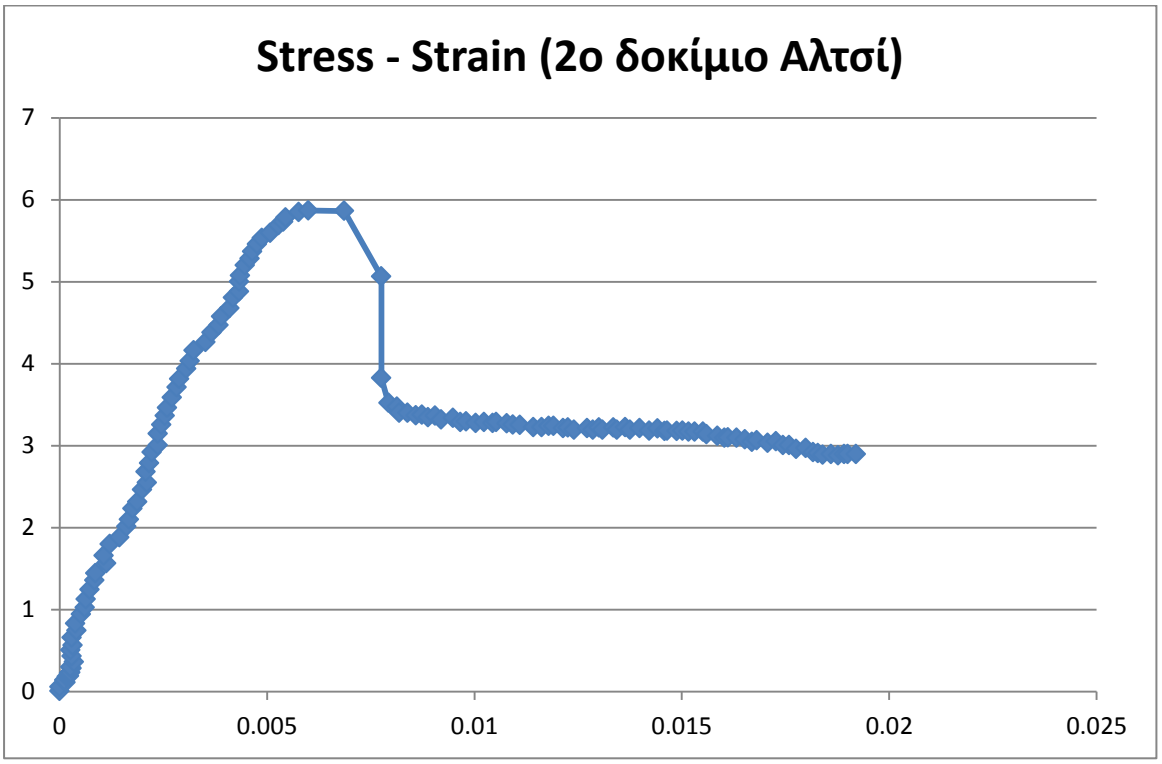
Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

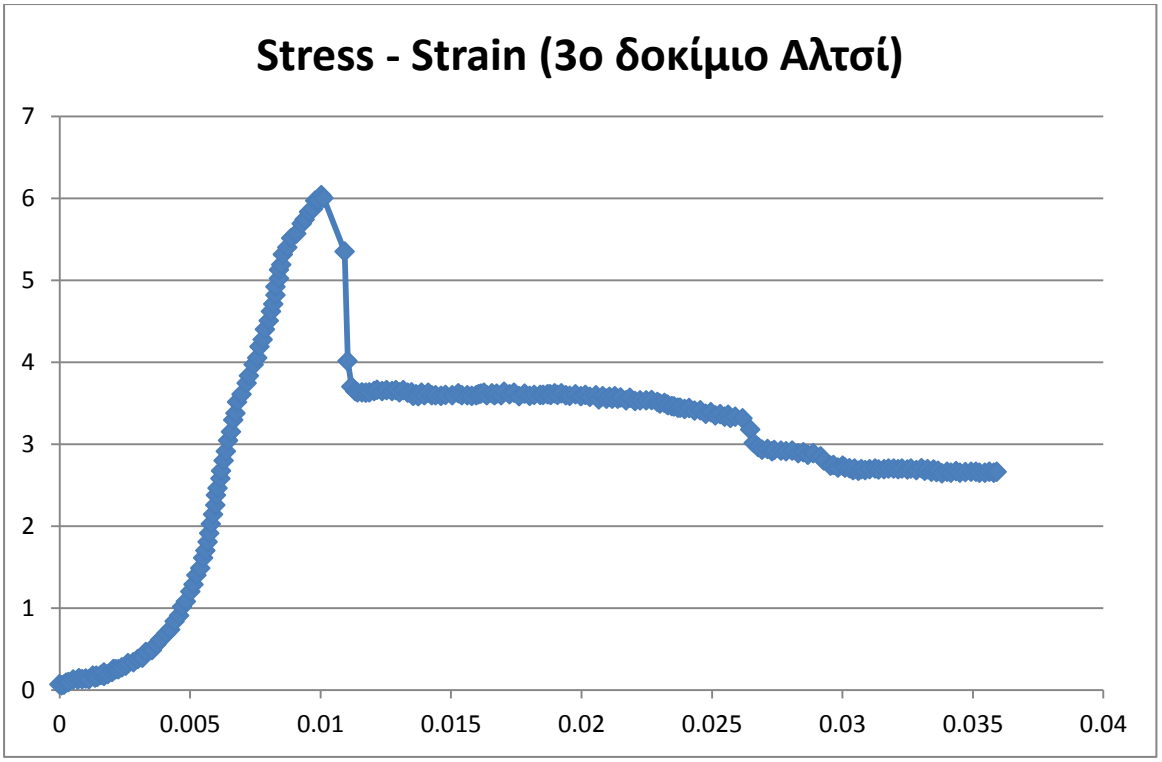
Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number:

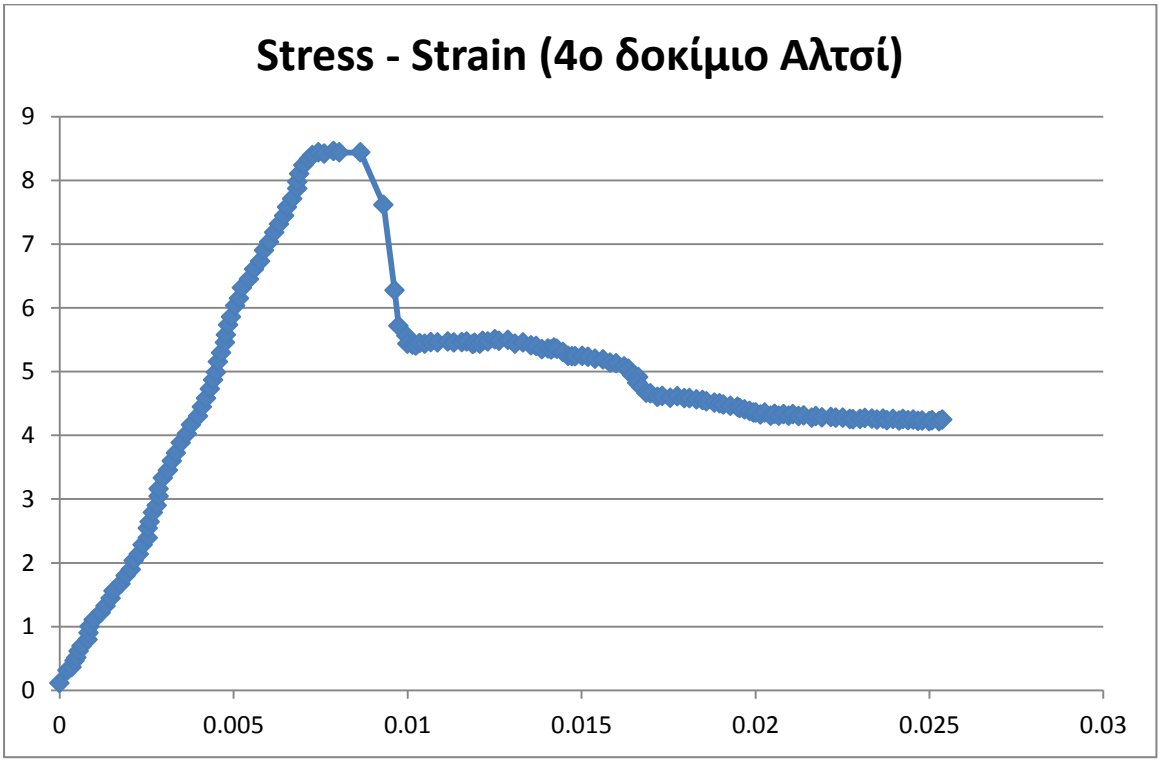
p.
26 May 08 11:

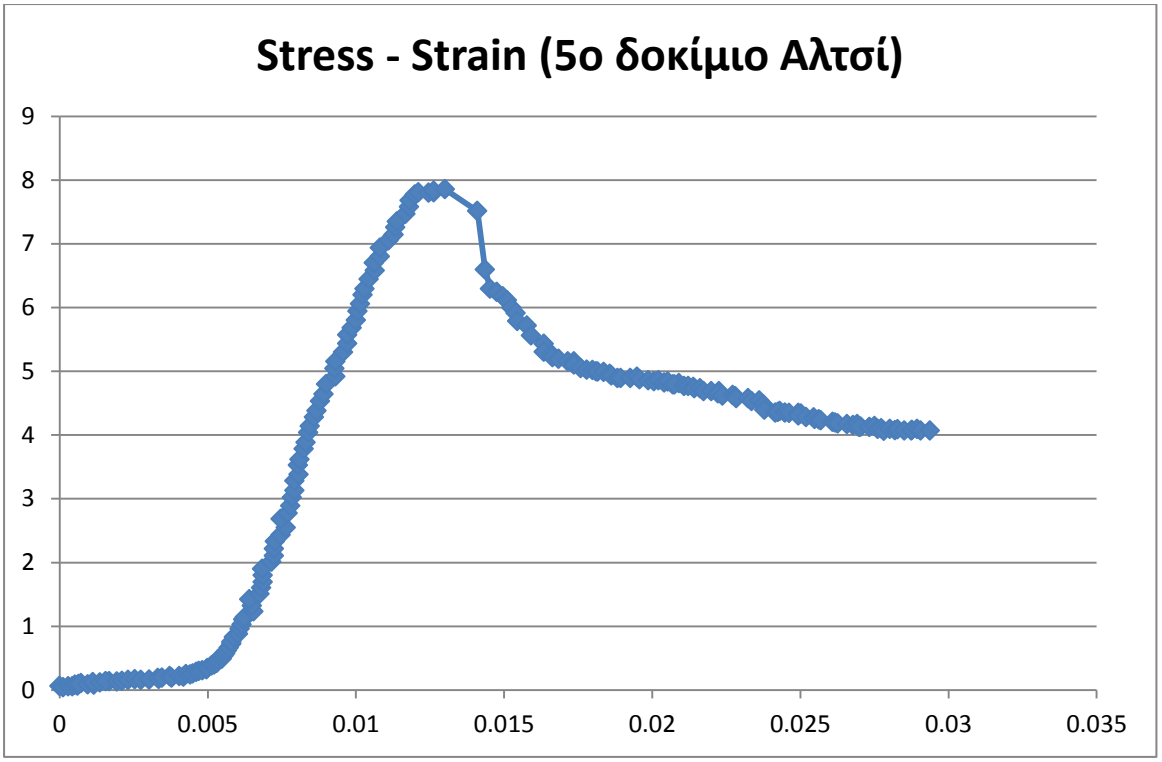
Διαγράμματα Δοκιμής σε Μονοαξονική Θλίψη.

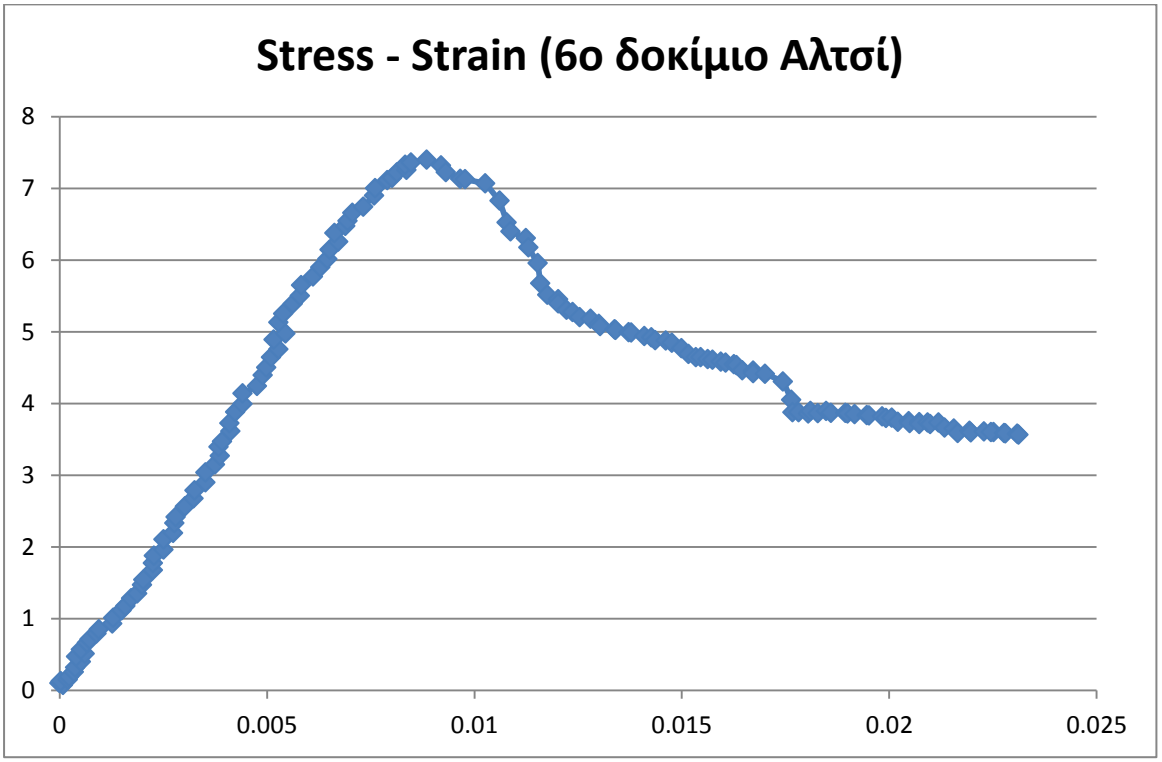


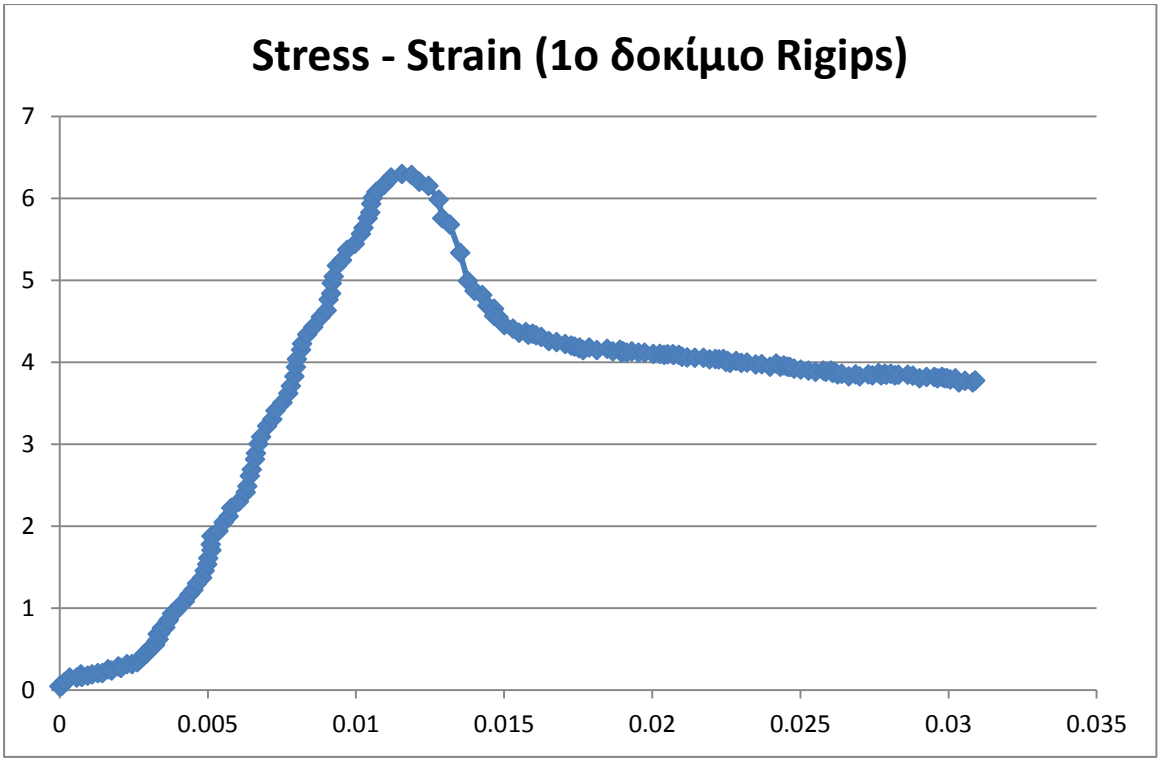


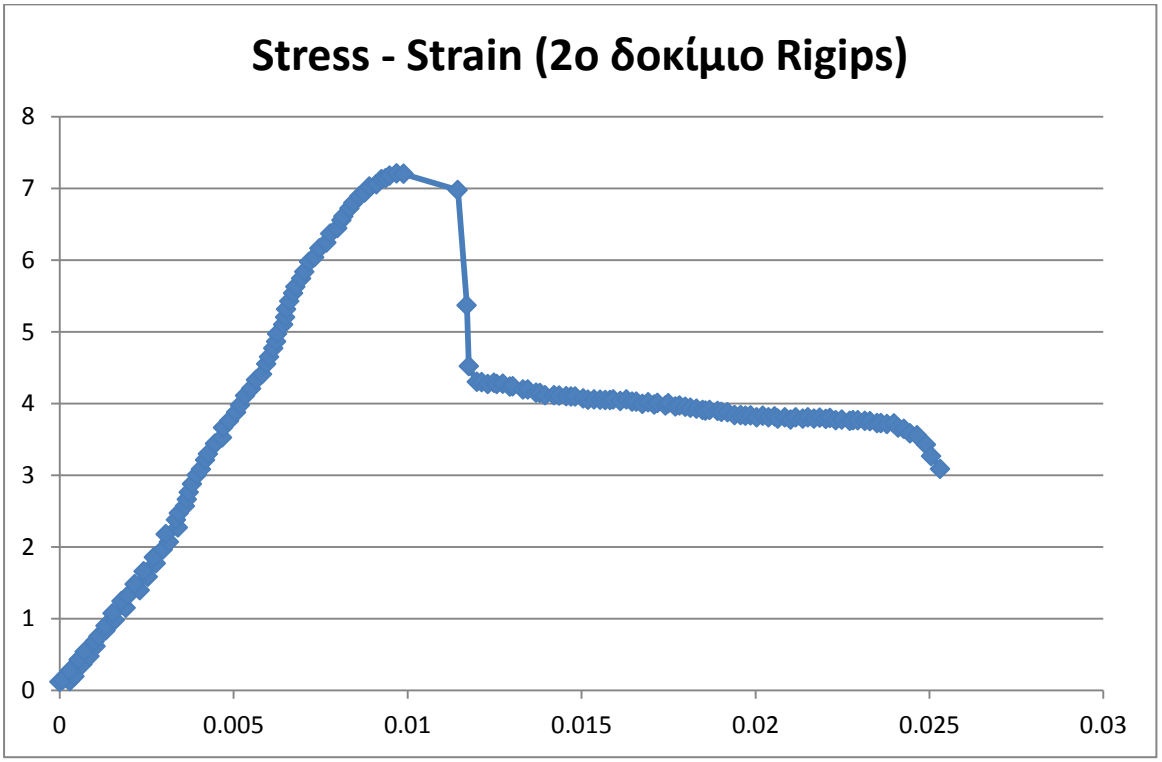

Stress - Strain (3ο δοκίμιο Αλτσί)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04

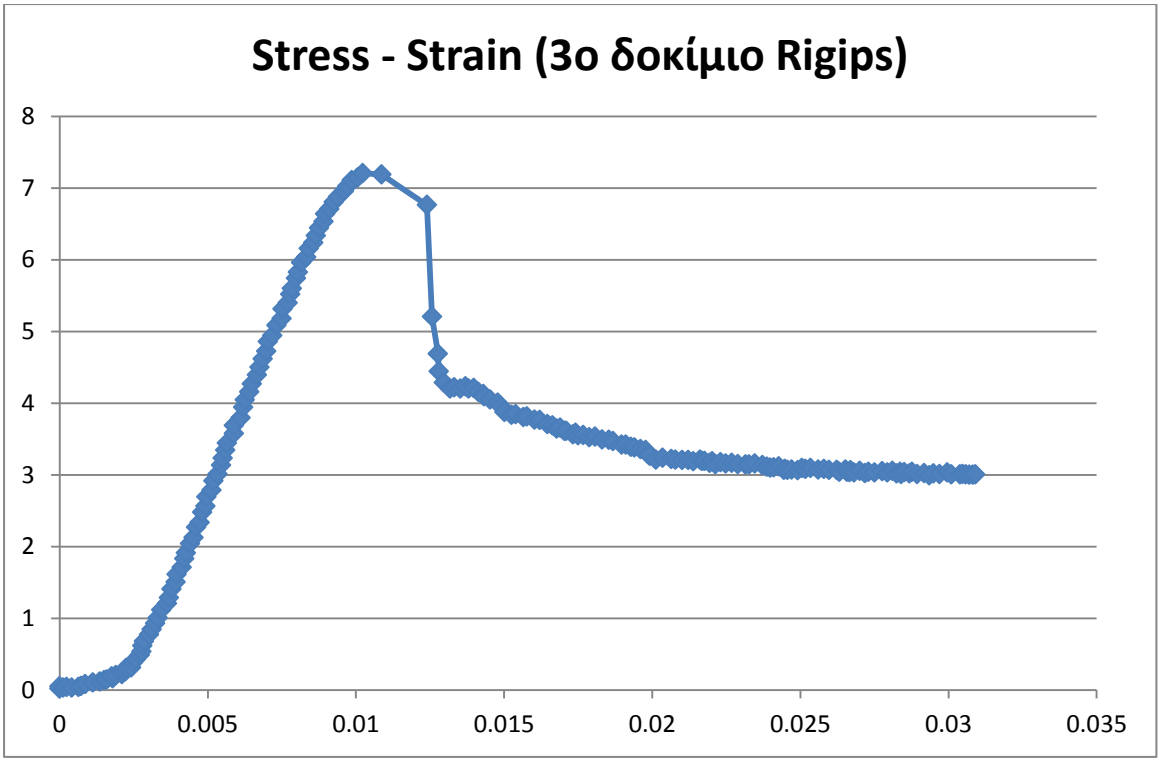

Stress - Strain (4ο δοκίμιο Αλτσί)
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

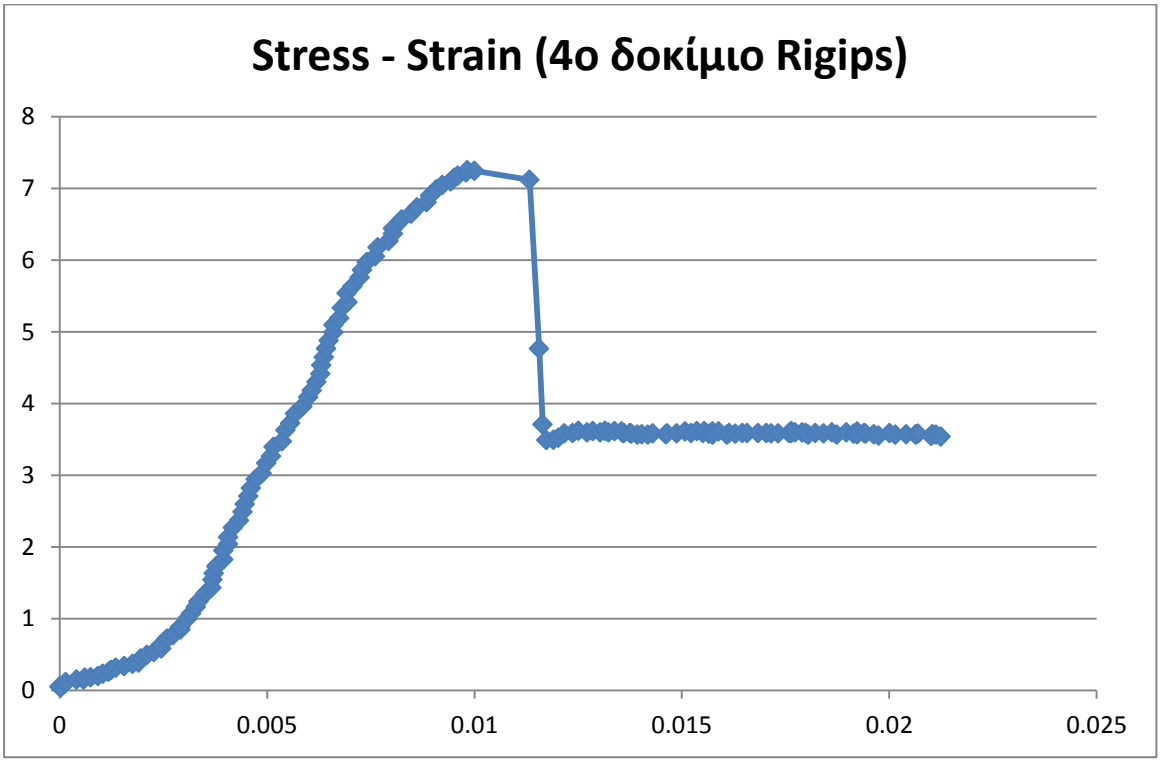

Stress - Strain (5ο δοκίμιο Αλτσί)
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035

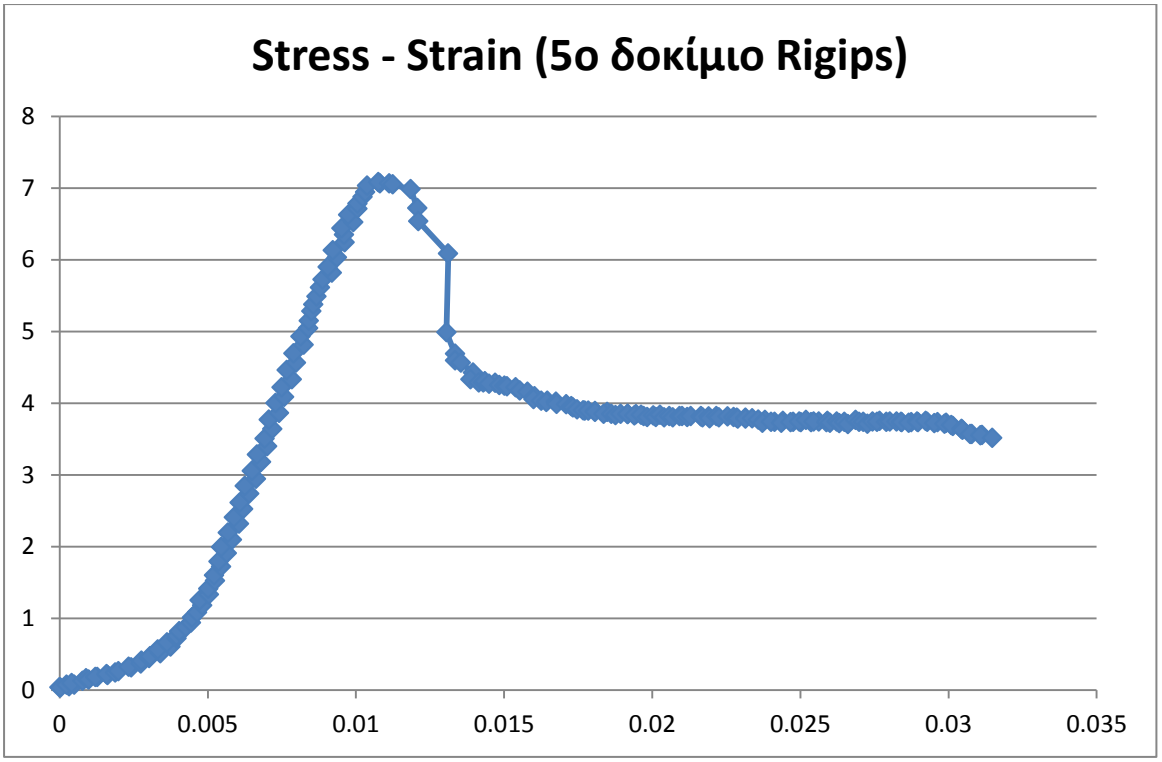

Stress - Strain (6ο δοκίμιο Αλτσί)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025

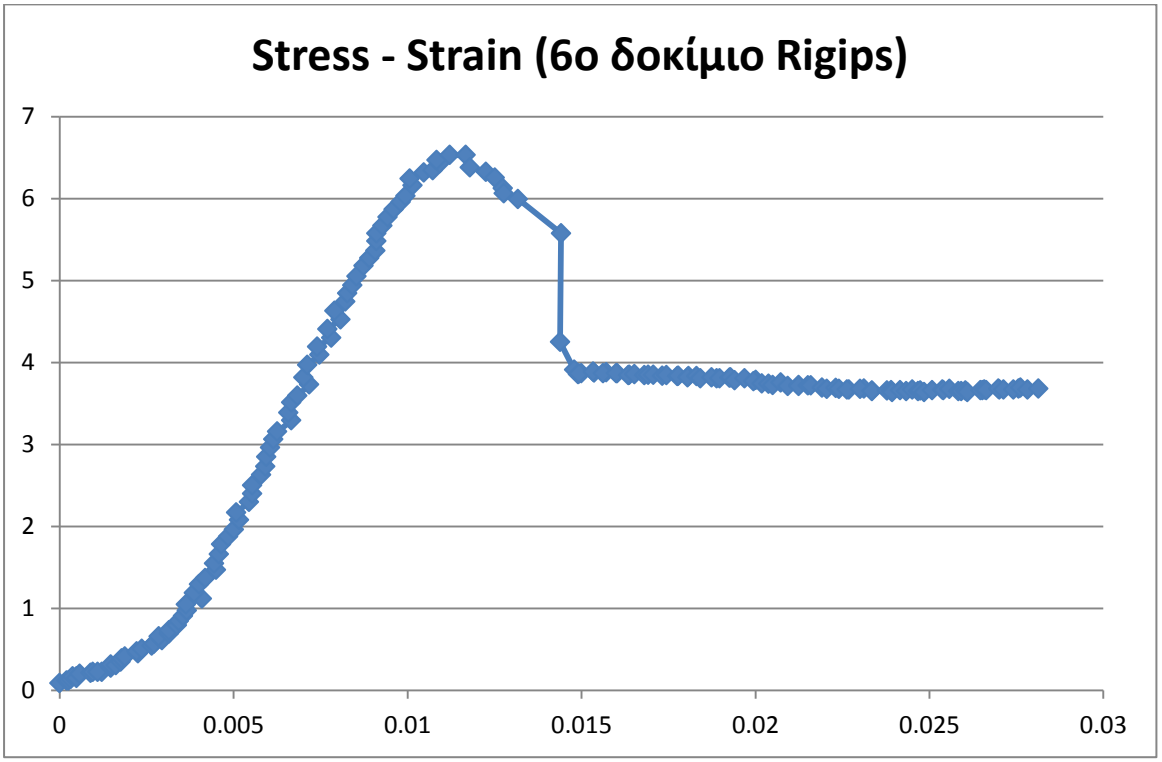

Stress - Strain (1ο δοκίμιο Rigips)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035


Stress - Strain (2ο δοκίμιο Rigips)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

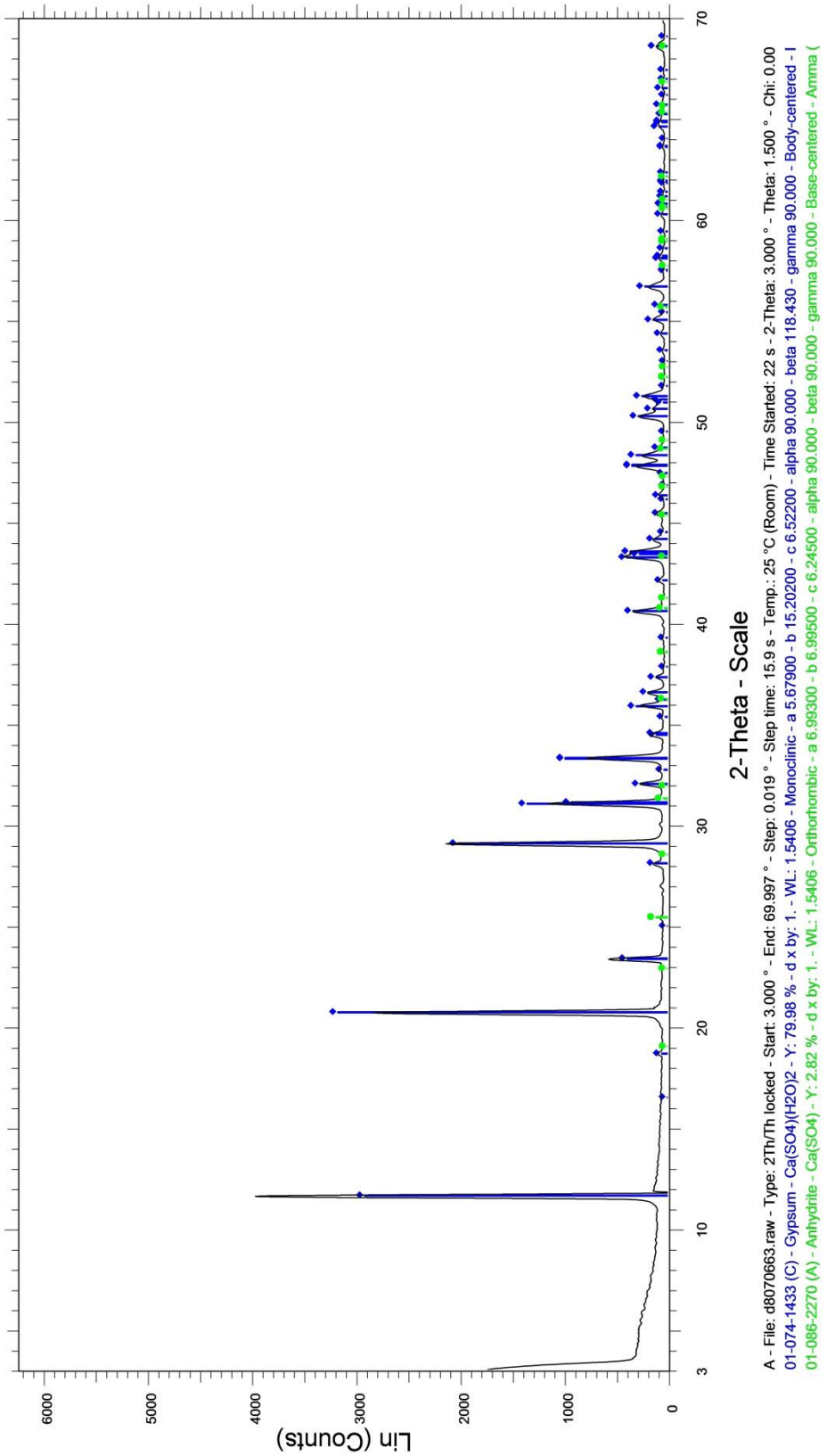

Stress - Strain (3ο δοκίμιο Rigips)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035

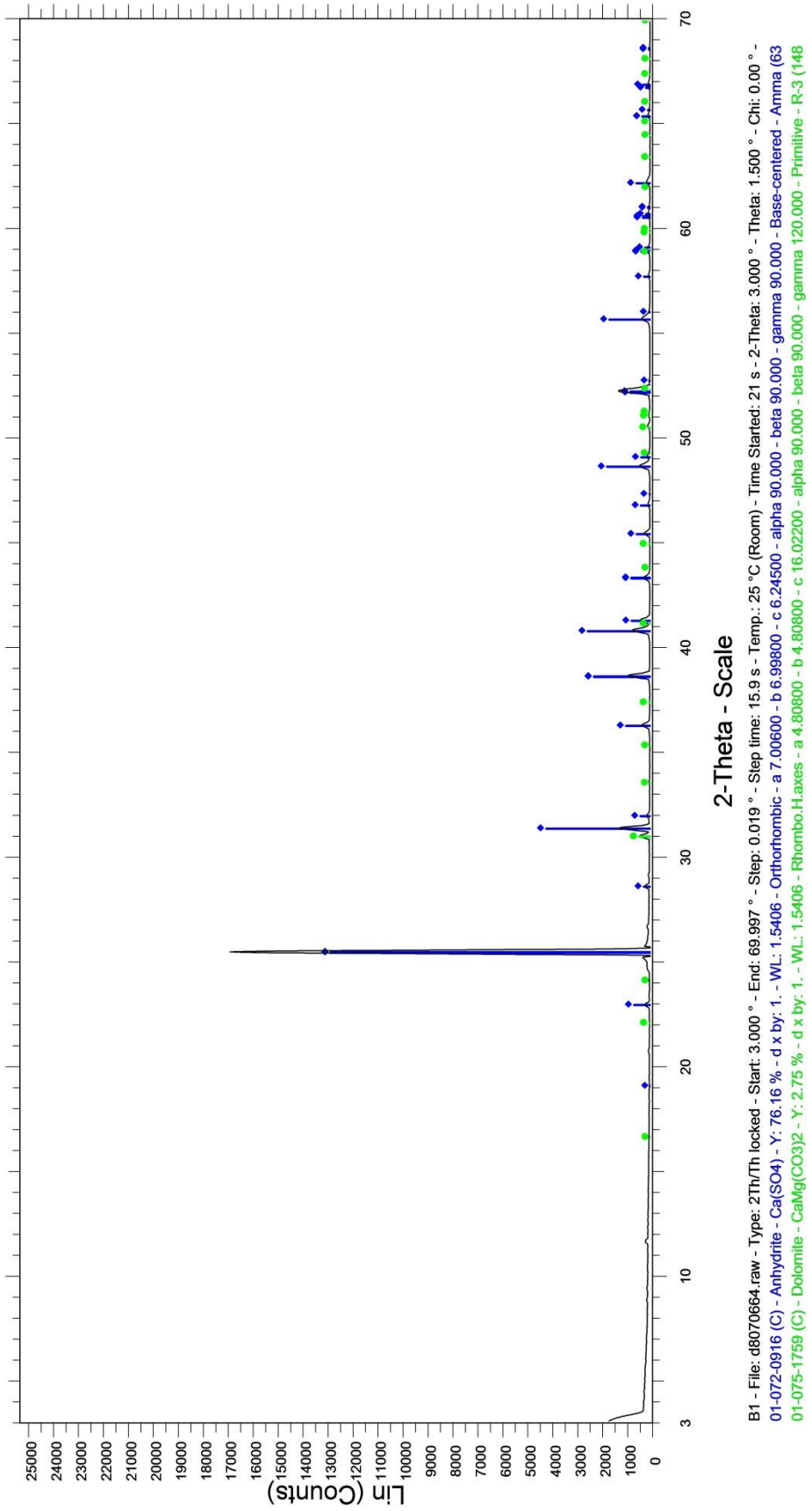

Stress - Strain (4ο δοκίμιο Rigips)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025

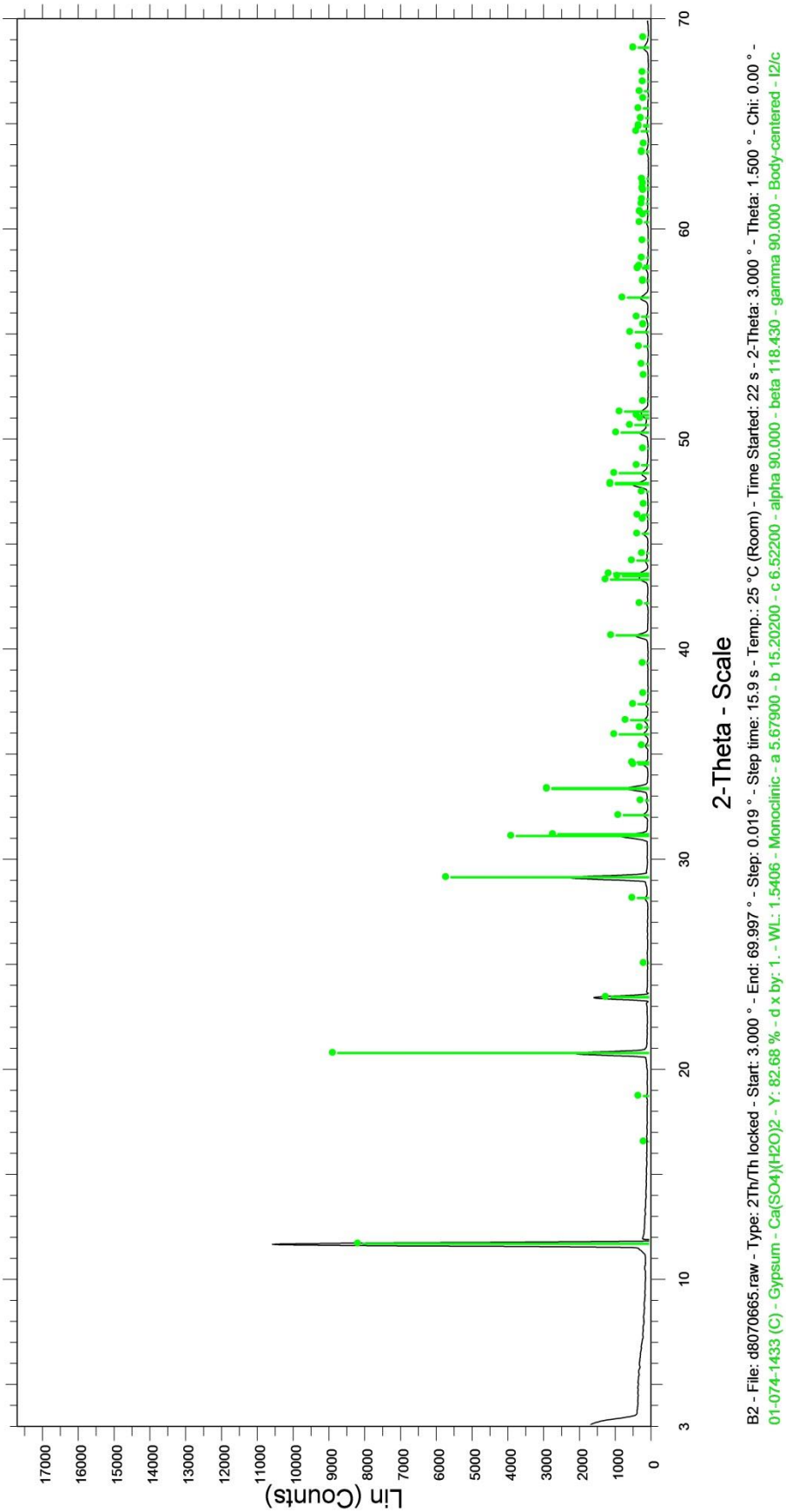

Stress - Strain (5ο δοκίμιο Rigips)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035

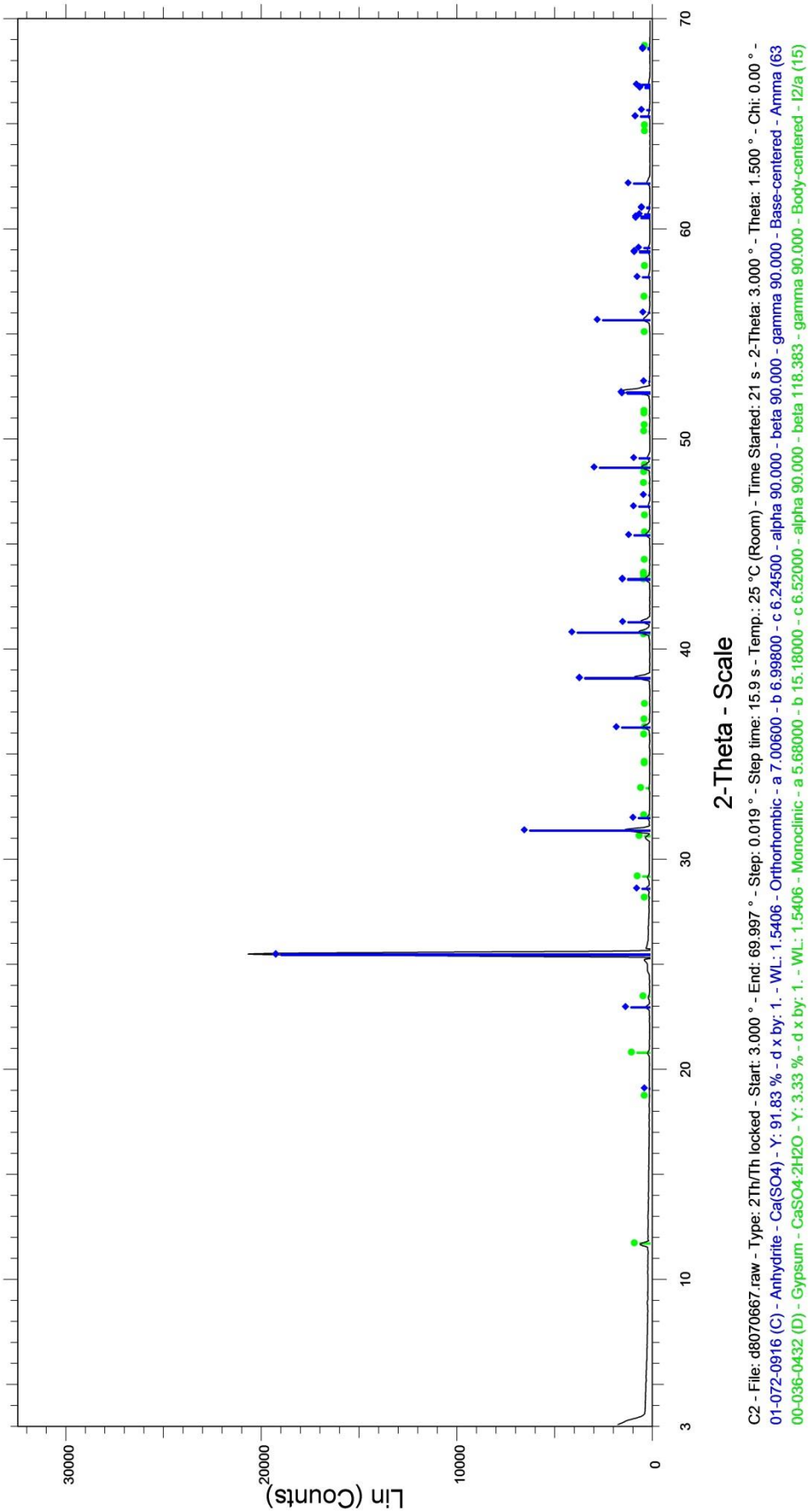

Stress - Strain (6ο δοκίμιο Rigips)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

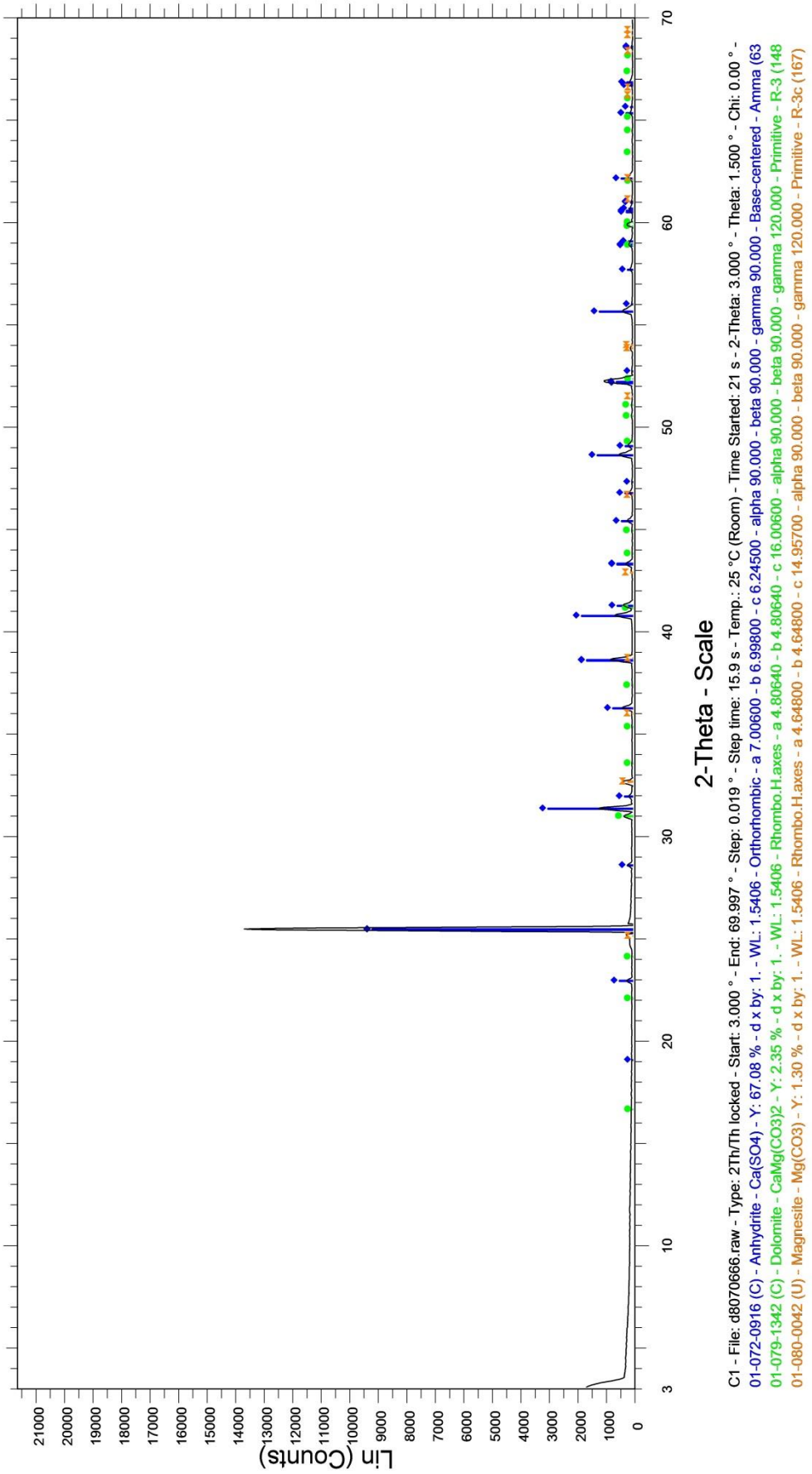
Ακτινοδιαγράμματα XRD

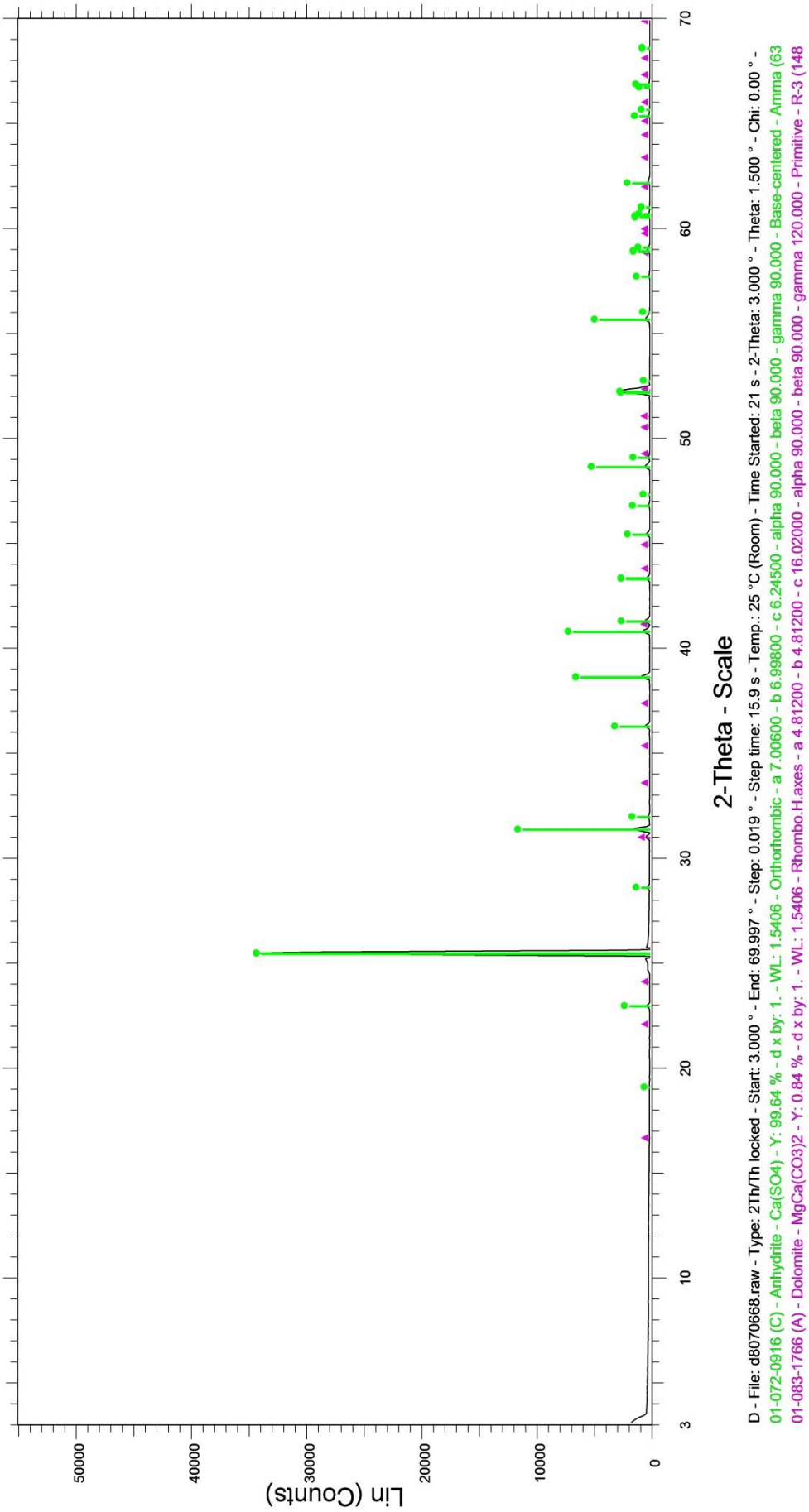


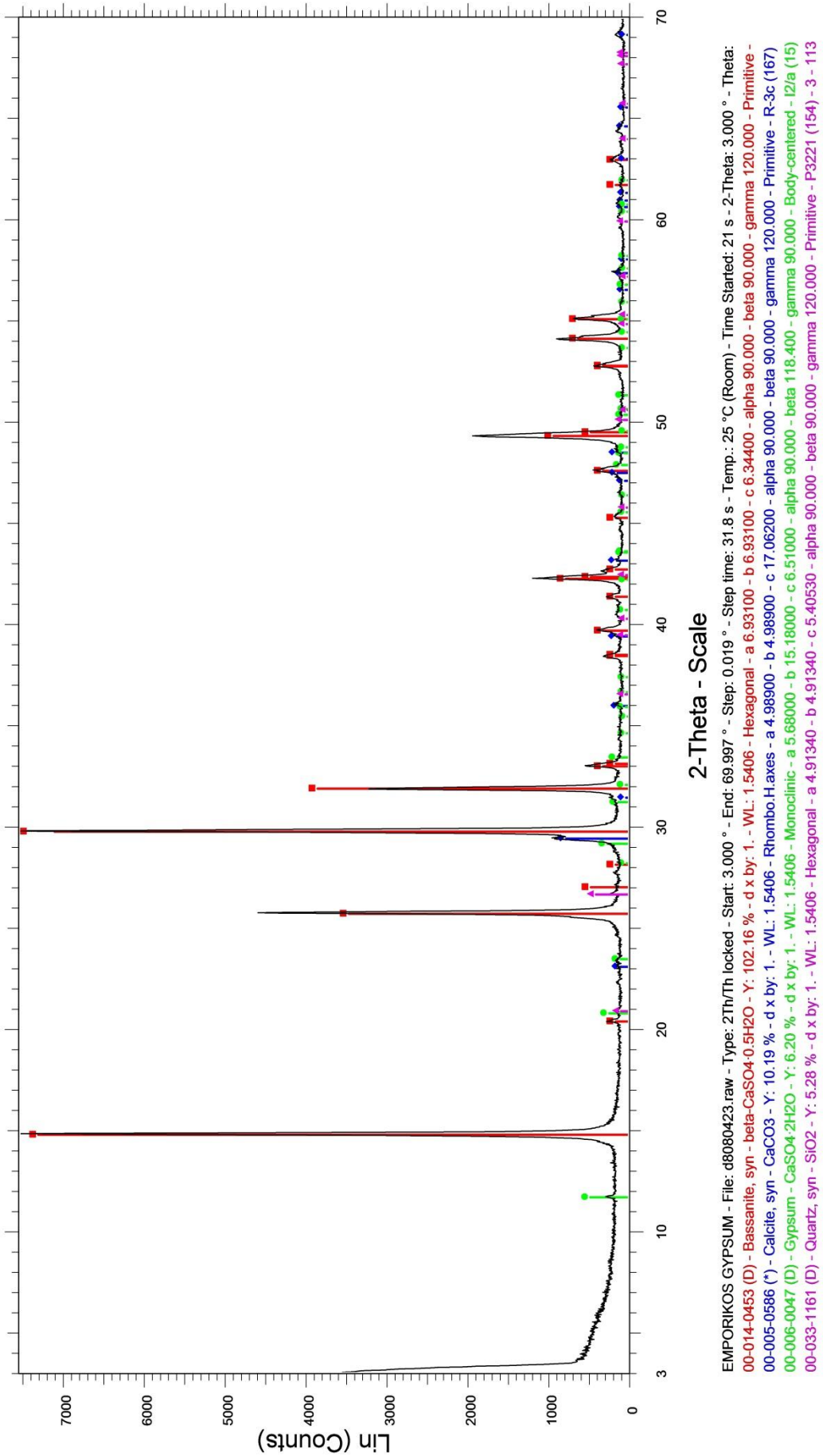

Lin (Counts)
2-Theta - Scale
B1 - File: d8070664.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 15.9 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° -
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO4) - Y: 76.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 7.00600 - b 6.99800 - c 6.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered - Amma (63
01-075-1759 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - Y: 2.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80800 - b 4.80800 - c 16.02200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148

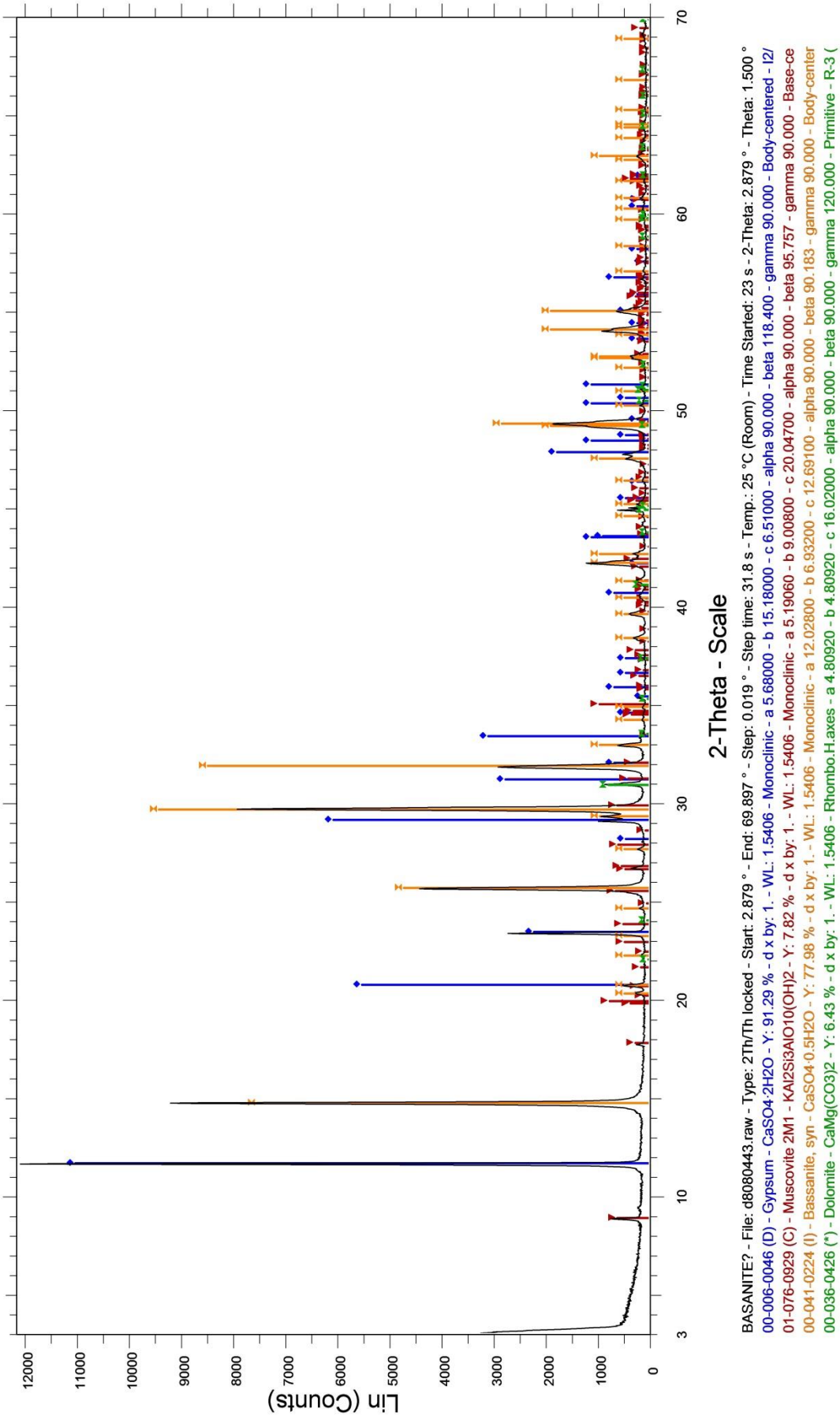

Lin (Counts)
17000
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
3
10
20
30
40
50
60
70
2-Theta - Scale
B2 - File: d8070665.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 15.9 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° -
01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO4)(H2O)2 - Y: 82.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.67900 - b 15.20200 - c 6.52200 - alpha 90.000 - beta 118.430 - gamma 90.000 - Body-centered - I2/c


Lin (Counts)
30000
20000
10000
0
3
10
20
30
40
50
60
70
2-Theta - Scale
C2 - File: d8070667.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 15.9 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° -
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO4) - Y: 91.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 7.00600 - b 6.99800 - c 6.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered - Amma (63
00-036-0432 (D) - Gypsum - CaSO4·2H2O - Y: 3.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.68000 - b 15.18000 - c 6.52000 - alpha 90.000 - beta 118.383 - gamma 90.000 - Body-centered - I2/a (15)


Lin (Counts)
2-Theta - Scale
C1 - File: d8070666.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 15.9 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 °
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO4) - Y: 67.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 7.00600 - b 6.99800 - c 6.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered - Amma (63
01-079-1342 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - Y: 2.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80640 - b 4.80640 - c 16.00600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148
01-080-0042 (U) - Magnesite - Mg(CO3) - Y: 1.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.64800 - b 4.64800 - c 14.95700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167)


Lin (Counts)
50000
40000
30000
20000
10000
0
3
10
20
30
40
50
60
70
2-Theta - Scale
D - File: d8070668.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 15.9 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° -
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO4) - Y: 99.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 7.00600 - b 6.99800 - c 6.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered - Amma (63
01-083-1766 (A) - Dolomite - MgCa(CO3)2 - Y: 0.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.81200 - b 4.81200 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148


Lin (Counts)
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
3
10
20
30
40
50
60
70
2-Theta - Scale
EMPORIKOS GYPSUM - File: d8080423.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.997 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta:
00-014-0453 (D) - Bassanite, syn - beta-CaSO4·0.5H2O - Y: 102.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 6.93100 - b 6.93100 - c 6.34400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -
00-005-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 10.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167)
00-006-0047 (D) - Gypsum - CaSO4·2H2O - Y: 6.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.68000 - b 15.18000 - c 6.51000 - alpha 90.000 - beta 118.400 - gamma 90.000 - Body-centered - I2/a (15)
00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 5.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113


Lin (Counts)
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
3
10
20
30
40
50
60
70
2-Theta - Scale
BASANITE? - File: d8080443.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.879 ° - End: 69.897 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 23 s - 2-Theta: 2.879 ° - Theta: 1.500 °
00-006-0046 (D) - Gypsum - CaSO4·2H2O - Y: 91.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.68000 - b 15.18000 - c 6.51000 - alpha 90.000 - beta 118.400 - gamma 90.000 - Body-centered - I2/
01-076-0929 (C) - Muscovite 2M1 - KAl2Si3AlO10(OH)2 - Y: 7.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.19060 - b 9.00800 - c 20.04700 - alpha 90.000 - beta 95.757 - gamma 90.000 - Base-ce
00-041-0224 (I) - Bassanite, syn - CaSO4·0.5H2O - Y: 77.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 12.02800 - b 6.93200 - c 12.69100 - alpha 90.000 - beta 90.183 - gamma 90.000 - Body-center
00-036-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - Y: 6.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80920 - b 4.80920 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (