



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“Εμπλουτισμός μεταλλεύματος βωξίτη Παρνασσού-Γκιώνας”**

**ΚΟΥΚΝΗΣ Γ. ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ-ΑΝΤΩΝΗΣ**

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Σταμπολιάδης Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων)**

**Περδικάτσης Βασίλειος, Καθηγητής**

**Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής**

**Χανιά,**

**Ιούνιος , 2009**

αφιερώνεται

σε όλους τους συγγενείς και φίλους

που έφυγαν νωρίς...

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Αν. Καθ. Η. Σταμπολιάδη. Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση εμπλουτισμού μεταλλεύματος βωξίτη Παρνασσού-Γκιώνας.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του θέματος είναι το γεγονός ότι ο βωξίτης αποτελεί σημαντικό εξαγώγιμο προϊόν της ελληνικής μεταλλευτικής βιομηχανίας. Επιπλέον χρησιμοποιείται και στην εγχώρια μεταλλουργία για τη παραγωγή αλουμίνιας και αλουμινίου. Η ύπαρξη μέσα σε αυτόν ασβεστίτη ( $CaCO_3$ ) και οξειδίων του πυριτίου ( $SiO_2$ ) αποτελεί πρόβλημα στη διαδικασία παραγωγής αλουμίνιας, που γίνεται με τη μέθοδο Bayer, διότι δεσμεύουν καυστικό Νάτριο (NAOH) καθώς και η παρουσία τους μειώνει την ποιότητα της αλουμίνιας και κατ' επέκταση του αλουμινίου. Ο εμπλουτισμός του βωξίτη αναβαθμίζει την ποιότητά του και αποτελεί πρόκληση για τον Μηχανικό Ορυκτών Πόρων.

Παράλληλα, το θέμα αυτό αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ των θεωρητικών γνώσεων της φοίτησής μου στο τμήμα και των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στην πράξη.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Αν. Καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη για το ενδιαφέρον του στην εκτέλεση της εργασίας και την αμέριστη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Περδικάτση και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο για τις συμβουλές τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης του πειραματικού μέρους της εργασίας και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους πάνω στο κείμενο και την καλή τους διάθεση να αφιερώσουν μέρος από τον πολύτιμο χρόνο τους για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Αισθάνομαι ότι οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους επιστημονικούς συνεργάτες του εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων την κ. Όλγα Παντελάκη και τον κ. Βαγγέλη Πετράκη για την αμέριστη βοήθεια τους κατά την εκπόνηση των πειραμάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ειδικότερα τον κ. Αντώνη Στρατάκη, την κ. Δέσποινα Πεντάρη, την κ. Κατσιμίχα Δέσποινα, την κ. Αποστολάκη Χρύσα, την κ. Παγώνα Μακρή και τον κ. Γεώργιο Αποστολάκη για την σημαντική βοήθεια τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτρια μου και διπλωματούχο Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Ελένη-Μαρία Παναγιωταρά για την ουσιαστική συμβολή της στην πραγματοποίηση των πειραμάτων και τους συμφοιτητές μου Μήνα Δημητρίου, Δημοσθένη Ανδρονικίδη, Μαρία Τσέλιου, Χαρίλαο Ανεστάδη, Γιάννη Βαρβάρη, Μιχαήλ Μιχάλα, Παύλο Φραγκούλη, Κυριακή Παναγοπούλου, Αναστασία Γριζιώτη και Αφροδίτη Τουρναβίτη για την πολύτιμη βοήθειά τους στην διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

Τελειώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς επίσης και τους φίλους και συμφοιτητές μου για όλες τις στιγμές των φοιτητικών μου χρόνων, που θα μείνουν χαραγμένες στο μυαλό μου για πάντα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο βωξίτης είναι το κυριότερο μετάλλευμα από το οποίο λαμβάνεται το αργίλιο. Έχει παρατηρηθεί ότι οι κοκκομετρίες που γίνεται ο οποιοσδήποτε διαχωρισμός στην ελληνική βιομηχανία είναι μεγάλες. Έτσι ένας από τους στόχους της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των αποτελεσμάτων εμπλουτισμού σε μικρότερες κοκκομετρίες.

Ο στόχος του εμπλουτισμού του συγκεκριμένου μεταλλεύματος είναι η απομάκρυνση των «προβληματικών» ορυκτών, ασβεστίτη και οξειδίων του πυριτίου. Για τους εξής λόγους: Πρώτον, μειώνουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος που προκύπτει από την εκχύλιση με την μέθοδο Bayer. Και δεύτερον δεσμεύουν οξείδια του αργιλίου μειώνοντας την ποσότητα του τελικού προϊόντος, που είναι η αλουμίνια.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που επιλέχτηκαν είναι: ο μαγνητικός διαχωρισμός, τα βαρέα υγρά, η δονούμενη τράπεζα και ο αεροδιαχωρισμός, ώστε να γίνει εκμετάλλευση των διαφορετικών ιδιοτήτων, των προς διαχωρισμό ορυκτών. Πριν από τις παραπάνω διαδικασίες προηγήθηκε θραύση και για την αξιολόγηση του διαχωρισμού έγιναν χημικές, ορυκτολογικές και μικροσκοπικές αναλύσεις.

Κάποια από τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι: ότι δεν είναι δυνατή η απομάκρυνση των οξειδίων του πυριτίου κι αυτό οφείλεται στη δομή των βωξιτικών κόκκων. Υπάρχει στενή σύμφυση των ορυκτών του πυριτίου, του σιδήρου και του αργιλίου που δεν επιτρέπει τη μεταξύ τους αποδέσμευση. Ο ασβεστίτης που δεν αποτελεί γενετικό συστατικό αλλά συνυπάρχει δευτερογενώς λόγω απόθεσης του κοιτάσματος σε ασβεστολιθικούς ορίζοντες είναι καλύτερα αποδεσμευμένος. Τα αποτελέσματα σε ότι αφορά την απομάκρυνση του ασβεστίτη και τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος σε ορυκτά του αργιλίου, δίνουν ο μαγνητικός διαχωρισμός και τα βαρέα υγρά.

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	i
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	ii
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	iii
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	iv
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΒΩΞΙΤΕΣ</b>	3
2.1 Εισαγωγή	3
2.2 Ορυκτολογική σύσταση των βωξιτών [11]	3
2.2.1 Ο Υδραργυλίτης ή Γκιψίτης γ-Al <sub>3</sub> O <sub>3</sub> * 3H <sub>2</sub> O ή Al(OH) <sub>3</sub> [4,11]	4
2.2.2 Βαμίτης γ-AlOOH [4,11]	5
2.2.3 Διάσπορο α-AlOOH [4,11]	6
2.2.4 Γκαιτίτης α -FeOOH [4,11]	6
2.2.5 Αιματίτης α -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [4,11]	6
2.2.6 Ανατάσης TiO <sub>2</sub> [4,11]	7
2.2.7 Ροντίλιο TiO <sub>2</sub> [4,11]	7
2.2.8 Καολινίτης Al <sub>4</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]OH <sub>8</sub> [4,11]	7
2.2.9 Χαλαζίας SiO <sub>2</sub> [4,11]	7
2.3 Χημική ανάλυση των βωξιτών	7
2.4 Γένεση βωξιτών [1,19]	8
2.5 Τύποι βωξιτικών κοιτασμάτων [19]	10
2.6 Κοιτάσματα Βωξίτη ανά τον κόσμο [19]	11
2.7 Κοιτάσματα και Παραγωγή Βωξίτη στην Ελλάδα [9,19]	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ</b>	16
3.1 Εισαγωγή	16
3.2 Εκχύλιση Βωξίτη με την μέθοδο Bayer [11].	16
3.2.1 Θραύση του βωξίτη [11]	17
3.2.2 Ανάμιξη – Εκχύλιση [11]	17
3.2.3 Αραίωση [11]	18
3.2.4 Διαχωρισμός της ερυθράς ιλύος - Καταβύθιση –Διήθηση [11].	18

3.2.5	Διάσπαση του αργιλικού διαλύματος [11]	18
3.2.6	Διήθηση [11]	19
3.2.7	Πύρωση [11]	19
3.2.8	Συμπύκνωση του αργιλικού διαλύματος [11]	19
3.3	Αντιδράσεις κατά την διαδικασία της εκχύλισης	20
3.3.1	Αντιδράσεις διαλυτοποίησης των ορυκτών του αργιλίου [11].	20
3.3.2	Οι αντιδράσεις των ενώσεων του πυριτίου [11]	20
3.3.3	Χημικές αντιδράσεις του CaO [11]	21
3.4	Ιδιαιτερότητες των διασπορικών Βωξιτών	22
3.4.1	Εισαγωγή	22
3.4.2	Εκχυλισμότητα των διασπορικών βωξιτών [11].	22
3.4.3	Διαλυτότητα στην ισορροπία των διασπορικών βωξιτών[11].	23
3.4.4	Σκληρότητα των διασπορικών βωξιτών [11]	23
3.5	Προϊόντα	23
3.6	Χρήσεις των προϊόντων	24
3.7	Τιμή αλουμινίου	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ</b>		<b>26</b>
4.1	Θραύση [10,13]	26
4.2	Υδροκυκλώνας	28
4.3	Μαγνητικός διαχωρισμός [10]	28
4.4	Βαρυτομετρικός διαχωρισμός	31
4.4.1	Βαρέα Υγρά	32
4.4.2	Δονούμενη τράπεζα	32
4.4.3	Αεροδιαχωρισμός	33
4.5	Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης [10,16]	35
4.5.1	Χημική ανάλυση δείγματος	38
4.6	Περιθλασμετρία ακτίνων X [8,10]	38
4.6.1	Ορυκτολογική ανάλυση δείγματος	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>		<b>41</b>
5.1	Προέλευση	41
5.2	Κοκκομετρία	41
5.3	Ορυκτολογική ανάλυση	43
5.4	Μικροσκοπική ανάλυση	43

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b>	<b>45</b>
6.1 Μαγνητικός Διαχωρισμός	45
6.1.1 Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού	46
6.1.2 Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης	53
6.1.3 Αποτελέσματα δοκιμής μαγνητικού διαχωρισμού με τέσσερα διαδοχικά περάσματα	57
6.1.4 Ορυκτολογικά αποτελέσματα δοκιμής μαγνητικού διαχωρισμού με τέσσερα διαδοχικά περάσματα	61
6.2 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός	62
6.2.1 Βαρέα υγρά	62
6.2.1.1 Αποτελέσματα Βαρέων υγρών	63
6.2.1.2 Αποτελέσματα της ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης	70
6.2.2 Διαχωρισμός δονούμενης τράπεζας	75
6.2.2.1 Αποτελέσματα δονούμενης τράπεζας	76
6.2.3 Αεροδιαχωρισμός	81
6.2.3.1 Αποτελέσματα αεροδιαχωρισμού	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>86</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>88</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>90</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της καλύτερης μεθόδου εμπλουτισμού του βωξίτη από τον ασβεστόλιθο και το χαλαζία. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή των νομών Φωκίδας και Βοιωτίας και αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ελληνικών βωξιτών. Βωξιτών δηλαδή που περιέχουν ως βασικό ορυκτό του αργιλίου το Διάσπορο.

Στόχος της εργασίας ήταν να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο το ανθρακικό ασβέστιο και τα οξείδια του πυριτίου στο τελικό προϊόν της κάθε διαδικασίας εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκε σε τάξεις μεγέθους μικρότερες από τα 5 mm.

Οι μέθοδοι του εμπλουτισμού που επιλέχθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου ήταν μέθοδοι μαγνητικού διαχωρισμού και μέθοδοι βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός αποσκοπεί στον διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος ανάλογα με τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Έτσι, ανάλογα με τη συμπεριφορά των διαφόρων ορυκτών μέσα στο μαγνητικό πεδίο του μαγνητικού διαχωριστή, το υλικό διαχωρίζεται σε μαγνητικό και μη μαγνητικό.

Ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός αποσκοπεί στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος ανάλογα με τη πυκνότητα τους. Έτσι, ανάλογα με τη πυκνότητα των ορυκτών το υλικό διαχωρίζεται σε βαρύ και ελαφρύ. Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι που πραγματοποιήθηκαν είναι ο διαχωρισμός Βαρέων Υγρών, ο διαχωρισμός με Δονούμενη Τράπεζα και ο διαχωρισμός με τον Αεροδιαχωριστή.

Η θραύση του μεταλλεύματος αποσκοπεί στην ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων του σε μεγέθη κατάλληλα προς εμπλουτισμό. Η διαδικασία της κατάτμησης εφαρμόζεται συνήθως σε όλες τις μεθόδους εμπλουτισμού, ως πρωταρχική διεργασία, για να επιτευχθεί η αποδέσμευση του μεταλλεύματος από τα στείρα, και η δημιουργία κατάλληλων κοκκομετρικών κλασμάτων.

Στην εργασία περιγράφονται αρχικά διάφορα θεωρητικά στοιχεία, όπως γενικά για τους βωξίτες, τη γένεση, και τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά τους για την εξόρυξη και την επεξεργασία τους, για τις χρήσεις του βωξίτη και των προϊόντων του και την τιμή του αλουμινίου..

Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή του δείγματος, η κοκκομετρική, χημική και ορυκτολογική ανάλυσή του. Τέλος, υπάρχει η περιγραφή και ανάλυση της εργα-

στηριακής μελέτης, όπου παρουσιάζονται οι διάφορες εργαστηριακές δοκιμές ε-  
μπλουτισμού του μεταλλεύματος με τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΩΞΙΤΕΣ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Ο βωξίτης είναι το κυριότερο μετάλλευμα από το οποίο λαμβάνεται το αργίλιο. Ανακαλύφθηκε το 1821 από το Γάλλο γεωλόγο Pierre Berthier στην πόλη Μπω (Les Baux-de-Provence) της νότιας Γαλλίας (Προβηγκία), από την οποία πήρε το όνομά του. (<http://el.wikipedia.org>)

Υπάρχουν 100 περίπου ορυκτά, στα οποία το αργίλιο αποτελεί το κύριο συστατικό και άλλα 200 περίπου, στα οποία βρίσκεται σε μικρότερες περιεκτικότητες [11].

Τα σπουδαιότερα ορυκτά του αργιλίου είναι:

- |      |                 |   |
|------|-----------------|---|
| i.   | Ένυδρα οξείδια: | Διάσπορο, Βαιμίτης, Υδραργυρίτης (Γκιψίτης)   |
| ii.  | Φθοριούχα:      | Κρυόλιθος                                     |
| iii. | Οξείδια:        | Κορούνδιο, Σμύριδα, Σπινέλιος                 |
| iv.  | Πυριτικά:       | Καολινίτης, Λευκίτης, Νεφελίτης, Σιλλιμανίτης |
| v.   | Θεικά:          | Αλουνίτης, Στυπτηρίες.                        |

Ο βωξίτης είναι μετάλλευμα χωρίς καθορισμένη σύσταση αλλά το κύριο συστατικό του είναι τα υδροξείδια του αργιλίου. Άλλα συστατικά του είναι τα οξείδια του σιδήρου, του πυριτίου, του τιτανίου, του ασβεστίου και ένα μεγάλο πλήθος από συστατικά σε μικρές περιεκτικότητες.

### **2.2 Ορυκτολογική σύσταση των βωξιτών [11]**

Η ορυκτολογική σύσταση των βωξιτών ποικίλλει ανάλογα με τον τόπο και τον τρόπο προέλευσης τους. Αυτό όμως που ενδιαφέρει περισσότερο είναι η ορυκτολογική φάση στην οποία βρίσκονται τα ορυκτά του αργιλίου και του σιδήρου, γιατί από αυτό, καθορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας τους με τη μέθοδο Bayer. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις που βρίσκονται τα διάφορα οξείδια στο βωξίτη.

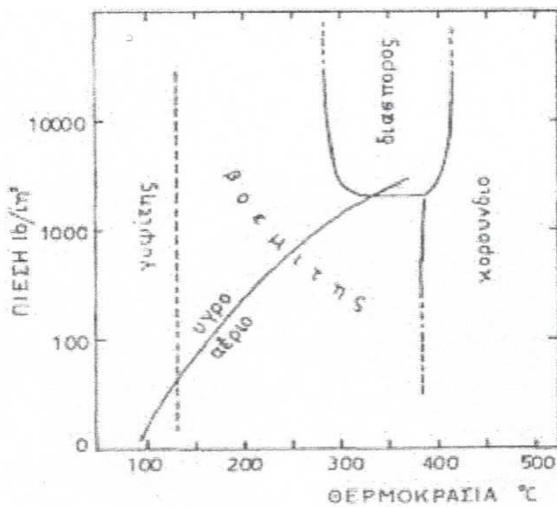
Πίνακας 2.1. Ορυκτολογικές φάσεις που περιέχονται στους βωξίτες [4,11]

Κύριο στοιχείο	Ορυκτολογική φάση	Χημικός τύπος
Al	Γκιψίτης (Υδραργυλίτης)	$\text{Al}(\text{OH})_3$
	Βαιμίτης	$\text{AlO}(\text{OH})$
	Διάπορο	$\text{AlOOH}$
	Αλουμινο-Γκαιτίτης	$\text{Al}_2\text{OOH}$
	Αλουμινο-Αιματίτης	$\text{Al}_2\text{O}_3$
Fe	Γκαιτίτης	$\text{FeOOH}$
	Αιματίτης	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
	Ιλμενίτης	$\text{FeTiO}_3$
	Σιδηρο-Διάσπορο	$\text{FeOOH}$
Ti	Ανατάσης	$\text{TiO}_2$
	Ρουτίλιο	$\text{TiO}_2$
	Ιλμενίτης	$\text{FeTiO}_3$
Si	Καολινίτης	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$
	Χαλαζίας	$\text{SiO}_2$
Ca	Ασβεστίτης	$\text{CaCO}_3$

## 2.2.1 Ο Υδραργυλίτης ή Γκιψίτης $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 * 3\text{H}_2\text{O}$ ή $\text{Al}(\text{OH})_3$ [4,11]

Ο γκιψίτης κρυσταλλώνεται σε εξάγωνα του μονοκλινούς συστήματος Οι παράμετροι της στοιχειώδους κυψελίδας του είναι: a: 8.64 Å, b: 5.07 Å, c: 9.72 Å. Έχει χρώμα λευκό, σκληρότητα 2,5-3,5 MOHS και ειδικό βάρος 2,4. Είναι ελαφρά διαλυτός σε πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και αμέσως διαλυτός σε θερμά αλκάλια. Ο γκιψίτης στους 140°-200°C διασπάται, χάνοντας ένα μέρος, του κρυσταλλικού του νερού και δίνει  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 * \text{H}_2\text{O}$  (Βαιμίτης). Ενώ μεταξύ 220°-240°C το προϊόν της αφυδάτωσης του είναι άνυδρη αλουμίνια.

Υδροθερμικές μελέτες για το σύστημα  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$  έγιναν από τους G.C. Kennedy για υψηλές πιέσεις  $\text{H}_2\text{O}$ . Το διάγραμμα φάσεων του συστήματος  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$  για χαμηλές πιέσεις  $\text{H}_2\text{O}$  φαίνεται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα2.1 . Διάγραμμα φάσεων του συστήματος  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$  για χαμηλές πιέσεις  $\text{H}_2\text{O}$

Από το παραπάνω διάγραμμα βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο γκιψίτης είναι η σταθερή φάση κάτω από τους  $130^\circ\text{C}$  ανεξάρτητα από την επικρατούσα πίεση. Επίσης η θερμοκρασία μετατροπής του γκιψίτη σε βαιμίτη είναι περίπου  $155^\circ\text{C}$  ενώ η θερμοκρασία μετατροπής του σε διάσπορο είναι περίπου  $300^\circ\text{C}$ . Ο γκιψίτης στο σύστημα  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$  είναι η σταθερή φάση κάτω από τους  $150^\circ\text{C}$ .

## 2.2.2 Βαιμίτης γ-ΑΙΟΟΗ [4,11]

Ο βαιμίτης κρυσταλλώνεται στο ορθορομβικό (+) σύστημα. Οι παράμετροι της στοιχειώδους κρυσταλλικής κυψελίδας του είναι a: 3.69 Å, b: 12.24 Å c: 2.86 Å. Έχει χρώμα λευκό σκληρότητα  $3^{1/2}$ -4 MOHS, ειδικό βάρος 3 και είναι αδιάλυτος στα οξέα.

Είναι όμοιος με το διάσπορο ( $\alpha$  - $\text{AlOOH}$ ), έχει τον ίδιο χημικό τύπο, κρυσταλλώνεται στο ίδιο κρυσταλλικό σύστημα, αλλά διαφέρει η δομή τους. Με πύρωση στους  $450^\circ\text{C}$  σε ατμόσφαιρα αέρα μετασχηματίζεται σε  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Κατεργασία με 0,5 N NaF σε  $60^\circ\text{C}$  οδηγεί στην απώλεια 40% OH που περιέχεται στο ορυκτό ενώ αντίστοιχη κατεργασία διάσπορου με NaF δεν οδηγεί σε σημαντικές απώλειες OH. Αυτό αποδίδεται στη διαφορά της ισχύος του δεσμού OH στα δύο ορυκτά και είναι σημαντικό γιατί πρέπει να συνδέεται με τη διαφορά της διαλυτότητας τους στα αλκαλικά διαλύματα του νατρίου. Από το διάγραμμα φάσεων στην εικόνα 2.1 φαίνεται ότι ο βαιμίτης είναι η σταθερή φάση μεταξύ  $130^\circ\text{C}$  και  $300^\circ\text{C}$  σε πιέσεις μεγαλύτερες των  $2000 \text{ lb/in}^2$ .

### **2.2.3 Διάσπορο α-ΑΙΟΟΗ [4,11]**

Το διάσπορο κρυσταλλώνεται σε ορθορομβικό (+) σύστημα, οι παράμετροι της στοιχειώδους κρυσταλλικής κυψελίδας του είναι a: 440 Å, b: 9.42 Å, c: 2.84 Å. Έχει χρώμα λευκό ή γκριζόλευκο, σκληρότητα 6,5-7 MOHS, ειδικό βάρος 3,98-4,02, είναι λίγο διαλυτός στο HF και αδιάλυτος στα άλλα οξέα. Είναι ισόμορφος με το βαιμίτη ( $\gamma$ -ΑΙΟΟΗ) και έχει ίδια περίπου δομή με τον γκαιτίτη (FeOOH) και τον γκρουτίτη (MnOOH).

Έχει δύο βασικές διαφορές στη δομή του από το βαιμίτη.

i. Στο διάσπορο κάθε οξυγόνο συνδέεται μέσω ενός δεσμού υδρογόνου με ένα άλλο οξυγόνο. Στο βαιμίτη τα μισά οξυγόνα του δε συμμετέχουν σε δεσμούς υδρογόνου, ενώ από τα υπόλοιπα το κάθε ένα συνδέεται με δεσμό υδρογόνου με δύο οξυγόνα.

ii. Στο διάσπορο τα οξυγόνα βρίσκονται σε ένα στρώμα εξαγωνικής πυκνότατης στοίβαξης ενώ στο βαιμίτη βρίσκονται σε στρώμα κυβικής πυκνότατης στοίβαξης.

Η δεύτερη διαφορά οδηγεί τα δύο ορυκτά να δίνουν διαφορετικά προϊόντα όταν αφυδατωθούν. Το διάσπορο μετά από πύρωση στους 450°C χάνει το κρυσταλλικό του νερό και δίνει  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (εξαγωγικός), ενώ ο βαιμίτης δίνει  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Από το διάγραμμα φάσεων στην εικόνα 1 φαίνεται ότι το διάσπορο είναι σταθερό μεταξύ 275-300°C και 385-415°C για πιέσεις άνω των 2000 lb/in<sup>2</sup>.

### **2.2.4 Γκαιτίτης α –FeOOH [4,11]**

Ο γκαιτίτης κρυσταλλώνεται στο ορθορομβικό (-) σύστημα. Οι παράμετροι της στοιχειώδους κρυσταλλικής κυψελίδας είναι a: 4.59 b: 9.94 c: 3.02 Å. Έχει χρώμα καστανοκίτρινο έως κόκκινο, σκληρότητα 5-5,5 MOHS και πυκνότητα 4,3. Είναι διαλυτός στο HCl οξύ. Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως είναι ισόμορφος με το διάσπορο. Το προϊόν της αφυδάτωσης του είναι ο Αιματίτης ( $\alpha$  – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### **2.2.5 Αιματίτης α –Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[4,11]**

Ο αιματίτης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό (-) σύστημα. Οι παράμετροι του κρυσταλλικού του πλέγματος είναι a<sub>HEX</sub>: 5.0345Å c<sub>HEX</sub>: 13.749Å a<sub>RH</sub>: 5.130Å. Έχει

καστανέρυθρο χρώμα, σκληρότητα 5-6 MOHS και ειδικό βάρος 5,25. Είναι διαλυτός στο HCl οξύ.

### 2.2.6 Ανατάσης $\text{TiO}_2$ [4,11]

Ο ανάτασης κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό (-) σύστημα. Οι παράμετροι του κρυσταλλικού του πλέγματος είναι a: 3.78 Å c: 9.51 Å. Έχει χρώμα καστανοκίτρινο, σκληρότητα 5,5-6 MOHS και ειδικό βάρος 3,82-3,97. Είναι αδιάλυτος στα οξέα σύμφωνα με τους Deer, Howie and Zussman (4) ενώ αναφέρεται ότι είναι διαλυτός στο θειικό οξύ. Ο ανάτασης με πύρωση στους 642°C μετατρέπεται σε α-ανάταση και με περαιτέρω θέρμανση στους 915°C μετατρέπεται σε ρουτίλιο.

### 2.2.7 Ρουτίλιο $\text{TiO}_2$ [4,11]

Το ρουτίλιο κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό (+) σύστημα. Οι παράμετροι του κρυσταλλικού του πλέγματος είναι a: 4.59 Å c: 2,96 Å έχει χρώμα καστανοκόκκινο, σκληρότητα 6-6,5 MOHS και ειδικό βάρος 4,23-5,5. Είναι αδιάλυτο στα οξέα.

### 2.2.8 Καολινίτης $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]\text{OH}_8$ [4,11]

Ο καολινίτης κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές ή στο τρίκλινες (-) σύστημα. Οι παράμετροι του κρυσταλλικού του πλέγματος είναι a: 5.15 Å b: 8.95 Å c: 7.39 Å. Έχει χρώμα λευκό, σκληρότητα 2-2,5 MOHS και ειδικό βάρος 2,61-2,66. Είναι διαλυτός στο HCl οξύ.

### 2.2.9 Χαλαζίας $\text{SiO}_2$ [4,11]

Ο χαλαζίας κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό (+) σύστημα. Είναι άχρωμος, έχει σκληρότητα 7 MOHS και ειδικό βάρος 2,65.

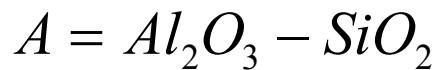
## 2.3 Χημική ανάλυση των βωξιτών

Η χημική σύσταση των βωξιτών ποικίλλει σε ευρέα όρια. Παρακάτω φαίνονται τα όρια που κυμαίνονται οι περιεκτικότητες των διαφόρων συστατικών.

Ένα μέσο δείγμα ελληνικού βωξίτη, σύμφωνα με τα στοιχεία από το διαδικτυακό τόπο της εταιρίας Αλουμίνιο της Ελλάδος, περιέχει ([www.alhellas.gr](http://www.alhellas.gr)):

- 50 – 60% οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνια) ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- 18 – 25% οξείδιο του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- 2 – 4% οξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ )
- 2 – 4% οξείδιο του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ )
- 1 – 3% ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ )
- 6 – 10% νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ )

Μεγάλη σημασία για την κατεργασία του Βωξίτη με τη μέθοδο Bayer έχει η περιεκτικότητα του σε  $\text{SiO}_2$  και σε  $\text{CaCO}_3$ , γιατί κατά την εκχύλιση το  $\text{SiO}_2$  και το  $\text{CaCO}_3$  οδηγούν σε απώλειες καυστικού νατρίου και αλουμίνιας καθώς και μείωση της ποιότητας της αλουμίνιας. Για το λόγο αυτό ένας βωξίτης θεωρείται ότι μπορεί να εκχυλιστεί με τη μέθοδο Bayer εάν περιέχει μέχρι 5%  $\text{SiO}_2$  και όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό ασβεστίτη. Στην πράξη για τον καθορισμό της ποιότητας του μεταλλεύματος χρησιμοποιείται η διαφορά η οποία ονομάζεται "διαλυτή Αλουμίνια".



Οσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της διαφοράς αυτής τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το μετάλλευμα.

## 2.4 Γένεση βωξιτών [1,19]

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού των κοιτασμάτων βωξιτών διακρίνονται τρείς κύριοι τύποι βωξιτών:

- i. Λατεριτικοί βωξίτες
- ii. Καρστικοί βωξίτες
- iii. Ιζηματογενείς βωξίτες

Οι λατεριτικοί βωξίτες προκύπτουν από τη χημική αποσάθρωση αργιλοπυριτικών πετρωμάτων που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο. Επομένως εξαιρούνται τα υπερβασικά πετρώματα τα οποία κάτω από παρόμοιες συνθήκες δίδουν Ni-Λατερίτες και Fe-Λατερίτες.

Οι συνθήκες που αναφέρονται ότι ευνοούν το σχηματισμό των βωξιτών είναι οι εξής: Τα αρχικά πετρώματα περιέχουν ορυκτά του αργιλίου, η διαπερατότητα τους επιτρέπει την απομάκρυνση του Si διαμέσου του εδαφικού νερού, τόσο κατακόρυφα όσο και πλαγιώς. Το ευνοϊκότερο κλίμα είναι τροπικό-υποτροπικό με σημαντικά ποσοστά βροχόπτωσης για να επιτυγχάνεται ο σωστός συνδυασμός Eh-pH και με εναλλαγές υγρών-ξηρών περιόδων. Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής να είναι ήπιο ώστε να επιτρέπει την αργή διήθηση του νερού στο έδαφος. Ο ρυθμός της χημικής αποσάθρωσης να είναι υψηλότερος από το ρυθμό της διάβρωσης ώστε να συσσωρεύονται τα προϊόντα της αποσάθρωσης. Τέλος απαιτείται μακρά περίοδος τεκτονικής σταθερότητας και ύπαρξη βλάστησης.

Τα πετρώματα από τα οποία έχουν προέλθει οι λατεριτικοί βωξίτες περιλαμβάνουν γρανίτες, νεφελινικούς συηνίτες, ανορθοσίτες, φωνόλιθους, βασάλτες, ανδεσίτες, δολερίτες, γάββρους, κερατίτες, σχιστολίθους, καιολινιτικές άμμους και αργιλικούς σχιστόλιθους. Σημαντικότερος παράγοντας είναι η ένταση και η διάρκεια της βωξιτογένεσης και όχι η περιεκτικότητα σε Al του αρχικού πετρώματος.

Ο μετασχηματισμός του αρχικού πετρώματος σε λατεριτικό βωξίτη περιλαμβάνει τρία επί μέρους στάδια:

- i. Διάσπαση των αρχικών αργιλοπυριτικών ορυκτών που περιλαμβάνει μετακίνηση των αλκαλίων και μέρους του πυριτίου και συγκέντρωση ορυκτών του αργιλίου.
- ii. Περαιτέρω απομάκρυνση του Si και συγκέντρωση του Al με τη μορφή του βαιμίτη και του γκιψίτη.
- iii. Συμπλήρωση της αρχικής σύστασης με απόθεση ανθρακικών, θειούχων και άλλων ορυκτών.

Οι καρστικοί βωξίτες απαντούν σε κενά καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων, τα οποία πληρώνονται με υλικό που έχει υποστεί βωξιτογένεση και έχει μεταφερθεί εκεί με τη βοήθεια του νερού. Έχουν ακανόνιστη μορφή (συνήθως θύλακες, φακοί ή πολύπλοκες συμφύσεις). Η κατώτερη επιφάνεια τους εφάπτεται του ασβεστολιθικού πετρώματος και αντικατοπτρίζει τις ανωμαλίες του, ενώ η ανώτερη μπορεί να είναι ομαλή ή να εξελίσσεται σε εδαφικό ορίζοντα.

Το υλικό που γεμίζει τα καρστικά έγκοιλα προέρχεται από λατεριτικούς μανδύες γειτονικών πετρωμάτων. Η εμφάνιση του βωξίτη δεν προκύπτει μόνο από την απλή καθίζηση της αργιλοπλούσιας ιλύος στην επιφάνεια των καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων. Είναι πιθανό ότι το χημικό περιβάλλον των ασβεστόλιθων στην επιφάνεια της γης να παίζει σημαντικό ρόλο τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την απόθεση αυτής της ιλύος. Απόδειξη για μεταβολές μετά την απόθεση προέρχονται από μία σκούρα κόκκινη αργιλική ταινία στην επαφή μεταξύ του βωξίτη και της επιφανείας του καρστικού εγκοίλου.

Οι ιζηματογενείς βωξίτες είναι λιγότερο συνηθισμένοι και εμφανίζονται με τη μορφή στρωματοειδών συγκεντρώσεων σε ιζηματογενείς ακολουθίες. Αποτελούνται από θραύσματα άλλων λατεριτικών στρωμάτων που διαβρώθηκαν και μεταφέρθηκαν σε νέες θέσεις.

## 2.5 Τύποι βωξιτικών κοιτασμάτων [19]

Ένας άλλος διαχωρισμός που γίνεται στους βωξίτες πέρα από τον τρόπο σχηματισμού τους είναι η μορφή των κοιτασμάτων που προκύπτει από τη βωξιτογέννηση. Έτσι τα είδη των βωξιτικών κοιτασμάτων είναι:

a) Καλύμματα κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της γης. Είναι οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια κοιτάσματα που καλύπτονται από μικρό πάχος υπερκείμενων υλικών. Τα κοιτάσματα αυτά μπορεί να εκτείνονται οριζόντια για πολλά χιλιόμετρα, ενώ το πάχος τους μπορεί να κυμαίνεται από ένα μέτρο έως 20 μέτρα (4-6 μέτρα τα πιο κοινά). Σε ορισμένες περιπτώσεις η επιφάνεια στην οποία έχει σχηματιστεί ο βωξίτης έχει διαβρωθεί με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση των κοιτασμάτων.

β) Θύλακες και ακανόνιστα σώματα (pocket deposits) κυρίως σε καρστικά έγκοιλα, και μερικές φορές σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα ή σε αργίλους. Το πάχος τους κυμαίνεται από λιγότερο από ένα μέτρο έως περισσότερο από 30 μέτρα. Μπορεί να είναι είτε μεμονωμένα σώματα είτε πολλά συνενωμένα, αφού τα καρστικά έγκοιλα σε πολλές περιπτώσεις συννεφούνται.

γ) Στρώματα ή Φακοί σε ιζηματογενείς ή ηφαιστειογενείς ακολουθίες. Το χαρακτηριστικό αυτών των κοιτασμάτων, είναι ότι νεωτέρα ιζήματα (συνήθως ασβεστόλιθοι) ή ηφαιστειακά πετρώματα υπέρκεινται των βωξιτών. Λόγω του ενταφιασμού είναι συνήθως πιο συμπαγή από τα προηγούμενα.

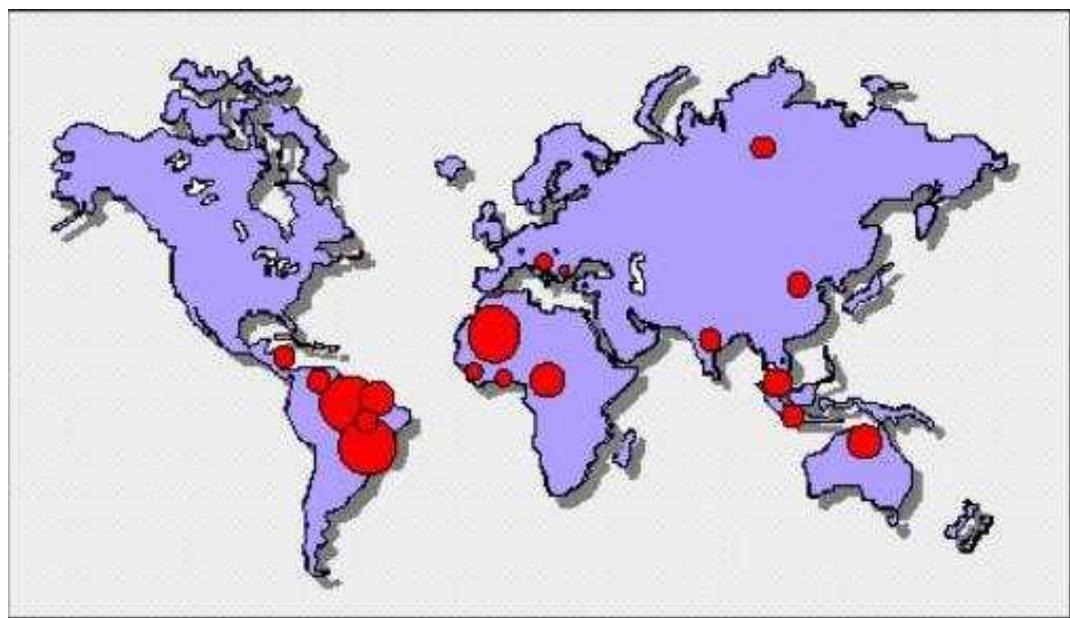
δ) Κοιτάσματα που προκύπτουν από διάβρωση άλλων κοιτασμάτων βωξίτη (detrital deposits). Τα κοιτάσματα αυτά προκύπτουν από συσσώρευση βωξιτικού υλικού που διαβρώθηκε από άλλες θέσεις.

## 2.6 Κοιτάσματα Βωξίτη ανά τον κόσμο [19]

Μεγάλα κοιτάσματα λατεριτικών βωξιτών βρίσκονται στην Αυστραλία, που είναι η πρώτη βωξιτοπαραγωγός χώρα στον κόσμο, τη Γουινέα, στην οποία βρίσκονται τα μεγαλύτερα και πλουσιότερα γνωστά αποθέματα, την Ινδία, τη Βραζιλία, τη Βόρειο Ιρλανδία και τις ΗΠΑ.

Οι καρστικοί βωξίτες είναι συνηθισμένοι στις χώρες της Μεσογείου, όπως η Γαλλία, η Ισπανία, η πρώην Γιουγκοσλαβία, η Ελλάδα και η Τουρκία καθώς και στην Ουγγαρία και τη Ρουμανία. Επίσης υπάρχουν σε ΗΠΑ, Ρωσία, Τζαμαϊκα, Αφρική, Ινδία και Ινδονησία.

Στη συνέχεια παρατίθενται παγκόσμιος χάρτης των αποθεμάτων του βωξίτη καθώς και ένας πίνακας με τα αποθέματα βωξίτη ανά χώρα.



Εικόνα2.2 :Παγκόσμια κατανομή βωξίτη

Πίνακας 2.2. Παγκόσμια αποθέματα βωξίτη. 1: αποθέματα των οποίων η εξόρυξη είναι οικονομικά συμφέρουσα, 2: αποθέματα των οποίων τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ικανοποιούν τις απαιτήσεις εξόρυξης και εκμετάλλευσης [6].

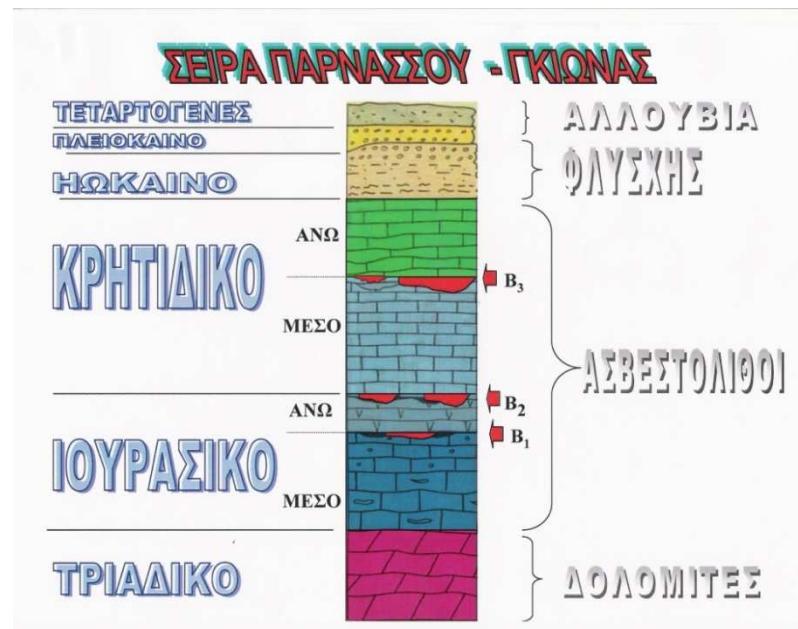
ΧΩΡΑ	ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ,1 ΜΤ	ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ,2 ΜΤ	% ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ
Αυστραλία	5800000	7900000	23.2
Βενεζουέλα	320000	350000	1.28
Βραζιλία	1900000	2500000	7.6
Γουιάνα	700000	900000	2.8
Γουινέα	7400000	8600000	29.6
Ελλάδα	600000	650000	2.4
Η.Π.Α.	20000	40000	0.08
Ινδία	770000	1400000	3.08
Καζακστάν	350000	360000	1.4
Κίνα	700000	2300000	2.8
Ρωσία	200000	250000	0.8
Σουρινάμ	580000	600000	2.32
Τζαμάικα	2000000	2500000	8.0
Άλλες χώρες	3400000	4000000	13.6
Σύνολο	25000000	32000000	100

## 2.7 Κοιτάσματα και Παραγωγή Βωξίτη στην Ελλάδα [9,19]

Στην Ελλάδα απαντούν καρστικοί βωξίτες στις ζώνες Παρνασσού-Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας μέσα σε ασβεστόλιθους. Βωξιτικές εμφανίσεις χωρίς οικονομική σημασία απαντούν στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως. Στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας διακρίνονται τρείς βωξιτικοί ορίζοντες όπως φαίνεται και στην εικόνα (2.3). Ο πιο σημαντικός ορίζοντας από άποψη αποθεμάτων είναι ο τρίτος. Τα κοιτάσματα της ζώνης αυτής βρίσκονται στο ορεινό σύμπλεγμα Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνα-Οίτης.

Στη ζώνη της Ανατολικής Ελλάδος απαντούν δύο ορίζοντες βωξιτών. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τα κοιτάσματα σε Καλλίδρομο, Λοκρίδα, Δομοκό, ΝΑ. Θεσσαλία, και Μάνδρα-Ελευσίνα.

Στη συνέχεια ακολουθούν εικόνες με την τομή της σειράς Παρνασσού-Γκιώνας και Χάρτης της Ελλάδος που περιέχει τα κοιτάσματα και τις εμφανίσεις βωξίτη.



Εικόνα 2.3 : Σειρά Παρνασσού-Γκιώνας [9]



Εικόνα 2.4 : Βωξιτικά κοιτάσματα στην Ελλάδα (Φωτογραφικό αρχείο εταιρείας Δελφοί-Δίστομο

A.M.E.)

Εδώ θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε για τη πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής προέρχεται από εκμετάλλευση του τρίτου βωξιτικού ορίζοντα της σειράς Παρνασσού-Γκιώνας.

Η Ελλάδα αποτελεί σημαντική παραγωγό χώρα στο τομέα της παγκόσμιας εξόρυξης βωξίτη και βρίσκεται στη πρώτη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ευρώπη το 2007 κάλυψε σε ποσοστό το 1,8% της παγκόσμιας παραγωγής εκ του οποίου η ελληνική παραγωγή άγγιξε το ποσοστό του 59,1%.

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με την παγκόσμια παραγωγή βωξίτη και γράφημα της κατανομής της παραγωγής βωξίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2007.



Διάγραμμα 2.1: Παραγωγή βωξίτη στην Ευρώπη  
(<http://www.bgs.ac.uk/mineralsUk/commodity/europe/home.html>)

Πίνακας 2.3 : Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη στα έτη 2007-2008  
 (<http://en.wikipedia.org/wiki/Bauxite>, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2009)

ΧΩΡΑ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (•1000 ΤΟΝΝΟΥΣ)	
	2007	2008
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	62,4	63
ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ	5,9	5,9
ΒΙΕΤΝΑΜ	30	30
ΒΡΑΖΙΛΙΑ	24,8	25
ΓΟΥΙΑΝΑ	1,6	1,6
ΓΟΥΙΝΕΑ	18	18
ΕΛΛΑΔΑ	2,22	2,2
Η.Π.Α	NA	NA
ΙΝΔΙΑ	19,2	20
ΚАЗΑΚΣΤΑΝ	4,8	4,8
ΚΙΝΑ	30	32
ΡΩΣΙΑ	6,4	6,4
ΣΟΥΡΙΝΑΜ	4,9	4,5
ΤΖΑΜΑΙΚΑ	14,6	15
ΆΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ	7,15	6,8
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΝΟΛΟ	202	205

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Ο βωξίτης αποτελεί πρώτη ύλη για την αλουμίνια και το αλουμίνιο. Στον ελλαδικό χώρο δραστηριοποιούνται τρείς εταιρίες στην εξόρυξη του βωξίτη.

Οι οποίες είναι οι:

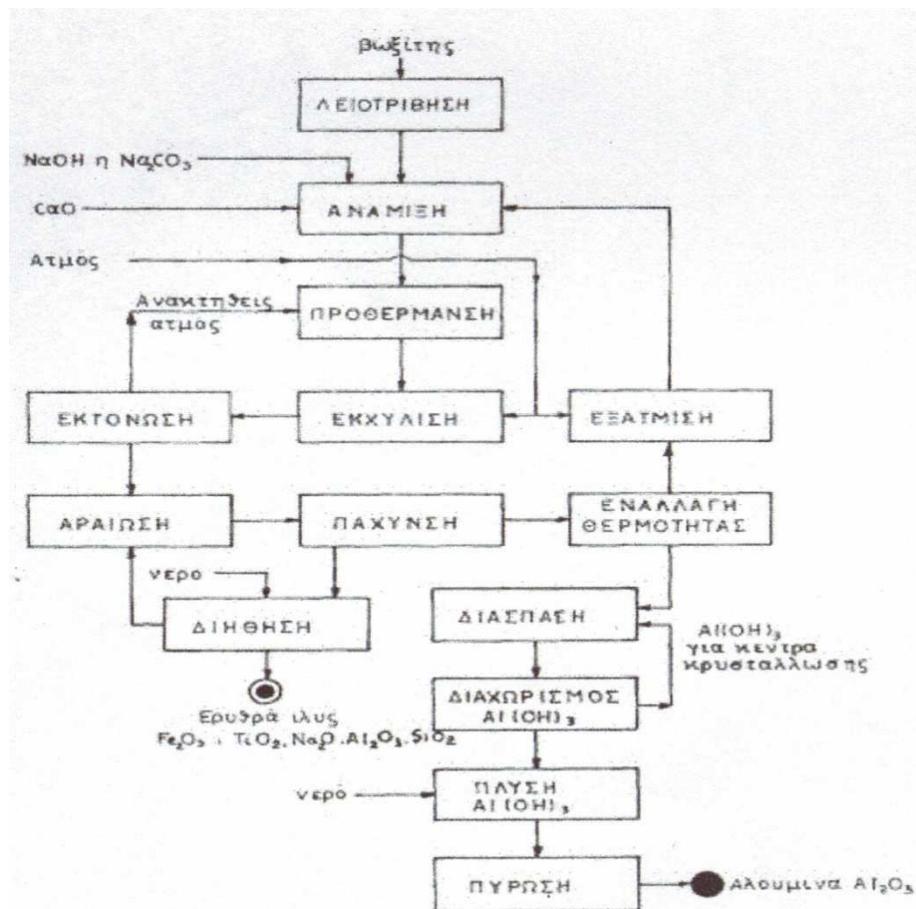
- Δελφοί-Δίστομο Α.Μ.Ε
- S&B Βιομηχανικά Ορυκτά
- ELMIN

Η εξόρυξη του βωξίτη σήμερα γίνεται με υπόγεια εκμετάλλευση, ακολουθώντας την μέθοδο των θαλάμων και στήλων.

Υστερα από την εξόρυξη το μετάλλευμα καταλήγει στον χώρο της εταιρίας Αλουμίνιο της Ελλάδος, όπου θα υποστεί κατάλληλη επεξεργασία για την παραγωγή αλουμίνιας. Προεργασία του μεταλλεύματος αποτελεί ο εμπλουτισμός του με την μέθοδο βαρέων διαμέσων. Ο εμπλουτισμός γίνεται για να αφαιρεθεί από το μετάλλευμα όσο το δυνατόν περισσότερος ασβεστίτης γίνεται, διότι όπως θα δούμε στην συνέχεια αποτελεί πρόβλημα λόγω του ότι μειώνει την τελική ποιότητα του προϊόντος.

### **3.2 Εκχύλιση Βωξίτη με την μέθοδο Bayer [11].**

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την μέθοδο Bayer φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 3.1 : Διάγραμμα ροής για την παραγωγή αλουμίνιας από βωξίτη(μέθοδος Bayer) [11]

Το παραπάνω διάγραμμα ροής περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

### 3.2.1 Θραύση του βωξίτη [11]

Ο βωξίτης θραύσεται και ακολούθως λειοτριβείται έτσι ώστε το 60% να είναι μικρότερο από 63 μμ (-240 MESH). Η ξηρά λειοτρίβηση έχει αντικατασταθεί από την υγρή, για να αποφευχθεί προκαταρτική ξήρανση και πύρωση του βωξίτη που θα οδηγούσε, σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία με τη λειοτρίβηση υπερβολικού ποσοστού ψιλομερών κλασμάτων, γιατί η ερυθρά ίλιν που προκύπτει μετά την εκχύλιση καθιζάνει πολύ δύσκολα.

### 3.2.2 Ανάμιξη – Εκχύλιση [11]

Μετά την παραπάνω προκατεργασία του βωξίτη, αυτός αναμειγνύεται με οξείδιο του ασβεστίου και το αλκαλικό διάλυμα του νατρίου που προέρχεται από τις συσκευές εξατμίσεως στο οποίο έχουν συμπληρωθεί οι απώλειες σε καυστικό νάτριο.

Το μίγμα μεταφέρεται από τα δοχεία ανάμιξης στα αυτόκλειστα όπου γίνεται η εκχύλιση. Εκεί παραμένει σε θερμοκρασία 150-258°C και υπό πίεση 25-40 atm από 4 έως 8 ώρες, ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος. Η θέρμανση των αυτοκλείστων γίνεται με ατμό. Ο πολφός που εξέρχεται από το τελευταίο αυτόκλειστο οδηγείται σε μία σειρά εκτονωτών, όπου η πίεση υποβιβάζεται από τις 25-40 atm σε 1,5 atm.

### **3.2.3 Αραίωση [11]**

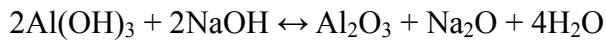
Μετά την κατεργασία στα αυτόκλειστα ο πολφός (αργιλικό διάλυμα και ερυθρά ιλύς) μεταφέρεται στα δοχεία αραίωσης, όπου αναμιγνύεται με τα υγρά που προκύπτουν από την πλύση της ερυθράς ιλύος. Η θερμοκρασία τους ρυθμίζεται μεταξύ 95°C και 105°C. Η περιεκτικότητα σε Na<sub>2</sub>O των διαλυμάτων που προκύπτουν είναι 100-160 g/l. Ο σκοπός της αραίωσης είναι να σταθεροποιηθούν τα αργιλικά διαλύματα ώστε να μη γίνει πρόωρη διάσπαση.

### **3.2.4 Διαχωρισμός της ερυθράς ιλύος - Καταβύθιση – Διήθηση [11].**

Ο πολφός μετά την προσβολή και την αραίωση περιέχει όλες τις αδιάλυτες ενώσεις του βωξίτη. Η περιεκτικότητα του σε στερεά είναι συνήθως 50-65 g/l. Το μεγαλύτερο μέρος των στερεών της ιλύος αποτελείται από πολύ λεπτομερή κοκκομετρικά κλάσματα, των οποίων οι κόκκοι είναι μεταξύ 0,1 και 20 μ. Το μεγάλο ποσοστό "ψιλών" που περιέχει η ερυθρά ιλύς δυσχεραίνει σημαντικά την καταβύθιση της στους παχυντές. Για να αυξηθεί η ταχύτητα καθιζήσεως της ερυθράς ιλύος μεταφέρεται από τον τελευταίο πυκνωτή σε σειρά πυκνωτών όπου πλένεται με νερό, και στη συνέχεια διηθείται. Το αργιλικό διάλυμα που προκύπτει περιέχει σε αιώρηση μια μικρή ποσότητα από την ερυθρά ιλύ 20-100 mg/l. Για το διαχωρισμό αυτών των αιωρημάτων γίνεται διήθηση σε φίλτρα σε θερμοκρασία 90-95 °C για να αποφευχθεί η πρόωρη διάσπαση του αργιλικού διαλύματος.

### **3.2.5 Διάσπαση του αργιλικού διαλύματος [11]**

Το καθαρό αργιλικό διάλυμα του νατρίου (Na<sub>2</sub>O , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) μετά την διήθηση ψύχεται μέχρι θερμοκρασίας 60°C. Η διάσπαση γίνεται σε σειρά δοχείων διασπάσεως και ακολουθεί την αντίδραση:



Οι συνθήκες που γίνεται η διάσπαση είναι: θερμοκρασία 40-65 °C και συγκέντρωση σε Na<sub>2</sub>O cTg 100 έως 150 g/l. Το 60% του Al(OH)<sub>3</sub> που παράγεται προστίθεται στους διασπαστές και χρησιμεύει για τη δημιουργία ενεργών πυρήνων κρυσταλλώσεων οι οποίοι επιταχύνουν τη διάσπαση. Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντίδραση της διάσπασης είναι : η επικρατούσα θερμοκρασία, η συγκέντρωση σε Na<sub>2</sub>O cTg και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ο λόγος Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> η ποσότητα και η κοκκομετρική σύσταση του προστιθεμένου Al(OH)<sub>3</sub> και η ταχύτητα ανάδευσης. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία διαφόρων οργανικών ενώσεων επιβραδύνει σημαντικά τη διάσπαση.

### 3.2.6 Διήθηση [11]

Μετά τη διάσπαση το αργιλικό διάλυμα μεταφέρεται σε περιστροφικά φίλτρα όπου διηθείται σε κενό. Το 60% του παραγομένου Al(OH)<sub>3</sub> όπως αναφέραμε προηγουμένως προστίθεται στους διασπαστές, το υπόλοιπο μεταφέρεται σε δεύτερη σειρά φίλτρων όπου πλένεται καλά με θερμό νερό. Το Al(OH)<sub>3</sub> που παράγεται, μεταφέρεται στην κάμινο πύρωσης.

### 3.2.7 Πύρωση [11]

Το Al(OH)<sub>3</sub> πυρώνεται σε θερμοκρασία 1200 °C και προκύπτει η α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Στους 550°C η διάσπαση του υδροξειδίου είναι πλήρης, αλλά προκύπτει η μορφή της γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> η οποία είναι σχετικά υγροσκοπική.

### 3.2.8 Συμπύκνωση του αργιλικού διαλύματος [11]

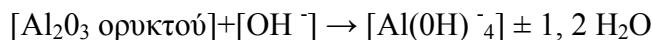
Το αραιό αργιλικό διάλυμα που εξέρχεται από τους παχυντές προθερμαίνεται μέχρι 80°C και ακολούθως μεταφέρεται στο τμήμα της εξάτμισης για συμπύκνωση. Η συμπύκνωση του διαλύματος γίνεται από 110 g/l Na<sub>2</sub>O σε 250 g/l. Με τη συμπύκνωση του αργιλικού διαλύματος αποβάλλεται λεβητόλιθος λόγω σχηματισμού αδιάλυτων πυριτικών ενώσεων. Το συμπυκνωμένο αργιλικό διάλυμα αναμιγνύεται με βωξίτη και τροφοδοτείται σε αυτόκλειστα.

### 3.3 Αντιδράσεις κατά την διαδικασία της εκχύλισης

#### 3.3.1 Αντιδράσεις διαλυτοποίησης των ορυκτών του αργιλίου [11].

Όπως ήδη αναφέραμε οι ενώσεις του αργιλίου εμφανίζονται στο βωξίτη σε τρεις διαφορετικές ορυκτολογικές μορφές. Τον γκιψίτη  $\text{Al(OH)}_3$ , τον βαιμίτη  $\gamma\text{-AlOOH}$  και το διάσπορο  $\alpha\text{-AlOOH}$ . Η κάθε μία από τις παραπάνω μορφές απαιτεί και διαφορετικές συνθήκες εκχύλισης από ιδιαίτερα χαμηλές όπως στην περίπτωση του γυψίτη έως αρκετά έντονες όπως στην περίπτωση του διάσπορου.

Τα ορυκτά του αργιλίου διαλυτοποιούνται σύμφωνα με την αντίδραση:



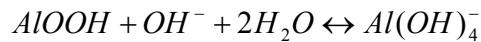
##### *α) Διαλυτοποίηση του γκιψίτη*

Η αντίδραση διαλυτοποίησης του γκιψίτη περιγράφεται από την εξίσωση:



##### *β) Διαλυτοποίηση του βαιμίτη*

Η αντίδραση διαλυτοποίησης του βαιμίτη περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:



##### *γ) Διαλυτοποίηση του διάσπορου*

Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαλυτοποίηση του διάσπορου είναι ίδιες με εκείνες του βοεμίτη, όμως η ενέργεια ενεργοποίησης που απαιτείται για τη χημική αντίδραση είναι, τόσο υψηλή, ώστε για να επιτευχθούν ικανοποιητικές ταχύτητες διάλυσης απαιτείται θερμοκρασία άνω των  $240^\circ\text{C}$ , συγκέντρωση καυστικού νατρίου άνω των  $200 \text{ g/l Na}_2\text{O cTg}$  και παρουσία οξειδίου του ασβεστίου.

#### 3.3.2 Οι αντιδράσεις των ενώσεων του πυριτίου [11]

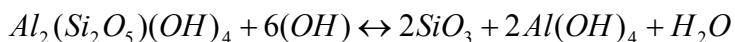
Το οξείδιο του πυριτίου εμφανίζεται στο βωξίτη σε δύο κυρίως ορυκτολογικές φάσεις, του καολινίτη ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και του χαλαζία ( $\text{SiO}_2$ ).

Ο καολινίτης διαλύεται σε χαμηλές θερμοκρασίες 70-140°C και δίνει αργιλικά διαλύματα πλούσια σε SiO<sub>2</sub> (μερικά g/l). Η ισορροπία όμως του SiO<sub>2</sub> σ' αυτά τα διαλύματα είναι ασταθής με αποτέλεσμα να έχουμε καταβύθιση αδιάλυτων πυριτικών ενώσεων. Επομένως το φαινόμενο της αποπυριτικοποίησης περιλαμβάνει δύο στάδια.

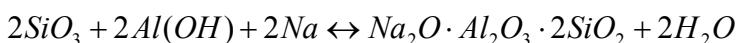
1. Τη διάλυση του ενεργού SiO<sub>2</sub>
2. Την καταβύθιση αδιάλυτων πυριτικών ενώσεων.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι ακόλουθες:

α) Διαλυτοποίηση



β) Καταβύθιση



Η αποπυριτικοποίηση του διαλύματος της αλουμίνας είναι ένα φαινόμενο αυτοκαταλυόμενο.

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα αποπυριτικοποίησης, παρόλο που αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει και αύξηση της διαλυτότητας στην ισορροπία του οξειδίου του πυριτίου. Η προσθήκη διαφόρων αλάτων όπως Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, NaCl, NaBr κλπ. αναφέρεται ότι έχει ευεργετική επίδραση στην ταχύτητα αποπυριτικοποίησης [2].

### 3.3.3 Χημικές αντιδράσεις του CaO [11]

Το οξείδιο του CaO που προστίθεται στο βωξίτη πριν την προσβολή στα αυτόκλειστα, έχει σημαντική επίδραση στις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα. Επί πλέον πρέπει να τονίσουμε ότι μόνο με την προσθήκη CaO έγινε δυνατή η διαλυτοποίηση των διασπορικών βωξιτών σε ικανοποιητικές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις καυστικού νατρίου. Στο κεφάλαιο αυτό όμως θα περιοριστούμε στις χημικές αντιδράσεις που συμμετέχει το CaO και θα αναπτύξουμε σε άλλο κεφάλαιο τις θεωρίες που έχουν διατυπωθεί για το ρόλο του στη διαλυτοποίηση του διάσπορου. Το CaO προστίθεται για τους ακόλουθους λόγους:

- i. Για τον έλεγχο του CO<sub>2</sub> στα αργιλικά διαλύματα [3]
- ii. Για τον έλεγχο των ακαθαρσιών (**π.χ.** P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, οργανικές ενώσεις)
- iii. Για τη μείωση των απωλειών σε Na<sub>2</sub>O
- iv. Για την αύξηση της ταχύτητας καθίζησης της ερυθράς ίλωσ
- v. Για την αύξηση της ταχύτητας διαλυτοποίησης της Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> υπό τη μορφή του διάσπορου

vi. Για τη μετατροπή του γκαιτίτη σε αιματίτη

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι [3,17]:

1.  $CaO + H_2O \leftrightarrow Ca(OH)_2$
2.  $Na_2CO_3 + 3Ca(OH)_2 \leftrightarrow NaOH + CaCO_3$
3.  $2NaAlO_2 + 3Ca(OH)_2 + 4H_2O \leftrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 2NaOH$
4.  $2Na_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 \leftrightarrow Ca_3(PO_4)_2 \downarrow + 6NaOH$
5.  $Na_2C_2O_4 + Ca(OH)_2 \leftrightarrow CaC_2O_4 \downarrow + 2NaOH$
6.  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Ca(OH)_2 \leftrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 2NaOH$
7.  $TiO_2 + Ca(OH)_2 \leftrightarrow CaTiO_3 \downarrow + H_2O$
8.  $Al_2O_3 + 3CaO + 6H_2O \leftrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O \downarrow$

Από τις παραπάνω αντιδράσεις παρατηρούμε ότι το CaO συμμετέχει σ' ένα σύνολο αντιδράσεων απ' όπου καθορίζεται, τόσο η απομάκρυνση των ακαθαρσιών, όσο και η αποδέσμευση Na<sub>2</sub>O από τις ενώσεις του πυριτίου. Επίσης από την (8) φαίνεται ότι το CaO μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## 3.4 Ιδιαιτερότητες των διασπορικών Βωξιτών

### 3.4.1 Εισαγωγή

Οι διασπορικοί βωξίτες παρουσιάζουν ορισμένες ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες των βωξιτών, με συνέπεια να έχουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά «κατά την εκχύλιση τους. Οι ιδιαιτερότητες αυτές είναι ότι έχουν:

- i. Μικρότερη εκχυλισμότητα
- ii. Μικρότερη διαλυτότητα στην ισορροπία
- iii. Μεγάλη σκληρότητα

### 3.4.2 Εκχυλισμότητα των διασπορικών βωξιτών [11].

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως για να εκχυλιστούν οι διασπορικοί βωξίτες απαιτούνται πολύ εντονότερες συνθήκες συγκέντρωσης σε Na<sub>2</sub>O cTg και θερμοκρασίας από εκείνες των αιματικών βωξιτών. Για να επιτευχθούν ικανοποιητικοί ρυθμοί εκχύλισης

από αρκετούς ερευνητές προτείνεται η προσθήκη 3-5% CaO και έτσι επιτυγχάνεται η διαλυτοποίηση του διασπορικού βωξίτη σε θερμοκρασίες 240-250°C.

### 3.4.3 Διαλυτότητα στην ισορροπία των διασπορικών βωξίτων[11].

Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα των διασπορικών βωξίτων είναι η χαμηλότερη διαλυτότητα στην ισορροπία που παρουσιάζουν σε σχέση με τους βαιμιτικούς βωξίτες. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος ο διασπορικός βωξίτης αναμιγνύεται με βαιμιτικό που έχει μεγαλύτερη διαλυτότητα και έτσι αυξάνει η περιεκτικότητα της διαλελυμένης αλουμίνιας στη μονάδα όγκου του αργιλικού διαλύματος.

### 3.4.4 Σκληρότητα των διασπορικών βωξίτων [11]

Η σκληρότητα του διάσπορου φτάνει μέχρι 7 MOHS με αποτέλεσμα και οι διασπορικοί βωξίτες να παρουσιάζουν μια αυξημένη σκληρότητα που οδηγεί στη γρήγορη φθορά των σωληνώσεων μεταφοράς και των λοιπών εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή με το βωξίτη. Αυτή η αυξημένη σκληρότητα μπορεί να αποτελεί ένα δυσμενή παράγοντα για τη χρησιμοποίηση για την ειχύλιση αντί βραστήρων εμβολικής ροής.

## 3.5 Προϊόντα

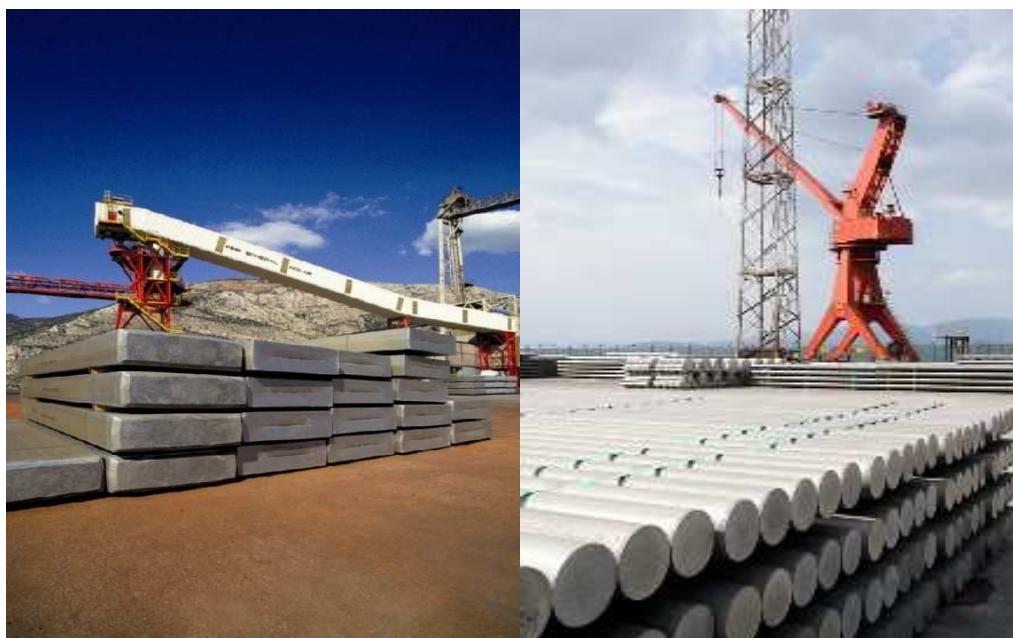
Το προϊόν της ειχύλισης του βωξίτη είναι η αλουμίνια ( $Al_2O_3$ ) και από επεξεργασία αυτής προκύπτει το πρωτόχυτο αλουμίνιο.

Το αλουμίνιο (Al) παράγεται από την αλουμίνια ( $Al_2O_3$ ) με την ηλεκτρολυτική μέθοδο. Αρχικά εισάγεται η αλουμίνια στο ηλεκτρολυτικό κελί, το οποίο αποτελείται από ένα στερεό χαλύβδινο εξωτερικό κέλυφος, που καλύπτεται εσωτερικά από πυρίμαχο υλικό και πάνω από αυτό τοποθετείται στρώμα από κωκ πετρελαίου που αποτελεί την κάθοδο της λεκάνης. Οι άνοδοι της λεκάνης κατασκευάζονται επίσης από κωκ πετρελαίου.

Η λεκάνη είναι γεμάτη από ηλεκτρολυτικό λουτρό, που είναι μίγμα αλουμίνιας και φθοριούχων προϊόντων. Η δίοδος του ηλεκτρικού ρεύματος αναπτύσσει θερμοκρασία 960°C, η οποία διατηρεί το λουτρό σε ρευστή κατάσταση. Οι λεκάνες είναι κλειστές και τα αέρια που παράγονται οδηγούνται σε κέντρα αντιρρύπανσης, όπου και κατακρατούνται σε ειδικά φύλτρα.

Η ηλεκτρόλυση περιλαμβάνει λεκάνες τοποθετημένες σε σειρές, οι οποίες διαρρέονται από συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης. Μέσα στην κάθε λεκάνη, η αλουμίνια διασπάται. Το οξυγόνο οδεύει στην άνοδο, η οποία τελικά καίγεται ενώ το αλουμίνιο εναποτίθεται στην κάθοδο δημιουργώντας ένα στρώμα ρευστού μετάλλου. Το ρευστό αλουμίνιο ανακτάται από της λεκάνες με κάδους αναρρόφησης και μεταφέρεται τελικά στο χυτήριο για τη δημιουργία κραμάτων, σε μορφή πλακών και κολονών. Με αυτήν την διαδικασία παράγεται το πρωτόχυτο αλουμίνιο ([www.alhellas.gr](http://www.alhellas.gr)).

Επισυνάπτονται φωτογραφίες πρωτόχυτου αλουμινίου.



Εικόνα 3.2 : Πλάκες και κολώνες πρωτόχυτου αλουμινίου  
([www.alhellas.gr](http://www.alhellas.gr)).

### 3.6 Χρήσεις των προϊόντων

Η παγκόσμια παραγωγή αλουμίνιας είναι περίπου 36 εκ. τόνοι. Οι μεγαλύτερες ποσότητες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλουμινίου. Μικρές ποσότητες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λειαντικών και μονωτικών υλών, πυρίμαχων υλικών, φαρμάκων και για την επεξεργασία του πόσιμου νερού. Τα απορρίμματα της διαδικασίας Bayer (ερυθρά ιλύς) χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ειδικών τσιμέντων.

Το πρωτόχυτο αλουμίνιο που παράγεται, αποτελεί την πρώτη ύλη των μεταποιητικών εταιρειών αλουμινίου, για την παραγωγή των γνωστών προϊόντων αλουμινίου με πολλαπλές χρήσεις και εφαρμογές. Όπως στην αεροναυπηγική, στην αυτοκι-

νητοβιομηχανία, στον τομέα των κατασκευών, στη ναυπηγική, στην βιομηχανία αθλητικών ειδών και σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται από αλουμίνιο λόγω του μικρού του βάρους και του χαμηλού κόστους, παρότι δεν έχει και τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.

### 3.7 Τιμή αλουμινίου

Η παρούσα τιμή του πρωτόχυτου αλουμινίου σύμφωνα με το Χρηματιστήριο Μετάλλων του Λονδίνου είναι 1407\$/MT ([www.metalprices.com](http://www.metalprices.com)). Η διακύμανση της τιμής του πρωτόχυτου αλουμινίου τα τελευταία 5 έτη παρουσιάζεται στο παρακάτω διαγράμμα.



Εικόνα 3.3 : Διάγραμμα τιμής αλουμινίου των τελευταίων 5 ετών.  
(<http://www.metalprices.com/>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

### 4.1 Θραύση [10,13]

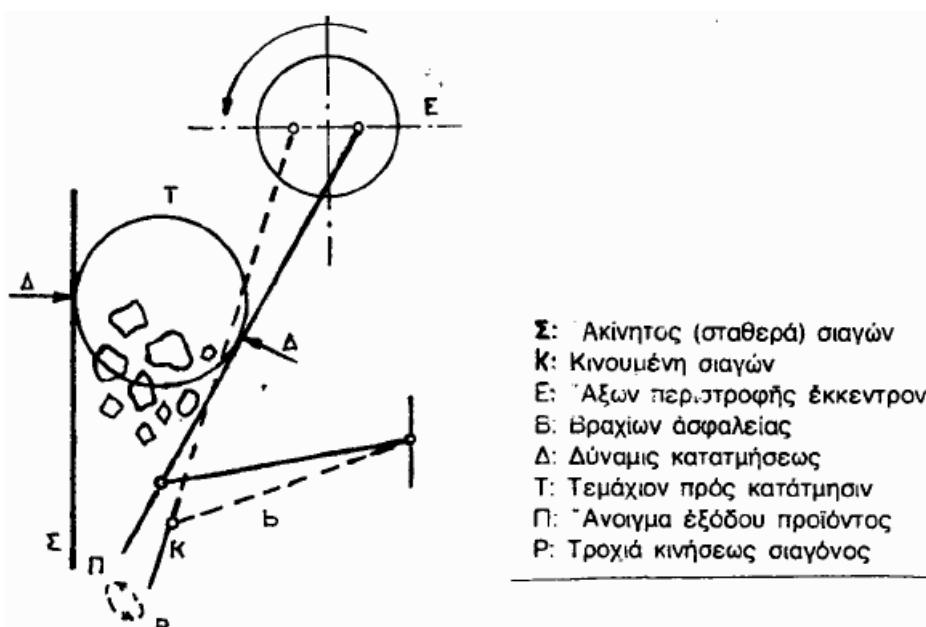
Η θραύση περιλαμβάνει τα στάδια της κατάτμησης των τεμαχίων από το αρχικό μέγεθος μέχρι περίπου 10mm έως 2mm. Σκοπός της πρωτογενούς θραύσης είναι η ελάττωση του μεγέθους του εξορυσσόμενου υλικού που μπορεί να περιέχει όγκους μέχρι και ένα μέτρο, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί με μεταφορικές ταινίες. Στα επόμενα στάδια η κατάτμηση εξυπηρετεί τις προδιαγραφές χρήσης του προϊόντος, τις απαιτήσεις της διαδικασίας που ενδεχομένως ακολουθεί και τις ανάγκες αποδέσμευσης του υλικού. Όταν πρόκειται για μετάλλευμα που προορίζεται να υποστεί μια διαδικασία για τον διαχωρισμό του χρήσιμου από το άχρηστο ορυκτό, θα πρέπει το μέγεθος να είναι τέτοιο ώστε να μην συνυπάρχουν το χρήσιμο με τα άχρηστα ορυκτά στον ίδιο κόκκο.

Για να σπάσουμε ένα σώμα πρέπει να καταβάλουμε δυνάμεις που να υπερβαίνουν τις δυνάμεις συνοχής του υλικού αυτού. Οι κυριότερες κατηγορίες δυνάμεων που εξασκούν οι μηχανές κατάτμησης είναι οι ακόλουθες:

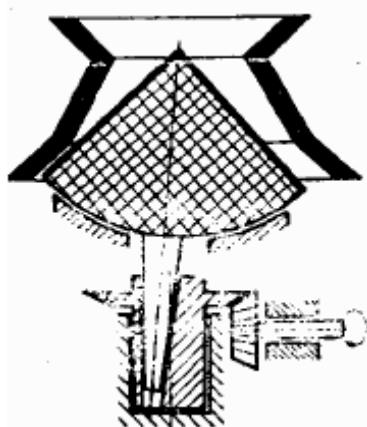
- *Θλίψη*: Είναι η συνηθέστερη μορφή δύναμης που χρησιμοποιείται στην κατάτμηση και εφαρμόζεται δια της συμπίεσης των σωμάτων μεταξύ δύο επιφανειών. Η πίεση εξασκείται από τη μια επιφάνεια ενώ η άλλη μένει ακίνητη. Οι κυριότεροι τύποι μηχανών κατάτμησης με θλίψη είναι οι σιαγονωτοί σπαστήρες, οι γυροσκοπικοί και οι κωνικοί σπαστήρες.
- *Κρούση*: είναι η απλούστερη δύναμη κατάτμησης και εξασκείται με την απότομη πρόσκρουση τεμαχίου επί ταχέως κινούμενης επιφάνειας ή αντιστρόφως, με αποτέλεσμα τον κατακερματισμό του τεμαχίου. Οι κυριότερες μηχανές κατάτμησης με κρούση είναι οι κρουστικοί περιστροφικοί σπαστήρες και εν μέρει οι σφυρόμυλοι, οι ραβδόμυλοι, οι σφαιρόμυλοι και οι μύλοι αυτογενούς λειοτρίβησης.
- *Τριβή*: είναι η δύναμη κατάτμησης που εφαρμόζεται όταν το υλικό βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων και αντιθέτως κινούμενων επιφανειών που δημιουργούν διατμητικές τάσεις μέσα στο σώμα και ολίσθηση σε εσωτερικές επιφάνειες του σώματος. Ο σφυρόμυλος θεωρείται ως η κυριότερη μηχανή κατάτμησης με τριβή. Άλλες τέτοιες μηχανές είναι οι σφαιρόμυλοι και οι ραβδόμυλοι.

- **Διάτμηση:** είναι κυρίως εφελκυστική δύναμη και έχει περιορισμένη εφαρμογή στην κατάτμηση και εν μέρει παρατηρείται στους σφυρόμυλους και τους οδοντωτούς κυλινδρόμυλους.

Οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για τις ανάγκες της θραύσης του υλικού ήταν ο σιαγονωτός σπαστήρας (Σχήμα 4.1) και έπειτα, για περεταίρω θραύση, ο κωνικός σπαστήρας (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.1: Σχηματική διάταξη σιαγονωτού σπαστήρας



Σχήμα 4.2: Σχηματική διάταξη κωνικού σπαστήρας

## 4.2 Υδροκυκλώνας

Ο υδροκυκλώνας διαχωρίζει τα στερεά σωματίδια κατά μέγεθος με βάση τη διαφορά της τερματικής ταχύτητας που αποκτούν κατά την καθίζησή τους μέσα σε νερό. Η τερματική ταχύτητα καθίζησης ενός σωματιδίου μέσα σε ένα υγρό εξαρτάται από την διάμετρο του σωματιδίου, αλλά και από την διαφορά πυκνότητας μεταξύ του σωματιδίου και του υγρού. Αντίθετα με την κοσκίνηση κάθε κλάσμα περιέχει ισομεγέθεις κόκκους μόνο όταν έχουν την ίδια πυκνότητα.

Μέσα στον υδροκυκλώνα τα σωματίδια κινούνται σε μια κυκλική τροχιά με γραμμική ταχύτητα εφαπτομενική της τροχιάς κίνησης. Ως αποτέλεσμα της κυκλικής κίνησης των σωματιδίων εξασκείται σε αυτά μια φυγόκεντρος δύναμη. Στα μεγαλύτερα σωματίδια με την μεγαλύτερη μάζα εξασκείται μεγαλύτερη φυγόκεντρος δύναμη και έτσι οδεύουν γρηγορότερα προς την περιφέρεια και με συνδυασμό μιας κάθετης δύναμης στην ταχύτητα τα μεγαλύτερη κλάσματα πάνε προς την απορροή. Υπάρχει μια ζώνη ισορροπίας όπου η ταχύτητα είναι μηδενική και τα σωματίδια που βρίσκονται μέσα σε αυτή, έχουν την ίδια πιθανότητα να πάνε στα ψιλά ή τα χονδρά. Αυτό είναι και το μέγεθος που διαχωρίζει ο υδροκυκλώνας.

## 4.3 Μαγνητικός διαχωρισμός [10]

Ο μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από τα στείρα μη μαγνητικά. Ο μαγνητικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται με έλξη των μαγνητικών τεμαχίων από το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη και συγχρόνως την πρακτικά ανεπηρέαστη διέλευση των μη μαγνητικών διαμέσου του πεδίου αυτού [11]. Τα υλικά διακρίνονται, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους σε ένα μαγνητικό πεδίο, στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Σιδηρομαγνητικά*: η δύναμη έλξης αυτών των υλικών από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη. Είναι πολύ επιδεκτικά στις ελκτικές δυνάμεις και πολλά από αυτά παραμένουν μαγνητισμένα, όταν απομακρύνονται από το μαγνητικό πεδίο. Εμπλουτίζονται εύκολα με μαγνητικούς διαχωριστές χαμηλής έντασης.
- *Παραμαγνητικά*: είναι υλικά που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Μπορούν να εμπλουτιστούν με μαγνητικούς διαχωριστές υψηλής έντασης.

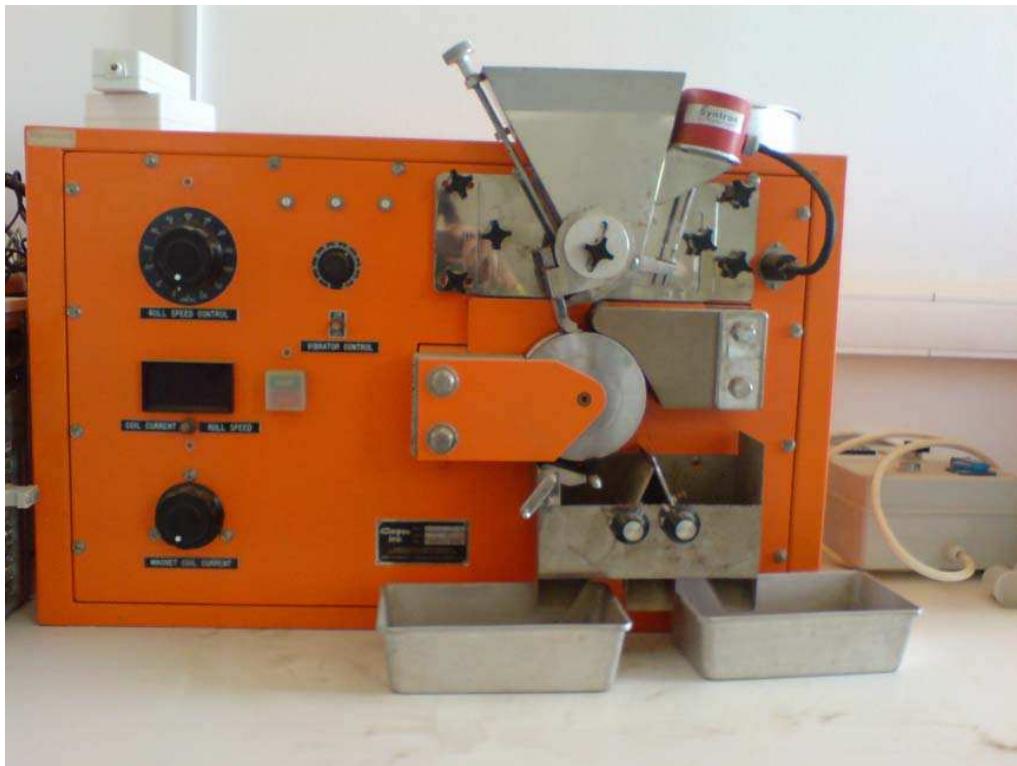
- **Διαμαγνητικά:** είναι υλικά που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί. Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι κατά κανόνα πολύ μικρές και πρακτικά δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό.

Με την μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού, αλλά και με τις υπόλοιπες μεθόδους εμπλουτισμού, δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός, με φυσικές διεργασίες, των ορυκτών που αποτελούν τον βωξίτη. Διότι οι κόκκοι στα βωξιτικά κοιτάσματα αποτελούν συσσωματώματα λεπτομερών ορυκτών, όπως φαίνεται από την μελέτη των στιλπνών τομών στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Έτσι ο διαχωρισμός έχει ως αποτέλεσμα τα βωξιτικά και ασβεστικά συσσωματώματα. Ως βωξιτικά θεωρούνται τα συσσωματώματα που περιέχουν μεγάλα ποσοστά σιδηρούχων και αργιλικών ορυκτών, τα οποία και παρουσιάζουν παραμαγνητική συμπεριφορά. Ενώ σαν ασβεστιτικά θεωρούνται τα συσσωματώματα που έχουν μεγάλα ποσοστά ασβεστίτη και παρουσιάζουν διαμαγνητική συμπεριφορά.

Οι συσκευές στις οποίες πραγματοποιήθηκε ο μαγνητικός διαχωρισμός στην παρούσα εργασία είναι ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm-Roll) (Εικόνα 4.1) και ο υψηλής έντασης ξηρός επαγωγικός μαγνητικός διαχωριστής (High Inenitity In-duced Roll Magnetic Separator MIH (13) της Carpcō) (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.1: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής του εργαστηρίου εμπλουτισμού μεταλλευμάτων



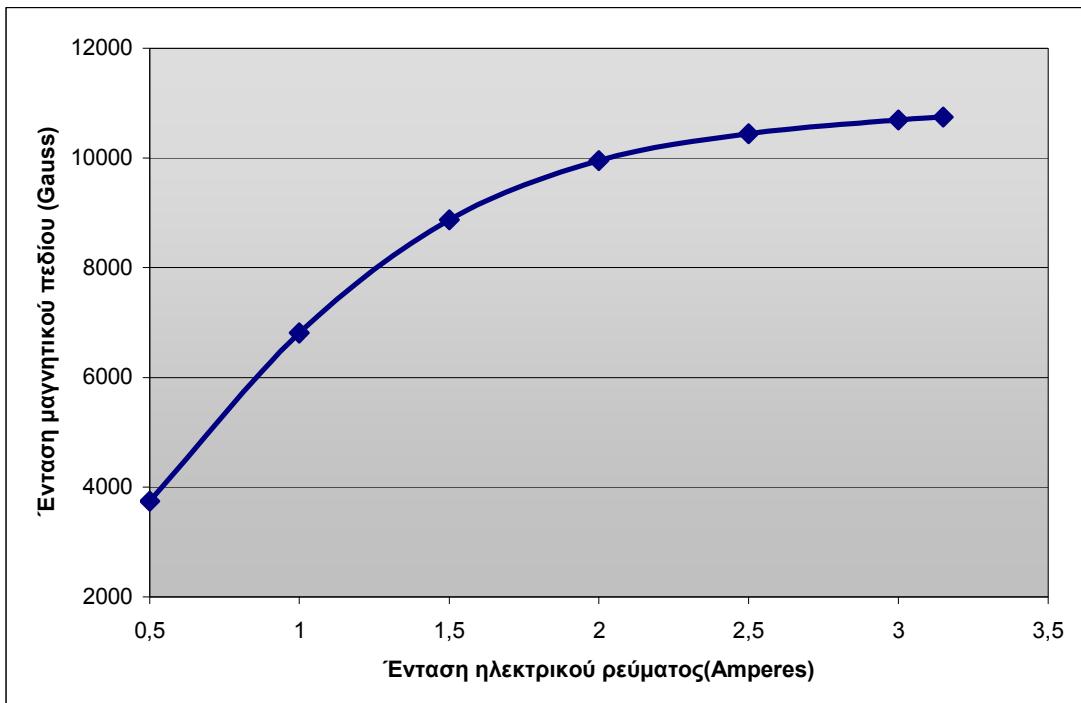
Εικόνα 4.2: Επαγωγικός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης του εργαστηρίου εμπλουτισμού μεταλλευμάτων

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου καθορίζει την καθαρότητα του συμπυκνώματος ή την ανάκτηση σε μέταλλο. Το ποσοστό του μαγνητικού συστατικού καθορίζει τη μαγνητική συμπεριφορά του ενδιάμεσου κλάσματος. Η κρίσιμη συχνότητα περιστροφής μαγνητικού τυμπάνου δίνεται από τον τύπο (4.1):

$$N_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R}}$$

όπου  $N_c$ : κρίσιμη ταχύτητα (rpm), g: επιτάχυνση της βαρύτητας ( $m/s^2$ ), R: ακτίνα τυμπάνου (m).

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στον επαγωγικό μαγνήτη σε σχέση με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαπερνά τη πηγή φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.1: Σχέση έντασης μαγνητικού πεδίου με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

#### 4.4 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός

Με τον όρο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χαρακτηρίζεται μία σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη διαφορά των πυκνοτήτων των προς διαχωρισμό ορυκτών. Το αποτέλεσμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού εξαρτάται επίσης από το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχιδίων.

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι διαχωρίζουν ορυκτά με βάση τη διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση της βαρύτητας. Για να επιτευχθεί ικανοποιητικός διαχωρισμός πρέπει να υπάρχει εμφανής διαφορά στην πυκνότητα των προς διαχωρισμό ορυκτών.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον διαχωρισμό βωξιτικών και ασβεστιτικών υλικών είναι οι ακόλουθες:

- Βαρέα υγρά
- Δονούμενη τράπεζα
- Αεροδιαχωριστής

#### 4.4.1 Βαρέα Υγρά

Η μέθοδο των βαρέων υγρών εκμεταλλεύεται τη διαφορά πυκνοτήτων ανάμεσα στα βαρέα υγρά και στα προς διαχωρισμό ορυκτά. Είναι το εργαστηριακό ανάλογο της μεθόδου των βαρέων διαμέσων, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Γενική αρχή της μεθόδου είναι ότι ένα σώμα αιωρείται σε ένα υγρό όταν έχει το ίδιο ειδικό βάρος με το υγρό. Επιπλέον όταν έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό, ενώ αντίθετα καταβυθίζεται όταν έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

Η μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, των οποίων τα ειδικά βάρη αυξάνονται προοδευτικά. Έτσι, το μετάλλευμα διαχωρίζεται σε κλάσματα διαφόρων ειδικών βαρών. Τα βαρέα υγρά που χρησιμοποιήθηκαν στην διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν το τετραβρωμοαιθάνιο, με πυκνότητα  $2,96 \text{ gr/cm}^3$  και συνδυασμός τετραβρωμοαιθανίου και τετραχλωράνθρακα (με πυκνότητα  $1,59 \text{ gr/cm}^3$ ) για την δημιουργία βαρέου υγρού πυκνότητας  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ . Οι πυκνότητες αυτές επιλέχθηκαν διότι στόχος ήταν να διαχωριστούν οι ασβεστικοί κόκκοι από τους βωξιτικούς. Ο συνδυασμός των παραπάνω υγρών έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_2 = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_3 \cdot V_1}{\rho_3 - \rho_2}$$

Που προκύπτει από τον συνδυασμό των τύπων:

a.  $m_1 + m_2 = m_3$  και

b.  $\rho = \frac{m}{V}$

#### 4.4.2 Δονούμενη τράπεζα

Η μέθοδος της δονούμενης τράπεζας εκμεταλλεύεται την διαφορά του ειδικού βάρους και του μεγέθους των τεμαχιδίων. Το κατάστρωμα της δονούμενης τράπεζας αποτελείται από την παράλληλη διάταξη επιμηκών λωρίδων, διαφορετικού μήκους, οι οποίες είναι κάθετες στην ροή του νερού.

Ο χώρος μεταξύ δύο ραβδώσεων δημιουργεί συνθήκες παρεμποδιζόμενης καταβύθισης και αυξάνει την εκλεκτικότητα του διαχωρισμού. Η πολυμική κίνηση της

τράπεζας, μέσω κατάλληλου μηχανισμού, έχει ως εξής: το κατάστρωμα κινείται κάθετα προς την ροή με μικρότερη ταχύτητα από αυτή της επιστροφής. Η ασυμμετρική αυτή παλμική κίνηση διευκολύνει την κατά μήκος προώθηση του υλικού. Τα σωματίδια μετατοπίζονται προς τα εμπρός λόγω της βραδύτερης κίνησης της τράπεζας, ενώ από την ταχύτερη επαναφορά αυτής τα αφήνει σχεδόν ακίνητα, λόγω της σχετικής αδράνειας. Έτσι τα σωματίδια μετατοπίζονται συνεχώς προς τα εμπρός.

Ανάμεσα από της ραβδώσεις σχηματίζονται στρώματα. Τα τεμαχίδια που είναι πιο μικρά και πιο βαριά βρίσκονται στον πυθμένα και υφίστανται εντονότερα την παλμική κίνηση. Για αυτό τον λόγο και κινούνται ταχύτερα προς την έξοδο από ότι τα μεγαλύτερα και τα πιο ελαφριά. Η διαφορά αυτή της ταχύτητας των ανομοιογενών τεμαχιδίων προκύπτει από την διαφορά του ειδικού βάρους και του μεγέθους τους, καθώς επίσης και από την ασύμμετρη επιτάχυνση του καταστρώματος.

Κρίνεται σκόπιμη η ρύθμιση της κλίσης της τράπεζας και της ροής του νερού ανάλογα με το εκάστοτε, προς εμπλουτισμό, δείγμα.



Εικόνα 4.3: Δονούμενη τράπεζα Εργαστηρίου Εμπλουτισμού

#### 4.4.3 Αεροδιαχωρισμός

Η μέθοδος του αεροδιαχωρισμού χρησιμοποιεί τη διαφορά των πυκνοτήτων των ορυκτών για τον διαχωρισμό τους. Οι αρχές που διέπουν τον διαχωρισμό με υγρά διέπουν και τον αεροδιαχωρισμό, με την διαφορά ότι την θέση του υγρού καταλαμ-

βάνει ο αέρας. Η καταβύθιση των βαρύτερων τεμαχιδίων είναι γρηγορότερη στον αεροδιαχωρισμό, λόγω μικρότερης άνωσης.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επίτευξη του διαχωρισμού είναι:

- a) Η ταχύτητα του ρεύματος αέρα
- b) Η ένταση δόνησης του αεροδιαχωριστή
- c) Το ειδικό βάρος των κόκκων
- d) Η αντίσταση του αέρα κατά την κίνηση των τεμαχιδίων

Ο τρόπος εφαρμογής του ρεύματος του αέρα καθορίζει τη μέθοδο του διαχωρισμού. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο του Εμπλουτισμού είναι η εμφύσηση ανοδικού ρεύματος.

Βασική αρχή του αεροδιαχωριστή είναι ότι οι κόκκοι του μεταλλεύματος με τον αέρα συμπεριφέρονται ως ρευστό. Όπου οι βαρύτεροι κόκκοι βυθίζονται και οι ελαφρύτεροι ανέρχονται στην επιφάνεια.

Η δομή του αεροδιαχωριστή στο εργαστήριο είναι:

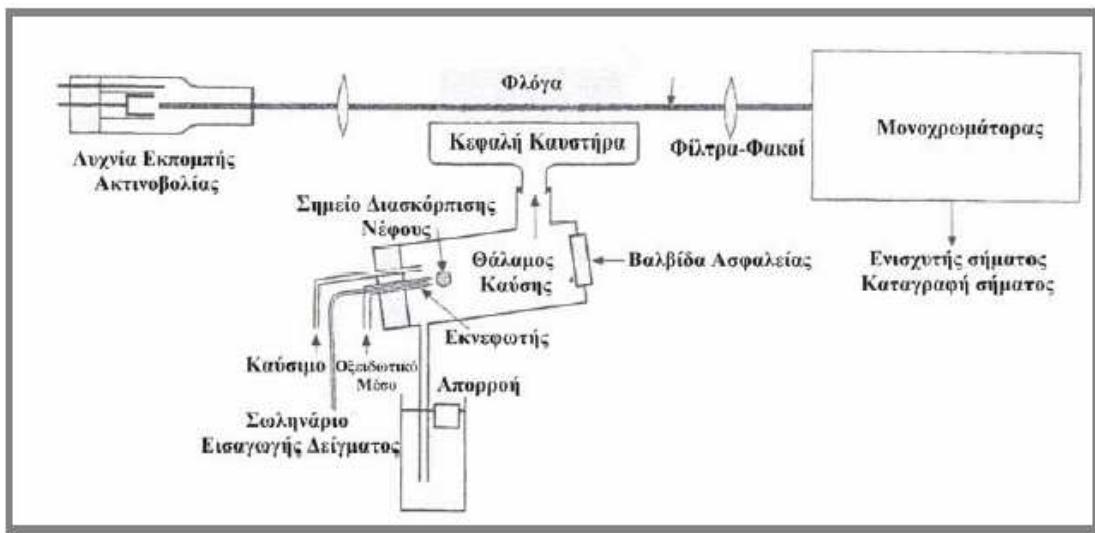
- a) Μηχανή δόνησης
- b) Δακτύλιοι, χωρητικότητας 250 ml έκαστος, εκ των οποίων ο πρώτος έχει πόρους για να περνά ο αέρας.
- c) Συμπιεστής αέρα ρυθμιζόμενης ροής.



Εικόνα 4.4: Αεροδιαχωριστής Εργαστηρίου Εμπλουτισμού

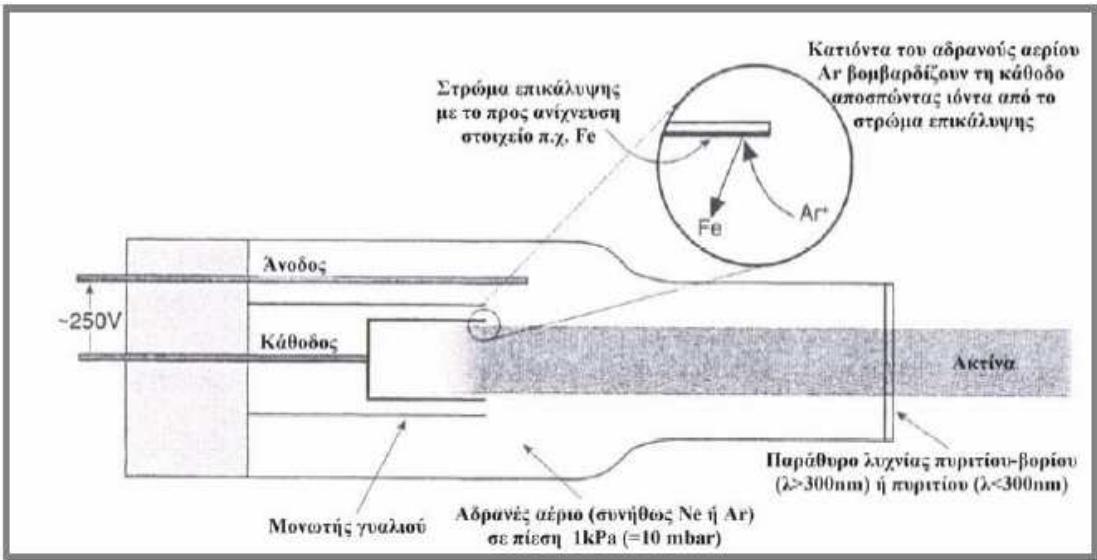
## 4.5 Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης [10,16]

Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης συγκαταλέγεται στις οπτικές μεθόδους ανάλυσης και το μοντέλο του εργαστηρίου είναι Elmer A Analyst 100 [h]. Η αρχή της μεθόδου περιλαμβάνει την μέτρηση της απορροφημένης ακτινοβολίας από άτομα στη θεμελιώδη κατάσταση για το στοιχείο που εξετάζεται. Η διάταξη της μεθόδου περιλαμβάνει μία πηγή ακτινοβολίας, ένα κελί ατομοποίησης του δείγματος και έναν ανιχνευτή μονοχρωμάτορα (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Διάταξη φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης [13]

Η πηγή ακτινοβολίας αποτελείται από μία κυλινδρική λυχνία. Το εσωτερικό του κυλίνδρου αποτελείται από το στοιχείο προς ανίχνευση. Εφαρμόζοντας τάση στη λυχνία ιονίζεται το αέριο που υπάρχει στο εσωτερικό της. Τα κατιόντα του αερίου κατευθύνονται προς την κάθοδο της λυχνίας όπου συγκρούονται με τα άτομα του προς ανίχνευση στοιχείου. Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα τα άτομα από την κάθοδο να απομακρύνονται ιονισμένα και τελικά να εκπέμπουν ακτινοβολία η οποία είναι χαρακτηριστική για το στοιχείο που ανιχνεύουμε (Σχήμα 4.4). Για κάθε στοιχείο που ανιχνεύεται συνήθως απαιτείται διαφορετική λυχνία.



Σχήμα 4.4: Διάταξη κυλινδρικής λυχνίας [13]

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την λυχνία είναι η ακτινοβολία που απαιτείται για να ιονίσει τα άτομα που παράγονται στον καυστήρα (ατομοποίηση). Τα άτομα απορροφούν την ακτινοβολία που απαιτείται για την μετάπτωση από μία θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ατόμων του προς ανίχνευση στοιχείου και ακολουθεί το νόμο του Lambert-Beer.

$$A = \log \frac{P_0}{P} = -\log T = e \cdot b \cdot c$$

Οπου,

**A:** απορρόφηση της ακτινοβολίας από το δείγμα

**P<sub>0</sub>:** ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας

**T:** διαπερατότητα

**b:** απόσταση που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

**e:** μοριακή απορροφητικότητα

**c:** συγκέντρωση

Το ορατό φάσμα του περιβάλλοντος απομονώνεται ηλεκτρονικά. Η λυχνία εκπέμπει ακτινοβολία με ορισμένη συχνότητα (50-60 Hz) με την οποία είναι συγχρονισμένος ο ανιχνευτής ώστε να απορρίπτει τις ακτινοβολίες που δεν είναι στην ίδια

συχνότητα και προέρχονται από το περιβάλλον. Το δείγμα περνάει μέσω του εκνευφωτή στο θάλαμο καύσης μαζί με το καύσιμο (ακετυλένιο) και το οξειδωτικό μέσο (αέρας ή  $N_2O$ ). Οι μεγαλύτερες σταγόνες δείγματος (πάνω από 5mm) πέφτουν στην απορροή, ενώ για την καλύτερη μέτρηση χρειάζονται το δυνατόν λεπτότερες σταγόνες.

Τη ροή του καυσίμου και του οξειδωτικού τη ρυθμίζουμε ανάλογα το στοιχείο που ανιχνεύουμε. Μερικά στοιχεία παρουσιάζουν καλύτερη ευαισθησία στην ανίχνευση όταν η φλόγα είναι οξειδωτική και εμφανίζεται με μπλε πυρήνα, ενώ άλλα στοιχεία απαιτούν αναγωγικές συνθήκες με τη φλόγα να παρουσιάζει λευκό φωτεινό πυρήνα. Το ύψος του καυστήρα είναι κρίσιμο και ρυθμίζεται ανιχνεύοντας ταυτόχρονα την απορρόφηση.

Για τα στοιχεία που χρειάζεται μεγαλύτερη θερμοκρασία φλόγας (Si, Al, Sr, κ.α.) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό μέσο το πρωτοξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ). Με τη χρήση μίγματος ακετυλενίου- $N_2O$  χρησιμοποιείται καυστήρας με μικρότερο άνοιγμα (50mm) σε σύγκριση με αυτόν που χρησιμοποιείται στο μίγμα του ακετυλενίου-αέρα (100mm). Τα παραπάνω συμβαίνουν διότι το μίγμα ακετυλενίου- $N_2O$  παρουσιάζει μεγάλη ταχύτητα ανάφλεξης και ο μικρότερος καυστήρας εμποδίζει περιπτώσεις ανάφλεξης προς το εσωτερικό του θαλάμου καύσης (flashback).

Η υψηλή θερμοκρασία της φλόγας ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση του πρωτοξείδιου του αζώτου μπορεί να προκαλεί ιονισμό των ατόμων και τελικά μας οδηγεί σε υποεκτίμηση της ποσότητας του στοιχείου που μετράται. Για τον έλεγχο του ιονισμού προσθέτουμε τον κατάλληλο ιονιστή ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cs^+$  κ.α.). Ο ιονιστής πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να έχει μικρότερο δυναμικό ιονισμού από το στοιχείο προς ανάλυση. Επιπλέον τα διαλύματα τα οποία εξετάζονται πρέπει να έχουν τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά με τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή της καμπύλης αναφοράς.

Τα παραπάνω είναι απαραίτητα ώστε οι αλληλοεπιδράσεις άλλων ιόντων να είναι ίδιες και στα προς εξέταση διαλύματα αλλά και στα πρότυπα διαλύματα. Ο έλεγχος των αλληλοεπιδράσεων μπορεί να γίνει είτε διαλέγοντας πρότυπα που ομοιάζουν στις φυσικές ιδιότητες με τα προς εξέταση δείγμα, ή αραιώνοντας τα δείγματά μας ή προσθέτοντας άλλα πρότυπα ώστε να πλησιάσουμε στις φυσικές ιδιότητες του δείγματος που εξετάζουμε.

#### **4.5.1 Χημική ανάλυση δείγματος**

Η χημική ανάλυση του δείγματος παρέχει τη δυνατότητα της αναγνώρισης των οξειδίων που παρέχονται μέσα σε αυτό. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη μέθοδο ατομικής απορρόφησης.

Επειδή το αργίλιο και το πυρίτιο είναι δυσδιάλυτα στοιχεία, η μέθοδος διαλυτοποίησης που επιλέχθηκε ήταν η ολική, έναντι της μερικής που δεν θα έδινε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Ο τρόπος διεξαγωγής των αναλύσεων έγινε σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

Λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος από το υλικό προς ανάλυση

- Λειοτρίβηση δείγματος σε μέγεθος -0.075mm στο σπαστήρα δακτυλίων
- Λήψη 0.1g δείγματος και 0.5g συντηκτικού, τοποθέτησή του σε κάψες λευκόχρυσου
- Σύντηξη δείγματος σε θερμοκρασία 980°C
- Διαλυτοποίηση τηγμένου δείγματος σε ποτήρι ζέσεως με τη βοήθεια αραιού διαλύματος νιτρικού οξέος 5%
- Κατάλληλη αραίωση και μέτρηση στην ατομική απορρόφηση των στοιχείων Fe, Al, Ca και Si συγκρίνοντας τα με αντίστοιχα πρότυπα διαφόρων συγκεντρώσεων.
- Λήψη 1g δείγματος, τοποθέτησή του σε κάψες πορσελάνης, ξήρανση του στους 120°C για τη μέτρηση της υγρασίας του δείγματος και καύση του στους 1200°C για την μέτρηση της απώλειας πύρωσης.

#### **4.6 Περιθλασμετρία ακτίνων X [8,10]**

Με τη μέθοδο της περιθλασμετρίας ακτίνων X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής σκόνης.

Το δείγμα βρίσκεται σε ένα μεταλλικό ή πλαστικό πλακίδιο με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το πλακίδιο αυτό τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασμέτρου ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X.

Ταυτόχρονα περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και το επίπεδο του δείγματος με τη μισή τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή. Η ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και η περιστροφή του δείγματος έχει σαν αποτέλεσμα ο πρώτος να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων X, που προέρχονται από τη λυχνία.

Το φαινόμενο της περίθλασης ακτίνων X διέπεται από το νόμο του Bragg:

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

όπου, n: τάξη ανάκλασης

λ: μήκος κύματος

θ: γωνία πρόσπτωσης

d: πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Στην περίθλασιμετρία ακτίνων X, το ζητούμενο μέγεθος είναι το d, γνωστό μέγεθος το λ και μετρούμενο μέγεθος το 2θ.

#### 4.6.1 Ορυκτολογική ανάλυση δείγματος

Η ορυκτολογική εξέταση του δείγματος βωξίτη έγινε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων X (XRD: X-Ray-Difraction Analysis) και του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου σε στιλπνές τομές.

Οι αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν σε αυτοματοποιημένο σύστημα XRD τύπου D8 Advance της Bruker. Το περιθλασίμετρο συνδέεται με μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια του οποίου γίνεται όλη η διαδικασία μέτρησης των δειγμάτων. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν, ακτινοβολία Cu, φίλτρο Ni, τάση 35 kV, ένταση 35 mA και βήμα ακτινοσκόπησης 1°/min. Η αξιολόγηση γίνεται με τα υπάρχοντα διεθνή πρότυπα της ICPDS.



Εικόνα4.5 : Περιθλασίμετρο ακτίνων-X του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

### **5.1 Προέλευση**

Το δείγμα στο οποίο αναφέρεται η παρούσα εργασία προέρχεται από κοιτάσματα μεταλλεύματος βωξίτη των νομών Βοιωτίας και Φωκίδας. Στάλθηκε από την εταιρία Αλουμίνιο της Ελλάδος με σκοπό την περάτωση αυτής της εργασίας. Το δείγμα αυτό είναι μέρος από το υλικό τροφοδοσίας του εργοστασίου εμπλουτισμού της συγκεκριμένης εταιρίας.

### **5.2 Κοκκομετρία**

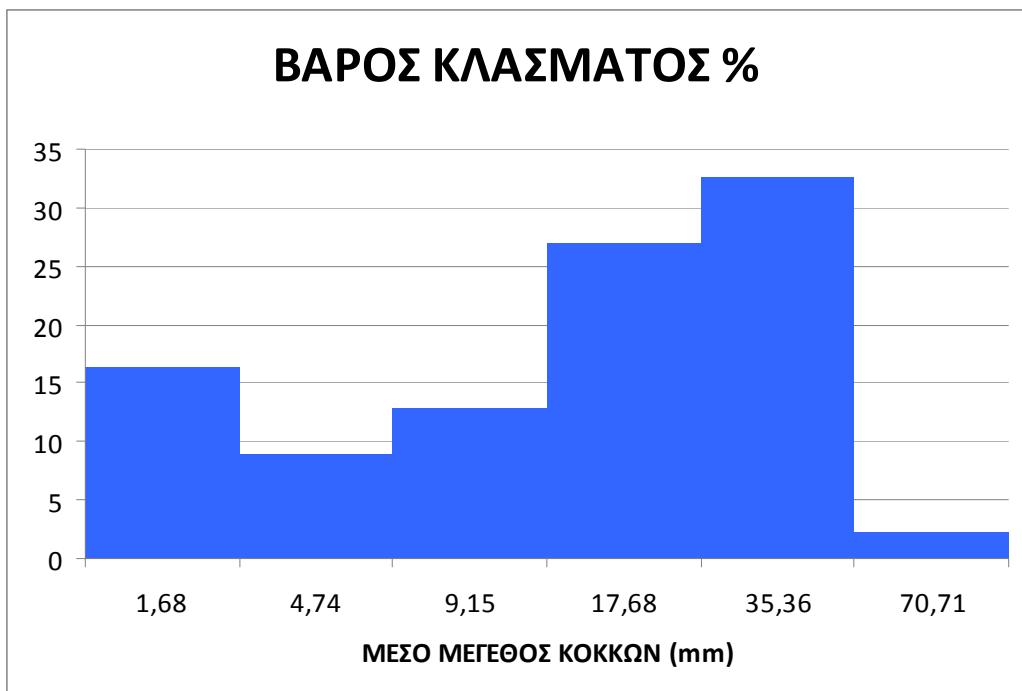
Το αρχικό δείγμα είχε βάρος είχε βάρος 46,5 kg. Ομογενοποιήθηκε και τεταρτοδιαιρέθηκε με τη μέθοδο του κώλουρου κώνου. Η κοκκομετρική ανάλυση του αρχικού δείγματος φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1 : Κοκκομετρική ανάλυση αρχικού μεταλλεύματος

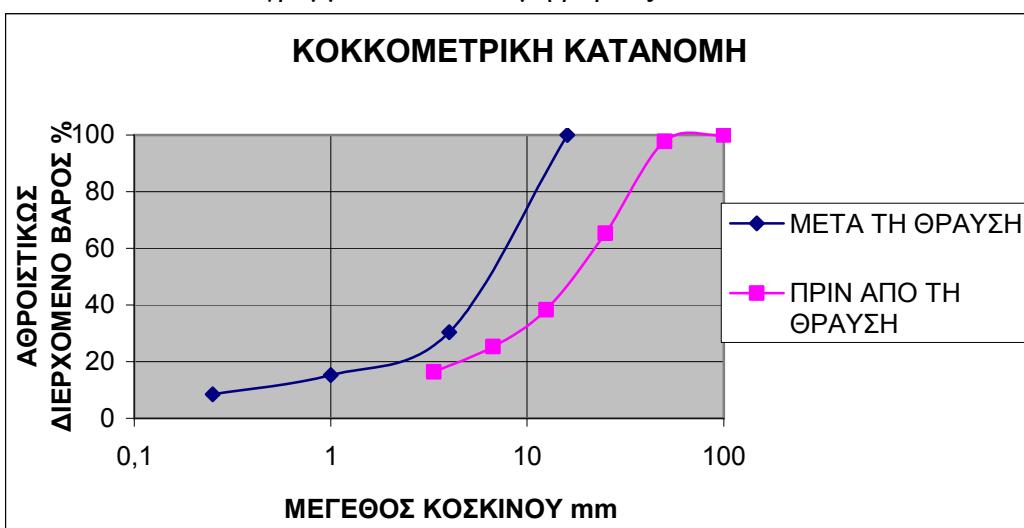
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ %
50	294,8	2,2	97,8
25	4335,9	32,5	65,3
12,5	3597,3	27,0	38,3
6,7	1723,3	12,9	25,4
3,35	1196,4	9,0	16,4
-3,35	2190,3	16,4	
ΣΥΝΟΛΟ	13338	100,0	

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι το 61,7% των κόκκων του αρχικού δείγματος είναι μεγαλύτερο από 12,5mm.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε θραύση του μεταλλεύματος στα κοκκομετρικά κλάσματα που φαίνονται στο πίνακα που ακολουθεί. Η κοκκομετρική ανάλυση από το κλάσμα +0,25mm-16mm πραγματοποιήθηκε με υγρή κοσκίνηση, ενώ για το κοκκομετρικό κλάσμα +0,010-0,25mm χρησιμοποιήθηκε υδροκυκλώνας. Τα συγκεκριμένα κλάσματα αποτελούν την τροφή για το βαρυτομετρικό και το μαγνητικό διαχωρισμό. Επίσης στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται και οι χημικές αναλύσεις του κάθε κλάσματος αλλά και του συνολικού υλικού.



Διάγραμμα 5.1: κατανομή βάρους στα κόσκινα



Διάγραμμα 5.2: Κοκκομετρική κατανομή

Όπως φαίνεται από το πίνακα 5.1 και τα διαγράμματα 5.1 και 5.2 το μεγαλύτερο μέρος των κόκκων του υλικού πριν από τη θαύση είναι πάνω από 12,5mm και μετά τη θραύση πάνω από 4mm.

Πίνακας 5.2: Κοκκομετρική και χημική ανάλυση του αρχικού μεταλλεύματος μετά από θραύση.

ΤΑΞΕΙΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %				
		CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
4-16	69,6	0,15	63,11	19,62	2,42	13,22
1-4	15,2	2,68	55,10	19,87	2,16	14,43
0,25-1	6,7	2,73	57,06	19,64	2,94	14,45
-0,25	8,5	0,76	50,28	20,85	5,19	14,53
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100,0</b>	<b>0,83</b>	<b>60,45</b>	<b>19,75</b>	<b>2,61</b>	<b>13,66</b>

### 5.3 Ορυκτολογική ανάλυση

Ορυκτολογικές αναλύσεις στο αρχικό δείγμα δε πραγματοποιήθηκαν. Πραγματοποιήθηκαν στα επιμέρους προϊόντα της κάθε μεθόδου. Τα ορυκτά που απότελούν το δείγμα είναι: το διάσπορο, ο βαιμίτης, ο αιματίτης, ο ασβεστίτης, ο ανατάσης, ο γκαιτίτης και ο καολινίτης.

Επίσης ακτινοδιάγραμμα έγινε στο κλάσμα -0,010mm και παρατίθεται στο παράρτημα. Στα αποτελέσματα του ακτινοδιαγράμματος έγινε μια ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση, και φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.3.: Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ -0,010mm		
ΟΡΥΚΤΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ %
ΔΙΑΣΠΟΡΟ	AlOOH	41
ΒΑΙΜΙΤΗΣ	AlO(OH)	5
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12
ΑΝΑΤΑΣΗΣ	TiO <sub>2</sub>	3
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	CaCO <sub>3</sub>	10
ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	FeO(OH)	26
ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	4

### 5.4 Μικροσκοπική ανάλυση

Μικροσκοπική ανάλυση στο αρχικό δείγμα δεν έγινε, έγινε όμως σε κάποια από τα προϊόντα των διαχωρισμών. Από την παρατήρηση των στιλπνών τομών φαίνεται η δομή των βωξιτικών κόκκων, αποτελείται από συμφύσεις των ορυκτών του

αργιλίου, του σιδήρου και του πυριτίου. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι δύσκολος ο διαχωρισμός των ορυκτών αυτών με φυσικές μεθόδους.

Στη συνέχεια παρατίθεται μια εικόνα όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η σύμφυση αυτή.



Εικόνα 5.1: Φωτογραφία βωξιτικών κόκκων του προϊόντος  $+2,96 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος 0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 6.1 Μαγνητικός Διαχωρισμός

Οι δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν σε μέρος των κλασμάτων. Τα κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στο μαγνητικό διαχωρισμό ήταν τα +1-4mm, +0,25-1mm και +0,010-0,25mm. Το μεγαλύτερο κλάσμα ήταν το 1-4mm γιατί ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής του εργαστηρίου, που διαχωρίζει χονδρόκοκκο υλικό, δε μπορεί να διαχωρίσει μεγαλύτερο μέγεθος από αυτό.

Τα κλάσματα +0,25-1mm και +0,010-0,25mm διαχωρίστηκαν μαγνητικά στον επαγωγικό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH 111-5 της Carpcos). Πραγματοποιήθηκαν δύο διαδοχικά περάσματα του υλικού σε δύο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής: 120 rpm και 100 rpm. Οι ταχύτητες περιστροφής υπολογίστηκαν: η πρώτη από τον τύπο (4.1) για ακτίνα τυμπάνου  $R=0.06m$  και επιτάχυνση της βαρύτητας  $g=9.81m/s^2$  και η δεύτερη επιλέχτηκε να είναι το 80% της πρώτης. Από το πρώτο πέρασμα (120rpm) συλλέχθηκε το πολύ μαγνητικό προϊόν (μαγνητικό 1), ενώ το μη μαγνητικό αποτελούσε την τροφοδοσία δεύτερου περάσματος (100rpm). Από το δεύτερο συλλέχθηκε το ενδιάμεσο μαγνητικό (μαγνητικό 2) και το τελικό μη μαγνητικό προϊόν. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις που έγιναν στον μαγνήτη ήταν: η ένταση του πεδίου στο μέγιστο (2,8Amperes), η δόνηση στο 40%. Ακόμα, μηδενίζοντας το μαγνητικό πεδίο, ορίστηκαν οι θέσεις των λεπίδων διαχωρισμού, έτσι ώστε όλο το υλικό να περνάει οριακά στο μη μαγνητικό.

Το κλάσμα +1-4mm οδηγήθηκε στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή (Perm-Roll). Σε αυτή τη συσκευή ρυθμίστηκε ο ρυθμός τροφοδοσίας του υλικού στο μαγνήτη και η θέση της λεπίδας διαχωρισμού. Πραγματοποιήθηκαν δύο διαδοχικά περάσματα του υλικού σε δύο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής: 160rpm και 120rpm. Στο πρώτο πέρασμα (164rpm) συλλέχθηκε το πολύ μαγνητικό κλάσμα (μαγνητικό 1), ενώ το μη μαγνητικό συλλέχθηκε για να αποτελέσει την τροφοδοσία του επόμενου. Το μαγνητικό του δεύτερου περάσματος (132rpm) αποτελούσε το ενδιάμεσο μαγνητικό (μαγνητικό 2) και το μη μαγνητικό αποτελούσε το τελικό μη μαγνητικό προϊόν. Η πρώτη ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου ρυθμίστηκε, με βάση τον τύπο (4.1) για  $R=0.035m$   $g=9.81m/s^2$  και η δεύτερη επιλέχτηκε να είναι το 80% της πρώτης. Ακόμα, μηδενίζοντας το μαγνητικό πεδίο, ορίστηκαν η θέση της λεπίδας δι-

αχωρισμού, έτσι ώστε όλο το υλικό να περνάει οριακά στο μη μαγνητικό. Οι θέσεις της λεπίδας διαχωρισμού ήταν για το πρώτο πέρασμα στο 4 ενώ για το δεύτερο στο 4,8.

Στη συνέχεια αφού παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μέρος των οξειδίων του αργιλίου κατέληγε στο προϊόν του δεύτερου περάσματος αποφασίστηκε και πραγματοποιήθηκε δοκιμή μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 0,25-1mm τέτοια ώστε το πρώτο μαγνητικό προϊόν να περιέχει το μεγαλύτερο μέρος των οξειδίων του σιδήρου και να αποτελεί και αυτό απόρριμμα του διαχωρισμού. Η διαδικασία έγινε ως εξής πραγματοποιήθηκαν τέσσερα περάσματα στον μαγνήτη, μεταβάλλοντας την ένταση του μαγνητικού πεδίου και κρατώντας σταθερή τη ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου. Η ταχύτητα ήταν σταθερή στις 100grpm και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ήταν για το πρώτο πέρασμα 0,41 Ampere, για το δεύτερο 0,60, για το τρίτο 0,81 και για το τελευταίο 1,12 Amperes. Η σχέση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος με την ένταση του μαγνητικού πεδίου φαίνεται στον πίνακα 6.1 και το αντίστοιχο διάγραμμα 6.1.

Πίνακας 6.1: Σχέση έντασης μαγνητικού πεδίου με την ένταση ηλεκτρικού πεδίου για κάθε πέρασμα.

ΠΕΡΑΣΜΑ	ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Amperes)	ΕΝΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (Gauss)
1o	0,41	3400
2o	0,60	5170
3o	0,81	7120
4o	1,12	10030

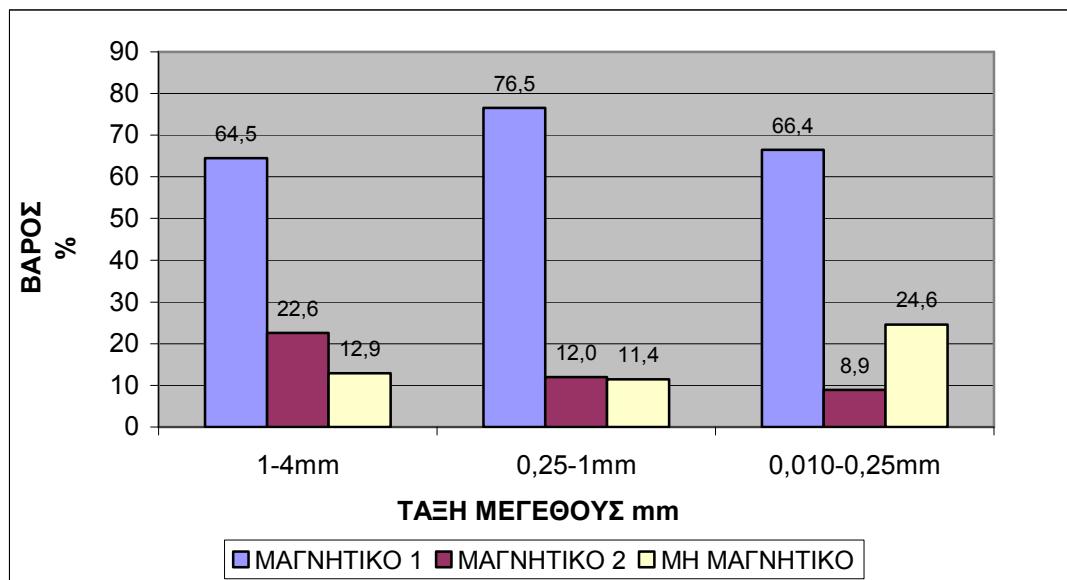
### 6.1.1 Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού

Όλα τα μαγνητικά και τα τελικά μη μαγνητικά προϊόντα του κάθε κλάσματος ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Στον πίνακα 6.2 τα αποτελέσματα των μαγνητικών διαχωρισμών καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα και στο πίνακα 6.3 τα αθροιστικά αποτελέσματα των μαγνητικών διαχωρισμών καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΡΟΙΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
			CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
1-4mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	64,46	0,06	54,35	23,57	2,53	12,34	1,76	64,40	75,19	73,53	56,77
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	22,62	0,07	60,78	17,54	1,80	13,15	0,79	25,27	19,63	18,30	21,23
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	12,92	15,88	43,48	8,11	1,41	23,86	97,45	10,32	5,18	8,18	22,00
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	<b>2,10</b>	<b>54,40</b>	<b>20,21</b>	<b>2,22</b>	<b>14,01</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,25-1mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	76,55	0,06	57,47	21,72	3,47	12,66	1,49	76,04	87,14	77,23	66,70
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	12,02	0,10	66,15	17,85	4,81	13,57	0,40	13,75	11,25	16,81	11,23
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	11,43	26,21	51,69	2,69	1,79	28,04	98,11	10,22	1,61	5,96	22,07
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	<b>3,05</b>	<b>57,85</b>	<b>19,08</b>	<b>3,44</b>	<b>14,53</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,010-0,25mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	66,45	0,41	51,85	26,64	3,38	13,19	40,95	62,72	86,00	74,59	60,93
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	8,93	0,28	65,92	14,46	2,50	14,08	3,74	10,71	6,27	7,41	8,74
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	24,62	1,48	59,26	6,46	2,20	17,72	55,31	26,56	7,73	18,01	30,33
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	<b>0,66</b>	<b>54,93</b>	<b>20,59</b>	<b>3,01</b>	<b>14,39</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

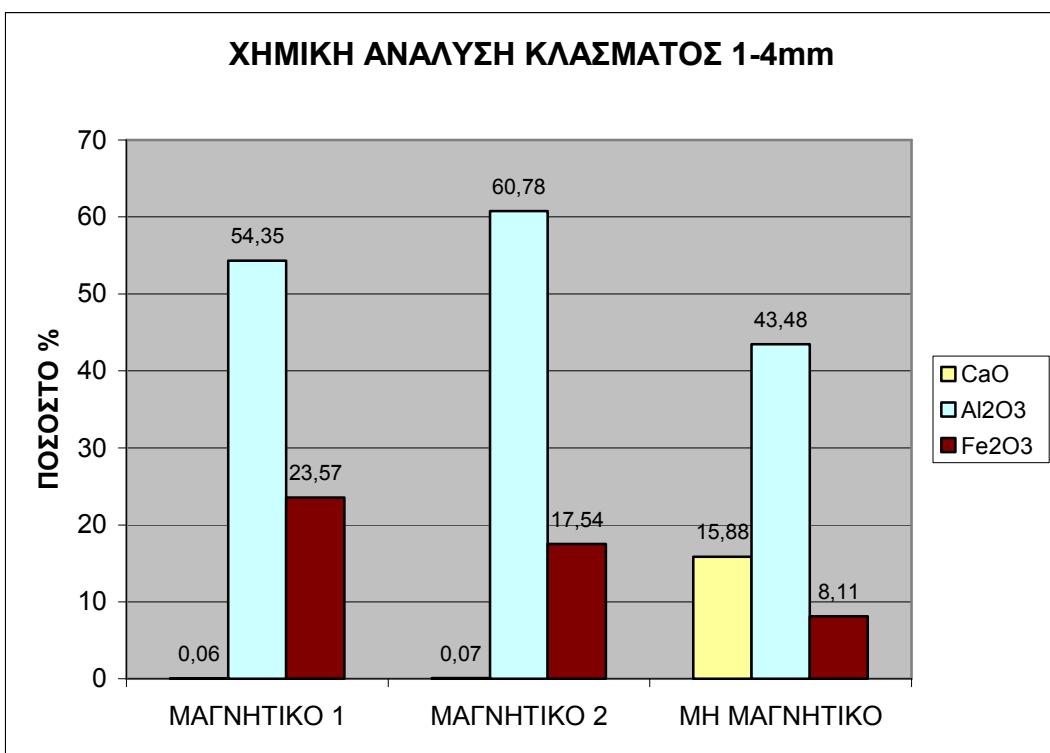
Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι στο κλάσμα 1-4mm υπάρχει αρκετό ελεύθερο  $\text{CaCO}_3$  το οποίο απομακρύνεται με τον μαγνητικό διαχωρισμό. Ο  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  κατανέμεται κατά προτίμη στο μαγνητικό προϊόν. Το  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , κατανέμεται επί το πλείστον στο ενδιάμεσο μαγνητικό προϊόν. Επίσης παρατηρείται σημαντική απώλεια αυτού στο μη μαγνητικό προϊόν.



Διάγραμμα 6.2 : Κατανομή βαρών κλασμάτων ανά προϊόν

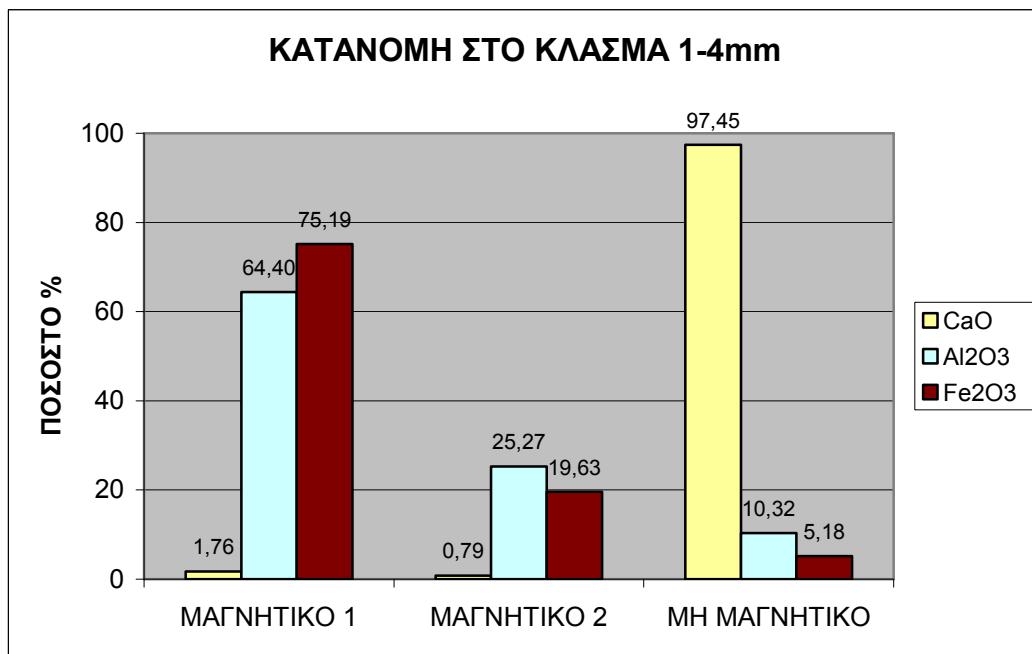
Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή των βαρών σε κάθε προϊόν.

Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα με τη χημική ανάλυση των προϊόντων κάθε τάξης μεγέθους, καθώς και διαγράμματα με τη κατανομή των οξειδίων στα προϊόντα κάθε τάξης μεγέθους.

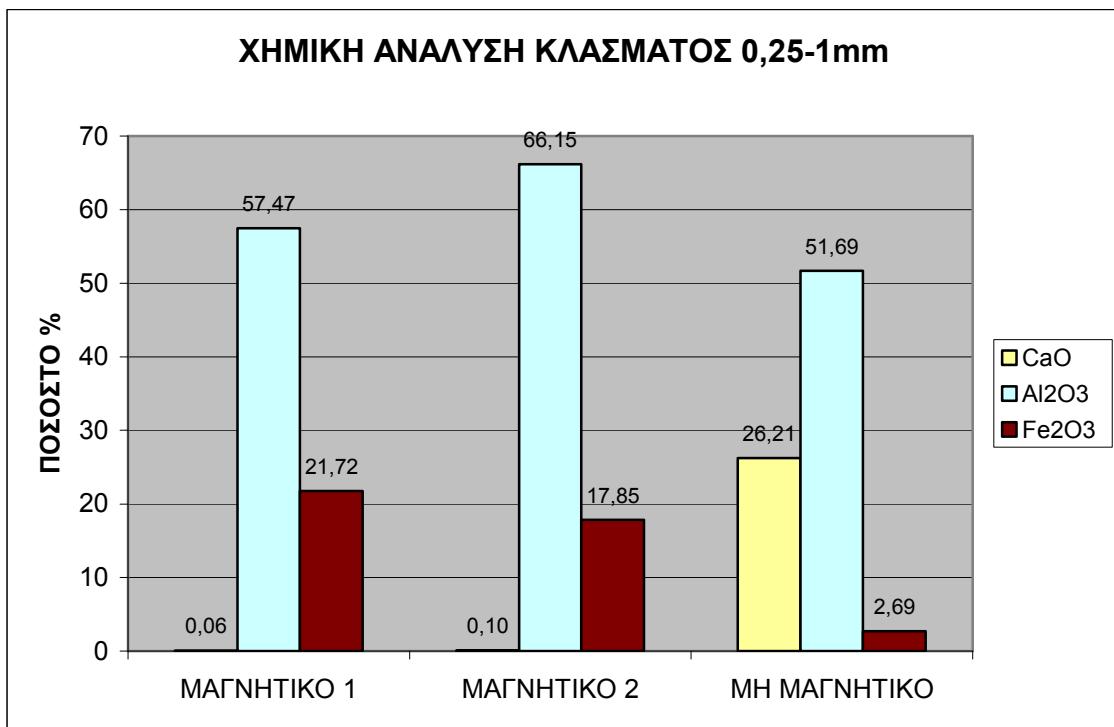


Διάγραμμα 6.3 : Χημική ανάλυση κλάσματος 1-4 mm.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται για τα οξείδια του ασβεστίου ότι υπάρχει κάποιος διαχωρισμός που φαίνεται από το γεγονός ότι το μη μαγνητικό προϊόν έχει το μεγαλύτερο ποσοστό. Αυτό επίσης φαίνεται και από την κατανομή των οξειδίων στα προϊόντα.

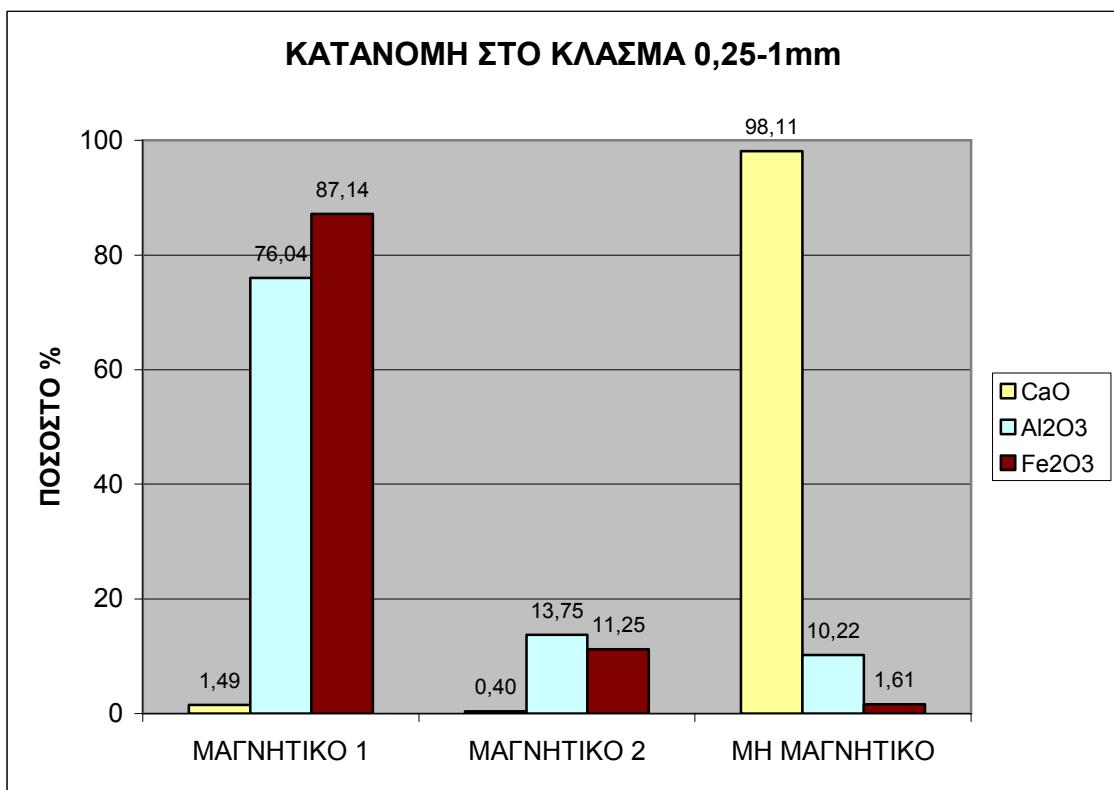


Διάγραμμα 6.4: Κατανομή στο κλάσμα 1-4mm.

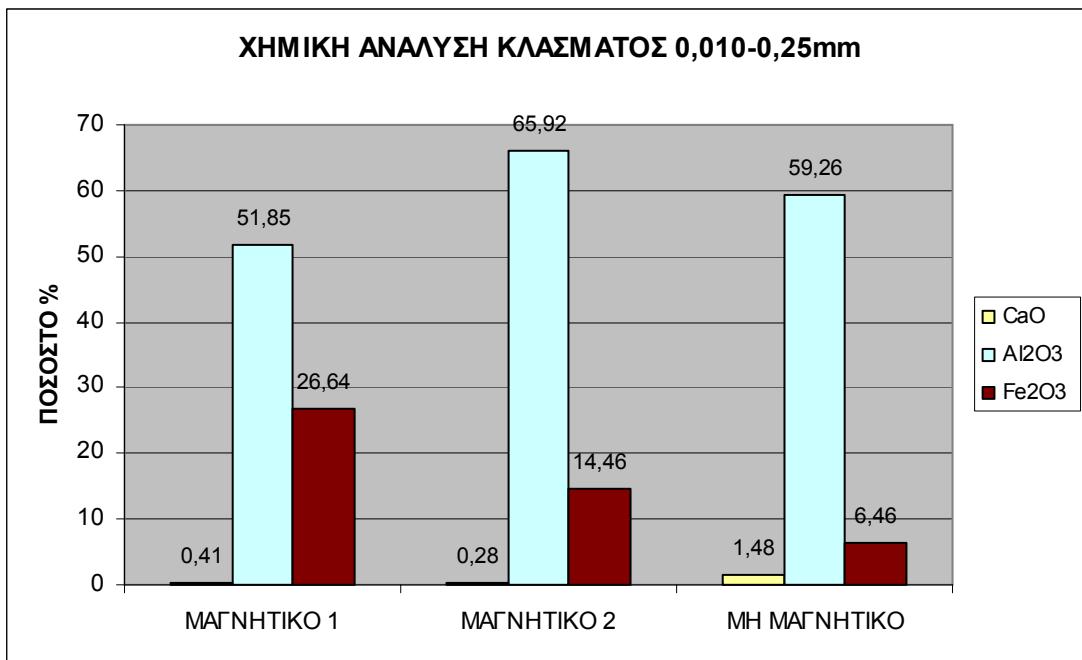


Διάγραμμα 6.5 : Χημική ανάλυση κλάσματος 0,25-1mm

Τα οξείδια του αργιλίου συγκεντρώνονται στο ενδιάμεσο μαγνητικό προϊόν (μαγνητικό 2), ενώ το μη μαγνητικό προϊόν είναι πλούσιο σε οξείδια του ασβεστίου.



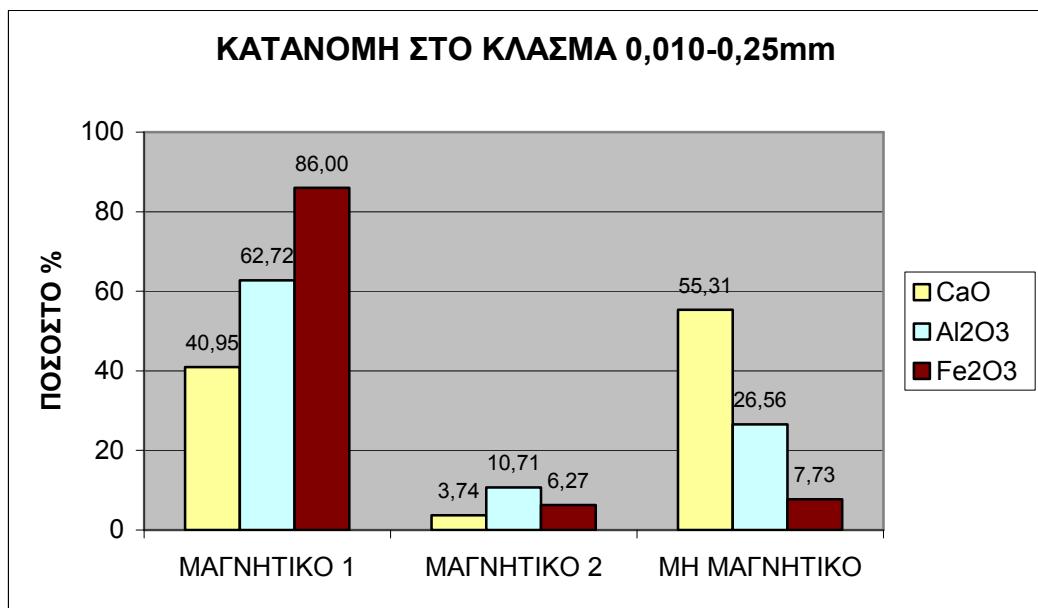
Διάγραμμα 6.6 : Κατανομή στο κλάσμα 0,25-1mm



Διάγραμμα 6.7 :Χημική ανάλυση κλάσματος 0,01-0,25 mm

Ομοίως με τα προηγούμενα οι ποιότητες των προϊόντων είναι:

Το ενδιάμεσο μαγνητικό προϊόν είναι πλούσιο σε οξείδια του αργιλίου και το μη μαγνητικό είναι το πλουσιότερο σε οξείδια του ασβεστίου. Όσον αφορά την κατανομή του μεταλλεύματος φαίνεται ότι ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των οξειδίων του ασβεστίου καταλήγει στο πρώτο μαγνητικό προϊόν, που σημαίνει ότι δεν έχουμε καλή αποδέσμευση στο συγκεκριμένο κλάσμα.



Διάγραμμα 6.8 :Κατανομή στο κλάσμα 0,010,25 mm

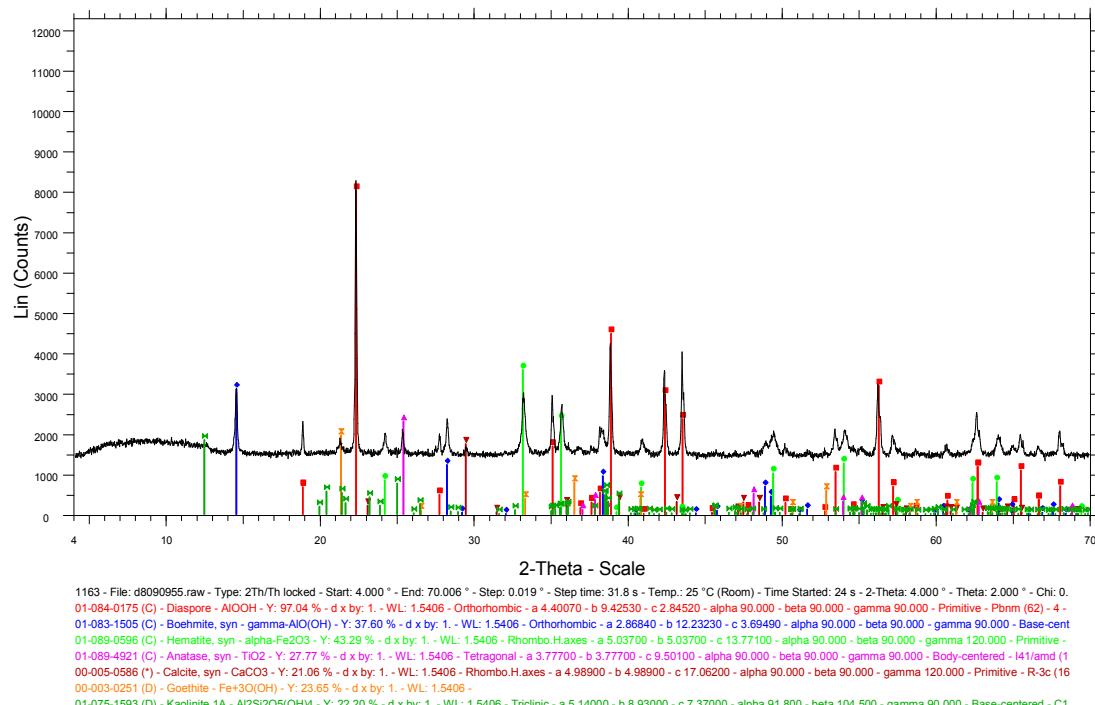
Πίνακας 6.3: Αθροιστικά αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΡΟΙΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
			ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ									
			CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
1-4mm	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	64,46	0,06	54,35	23,57	2,53	12,34	1,76	64,40	75,19	73,53	56,77
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	87,08	0,06	56,02	22,00	2,34	12,55	2,55	89,68	94,82	91,82	78,00
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100,0</b>	<b>2,10</b>	<b>54,40</b>	<b>20,21</b>	<b>2,22</b>	<b>14,01</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,25-1mm	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	76,55	0,06	57,47	21,72	3,47	12,66	1,49	76,04	87,14	77,23	66,70
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	88,57	0,07	58,64	21,19	3,65	12,78	1,89	89,78	98,39	94,04	77,93
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100,00</b>	<b>3,05</b>	<b>57,85</b>	<b>19,08</b>	<b>3,44</b>	<b>14,53</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,010-0,25mm	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	66,45	0,41	51,85	26,64	3,38	13,19	40,95	62,72	86,00	74,59	60,93
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	75,38	0,39	53,52	25,20	3,27	13,30	44,69	73,44	92,27	81,99	69,67
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100,0</b>	<b>0,66</b>	<b>54,93</b>	<b>20,59</b>	<b>3,01</b>	<b>14,39</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Αυτό που παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι, τα αθροιστικώς δύο μαγνητικά προϊόντα, τα οποία αποτελούνται από το μαγνητικό 1 συν το μαγνητικό 2, είναι πολύ καλύτερα σε ποιότητα από το αρχικό μετάλλευμα. επειδή εμπλουτίζονται τα οξείδια του αργιλίου και οι ποιότητες σε οξείδια του ασβεστίου είναι πολύ χαμηλότερες από το αρχικό υλικό.

### 6.1.2 Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης

Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού του κλάσματος +0,25-1mm, πραγματοποιήθηκαν ποιοτικά ακτινογραφήματα (XRD) όπου παρατηρήθηκαν οι ορυκτολογικές φάσεις που βρίσκονται στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα από τα ακτινοδιαγράμματα ενώ τα υπόλοιπα παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Στα ακτινοδιαγράμματα πραγματοποιήθηκε και μια ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση που παρατίθεται και παρακάτω.

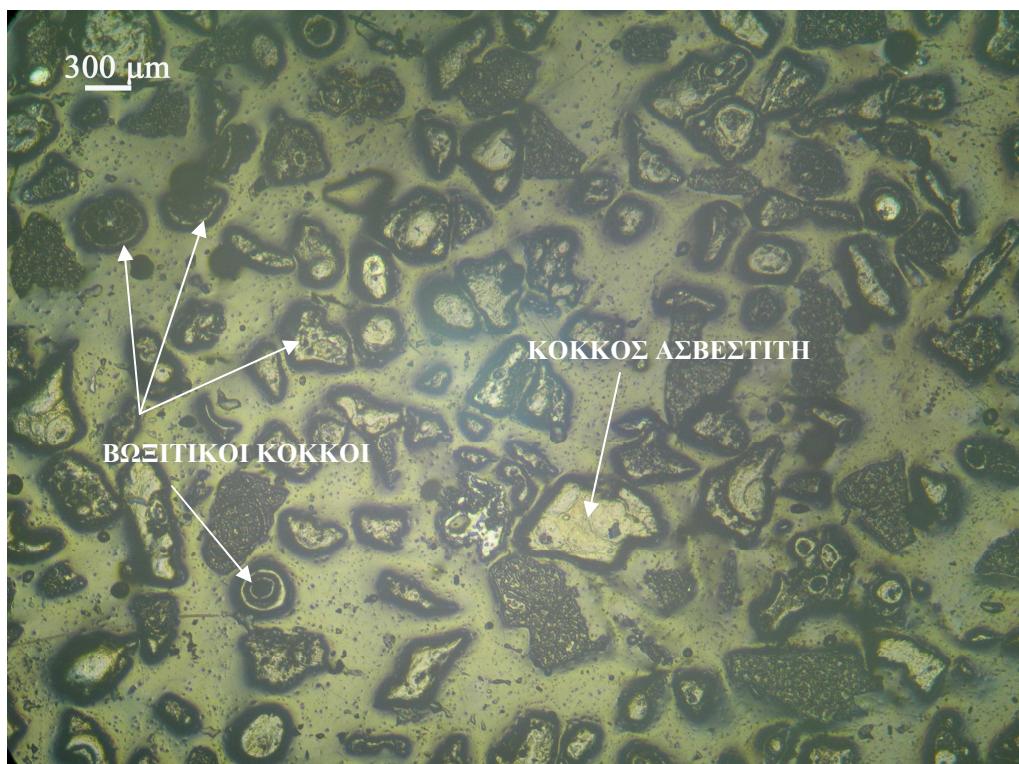


Εικόνα 6.1: Ακτινοδιάγραμμα μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1mm

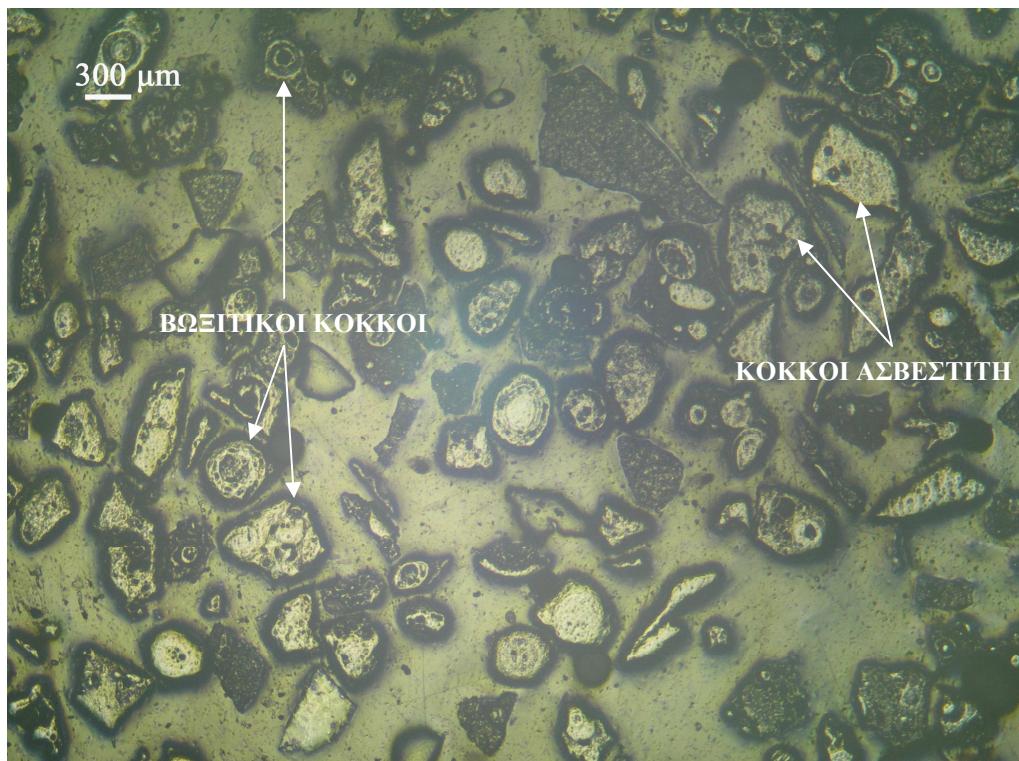
Πίνακας 6.4 : Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση

ΟΡΥΚΤΟ	ΠΡΟΙΟΝ ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 0,25-1 mm		
		ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ %		
		ΜΑΓΝ. 1	ΜΑΓΝ. 2	Μ.ΜΑΓΝ.
ΔΙΑΣΠΟΡΟ	AlOOH	62	70	37
ΒΑΙΜΙΤΗΣ	AlO(OH)	11	11	2
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	7	2
ΑΝΑΤΑΣΗΣ	TiO <sub>2</sub>	2	2	1
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	CaCO <sub>3</sub>	2	2	57
ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	FeO(OH)	8	5	1
ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	3	2	0

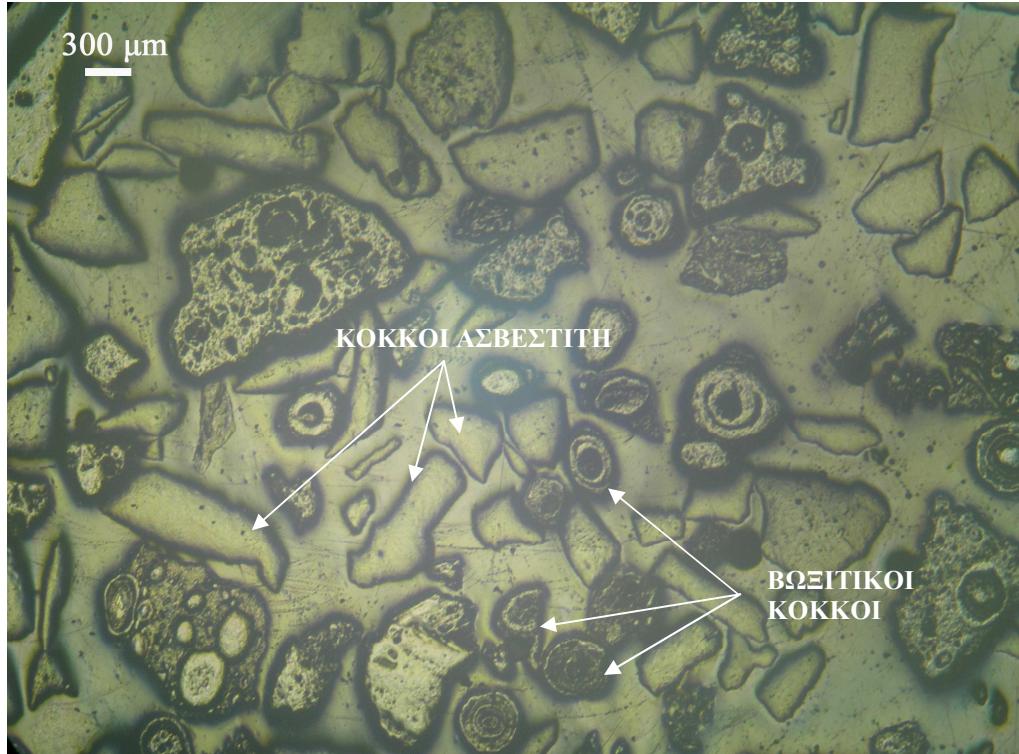
Εκτός των ακτινοδιαγραμμάτων παρασκευάσθηκαν και στιλπνές τομές με σκοπό να παρατηρηθούν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Οι ορυκτολογικές φάσεις των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού φαίνεται στις παρακάτω πανοραμικές φωτογραφίες.



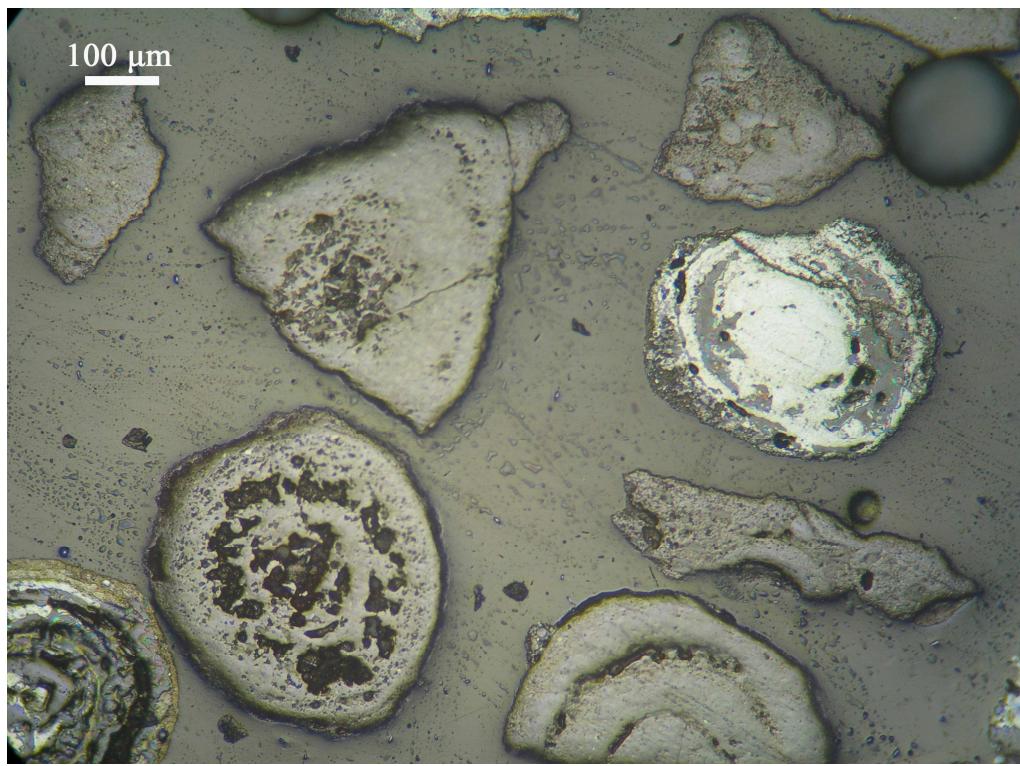
Εικόνα 6.2:Πανοραμική φωτογραφία του Μαγνητικού 1 στο κλάσμα +0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.



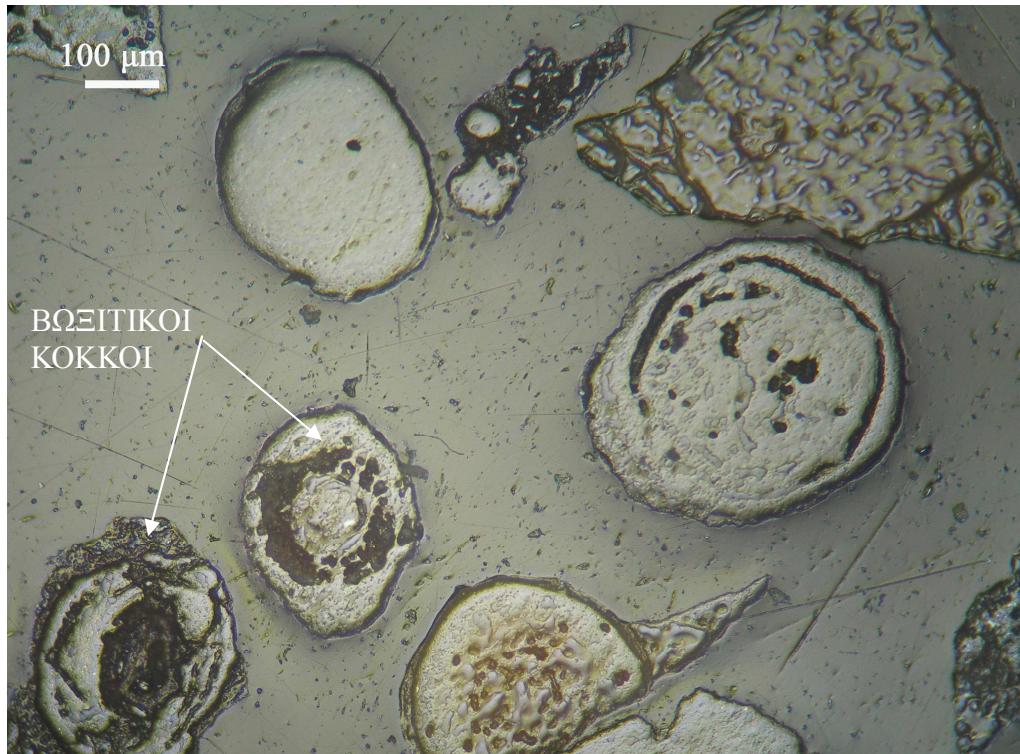
Εικόνα 6.3: Πανοραμική φωτογραφία του Μαγνητικού 2 στο κλάσμα +0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.



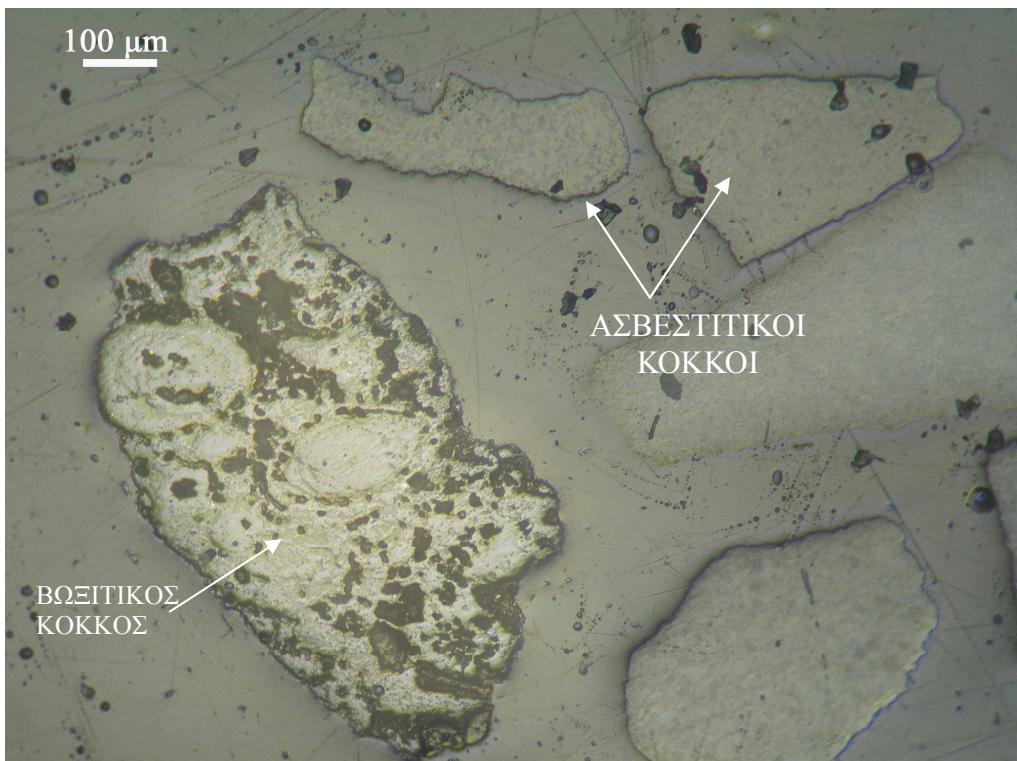
Εικόνα 6.4: Πανοραμική φωτογραφία του Μη Μαγνητικού στο κλάσμα +0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.5: Βωξιτικοί κόκκοι προϊόντος μαγνητικού 1του κλάσματος 0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.6: Βωξιτικοί και ασβεστιτικοί κόκκοι προϊόντος μαγνητικού 2 του κλάσματος 0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.7: Ασβεστιτικοί και βωξιτικοί κόκκοι προϊόντος μη μαγνητικού του κλάσματος 0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού και συγκεκριμένα παρατηρείται στην εικόνα 6.2 ότι οι περισσότεροι κόκκοι είναι βωξιτικοί ενώ υπάρχουν και ελάχιστοι κόκκοι ασβετίτη. Στην εικόνα 6.3 που αντιστοιχεί στο δεύτερο μαγνητικό προϊόν φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιοι ασβεστιτικοί κόκκοι παραπάνω από ότι στο πρώτο μαγνητικό προϊόν, ενώ στο μη μαγνητικό προϊόν (εικόνα 6.4) παρατηρείται ότι η πλειωνότητα των κόκκων είναι ασβεστικοί. Στις υπόλοιπες εικόνες φαίνονται καλύτερα οι συμφύσεις των ορυκτών που αποτελούν τον βωξίτη.

### 6.1.3 Αποτελέσματα δοκιμής μαγνητικού διαχωρισμού με τέσσερα διαδοχικά περάσματα

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού κρίθηκε σωστό να γίνει μία δοκιμή με σκοπό τον διαχωρισμό του μεγαλύτερου μέρους του σιδήρου στο πρώτο μαγνητικό προϊόν και τη συγκέντρωση του μεγαλύτερου μέρους των οξειδίων του αργιλίου στα ενδιάμεσα μαγνητικά προϊόντα ενώ στο μη μαγνητικό τη κατάληξη του μεγαλύτερου μέρους των οξειδίων του ασβεστίου.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού έγινε μια σειρά πειραμάτων στον επαγωγικό μαγνήτη υψηλής έντασης στο κοκκομετρικό κλάσμα 0,25-1mm.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

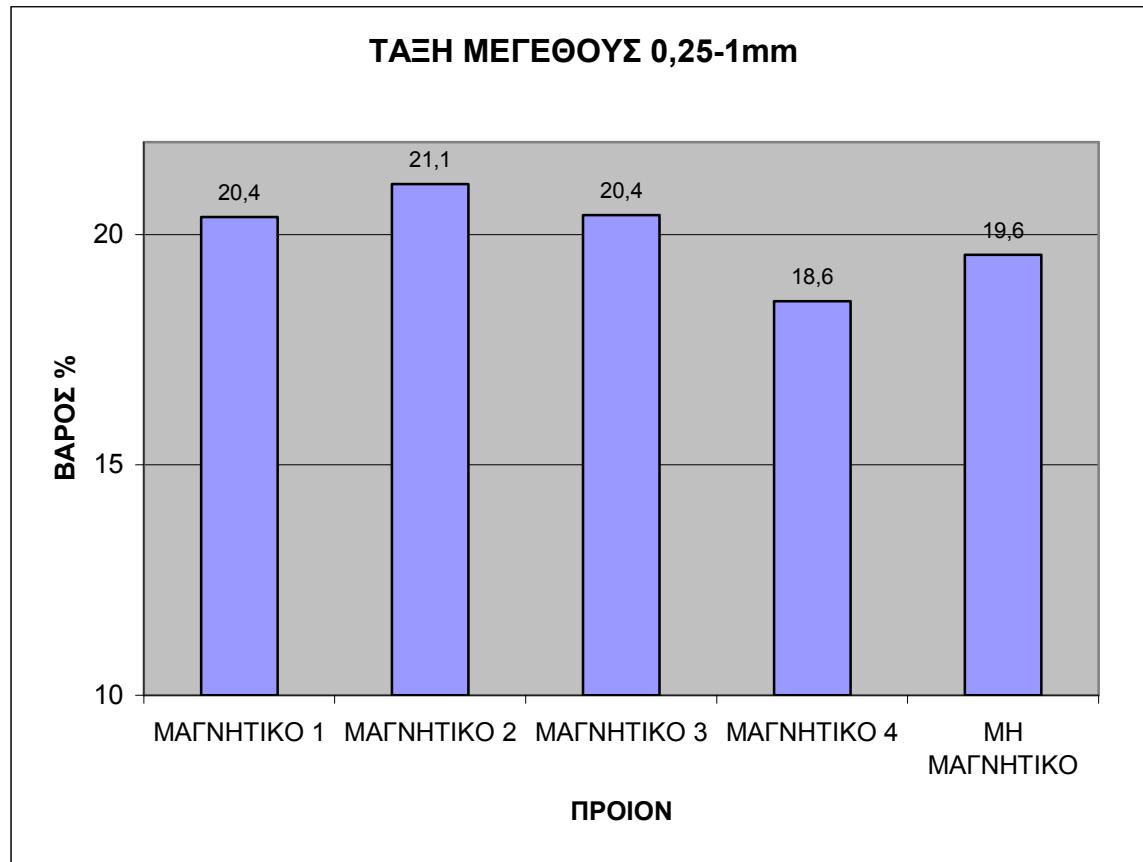
Αρχικά παρουσιάζεται ο πίνακας που δείχνει την κατανομή βαρών, τις χημικές αναλύσεις, αλλά και την κατανομή των οξειδίων σε κάθε προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού.

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

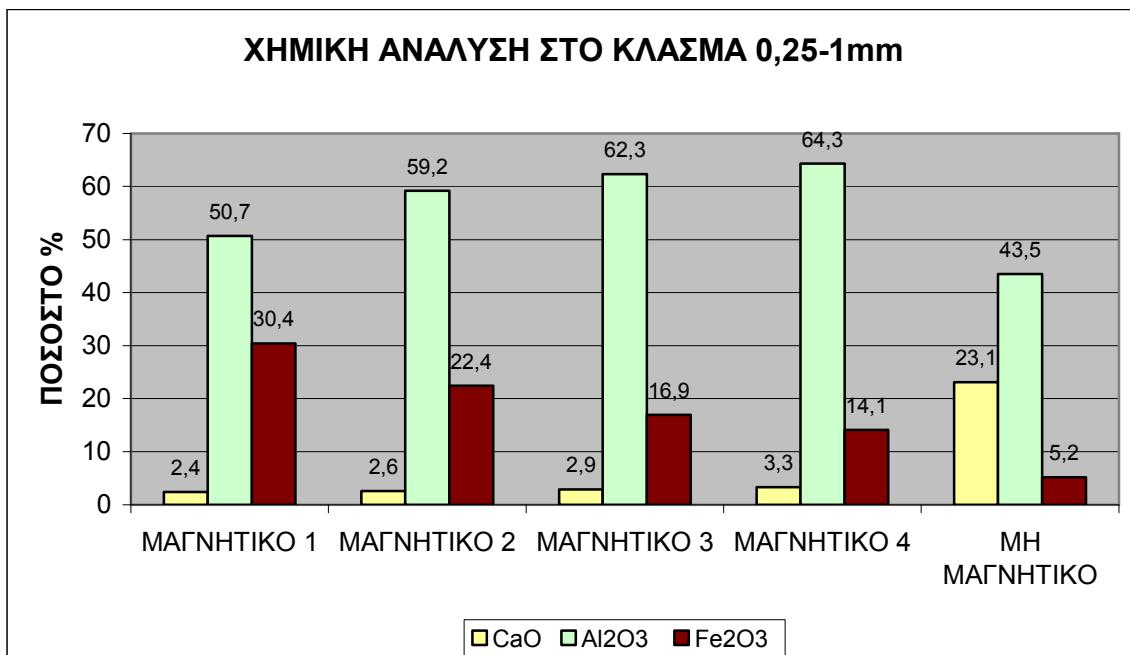
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΡΟΙΟΝ	ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Amperes)	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					$\Sigma$ ΧΕΣΗ $Al_2O_3/Fe_2O_3$	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
				CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI		CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
0,25-1mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 1	0,41	20,38	2,40	50,70	30,40	4,70	12,00	1,67	7,24	18,46	34,42	31,59	15,38
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 2	0,60	21,09	2,60	59,20	22,40	2,70	13,20	2,64	8,11	22,30	26,24	18,77	17,50
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 3	0,81	20,42	2,90	62,30	16,90	3,40	14,00	3,69	8,76	22,73	19,17	22,90	17,98
	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ 4	1,12	18,55	3,30	64,30	14,10	3,00	14,60	4,56	9,06	21,31	14,53	18,35	17,03
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ		19,56	23,10	43,50	5,20	1,30	26,10	8,36	66,83	15,20	5,65	8,38	32,10
	ΣΥΝΟΛΟ		100,00	<b>6,76</b>	<b>55,98</b>	<b>18,00</b>	<b>3,03</b>	<b>15,90</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Αυτό που παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι το πρώτο μαγνητικό προϊόν αποτελείται κυρίως από οξείδια του σιδήρου, ενώ τα ενδιάμεσα προϊόντα περιέχουν υψηλά ποσοστά οξειδίων του αργιλίου και το μη μαγνητικό είναι το πλουσιότερο σε οξείδια του ασβεστίου. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός, αν οι προδιαγραφές του εμπλουτισμένου μεταλλεύματος αναφέρονταν σε υψηλά ποσοστά  $Al_2O_3$  και χαμηλά σε  $Fe_2O_3$  και  $CaO$ , τότε ως απόρριψη του διαχωρισμού θα ήταν το πρώτο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό, ενώ ως συμπύκνωμα τα τρία ενδιάμεσα μαγνητικά προϊόντα. Αυτά φαίνονται και στα παρακάτω διαγράμματα. Όπου στο διάγραμμα 6.9 παρουσιάζεται η κατανομή των βαρών σε κάθε προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού, ενώ στα 6.10 και 6.11, οι χημικές αναλύσεις και οι κατανομές των οξειδίων αντίστοιχα.

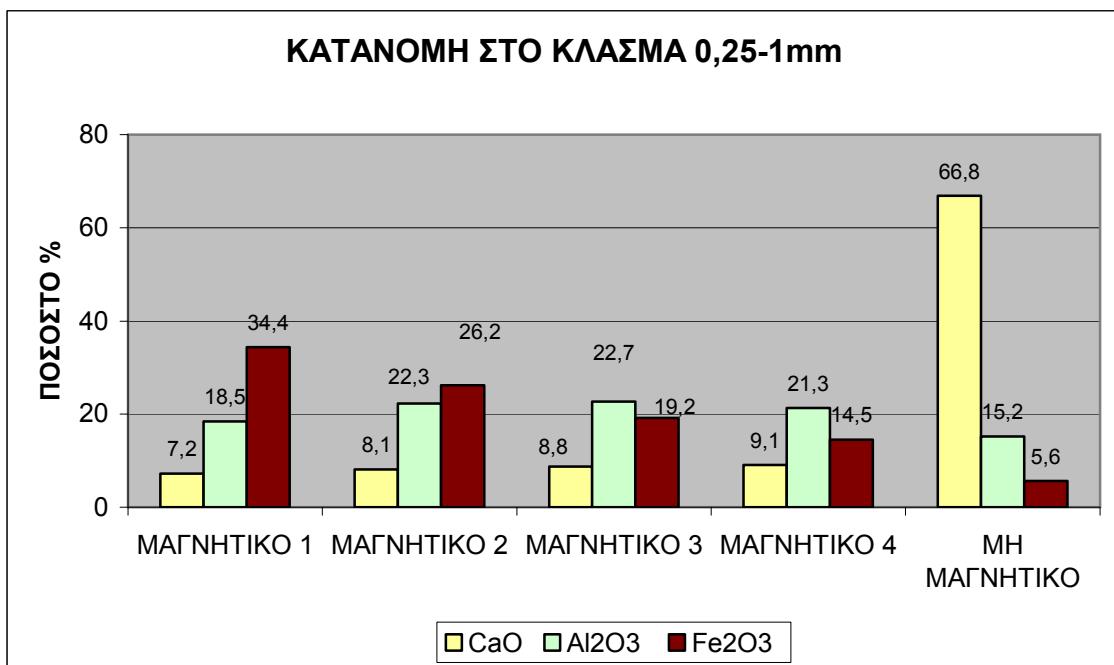
Επίσης παρατηρείται ότι τα οξείδια του αργιλίου είναι μη μαγνητικά σε αντίθεση με αυτά του σιδήρου. Η σχέση  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ , που φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, αυξάνεται όσο προχωρούν τα στάδια του εμπλουτισμού. Ετσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα προϊόντα 3 και 4 θα μπορούσαν ίσως να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες εφαρμογές πέρα από τη παραγωγή αλουμίνιας.



Διάγραμμα 6.9: Η κατανομή των βαρών σε κάθε προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 6.10: Χημικές αναλύσεις του κλάσματος 0,25-1mm



Διάγραμμα 6.11: Κατανομή οξειδίων στα προϊόντα του κλάσματος 0,25-1mm

#### 6.1.4 Ορυκτολογικά αποτελέσματα δοκιμής μαγνητικού διαχωρισμού με τέσσερα διαδοχικά περάσματα

Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού του κλάσματος +0,25-1mm, πραγματοποιήθηκαν ποιοτικά ακτινογραφήματα (XRD) όπου παρατηρήθηκαν οι ορυκτολογικές φάσεις που βρίσκονται στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού. Τα ακτι-

νοδιαγράμματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Στα ακτινοδιαγράμματα πραγματοποιήθηκε και μια ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση που παρατίθεται και παρακάτω.

Πίνακας 6.6 : Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 0,25-1 mm						
ΟΡΥΚΤΟ	ΠΡΟΙΟΝ ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ %				
		ΜΑΓΝ. 1	ΜΑΓΝ. 2	ΜΑΓΝ. 3	ΜΑΓΝ. 4	Μ.ΜΑΓΝ.
ΔΙΑΣΠΟΡΟ	AlOOH	48	55	58	61	46
ΒΑΙΜΙΤΗΣ	AlO(OH)	8	12	13	12	4,
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19	12	10	8	3
ΑΝΑΤΑΣΗΣ	TiO <sub>2</sub>	2	2	2	2	1
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	CaCO <sub>3</sub>	4,	5	5	6	41
ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	FeO(OH)	10	9	6	5	2
ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	10	6	7	6	3

Στον παραπάνω πίνακα φαίναται ότι το μεγαλύτερο μέρος των ορυκτών του σιδήρου καταλήγει στο πρώτο μαγνητικό πριόν, τα ορυκτά του αργιλίου κατανέμονται επί το πλείστον στα ενδιάμεσα μαγνητικά προϊόντα ενώ το μεγαλύτερο μέρος του ασβεστίτη βρίσκεται στο μη μαγνητικό προϊόν.

## 6.2 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός

### 6.2.1 Βαρέα υγρά

Οι δοκιμές των Βαρέων Υγρών έγιναν στα κλάσματα +4-16mm, +1-4mm και +0,25-1mm από το μετάλλευμα που έστειλε η εταιρία Αλουμίνιο της Ελλάδος. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων των βαρέων υγρών είναι η εξής: σε δύο ποτήρια ζέσεως το πρώτο πληρώνεται με τετραβρωμοαιθάνιο που έχει πυκνότητα 2,96 gr/cm<sup>3</sup> και το δεύτερο πληρώνεται με βαρύ υγρό πυκνότητας 2,70 gr/cm<sup>3</sup> που δημιουργήθηκε από ανάμειξη τετραβρωμοαιθανίου και τετραχλωράνθρακα, που έχει πυκνότητα 1,59 gr/cm<sup>3</sup>. Το δείγμα χύνεται σε μικρές ποσότητες στα βαρέα υγρά με αποτέλεσμα την ύπαρξη δύο προϊόντων το βαρύ, που είναι το καταβυθισθέν, και το ελαφρύ που είναι το επιπλεύσαν. Τα βαριά της πυκνότητας 2,96 gr/cm<sup>3</sup> είναι το πρώτο προϊόν ενώ τα ελαφριά αποτελούν την τροφοδοσία της πυκνότητας 2,70 gr/cm<sup>3</sup>. Έτσι τα αποτελέσματα των βαρέων υγρών είναι τρία για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα.

### **6.2.1.1 Αποτελέσματα Βαρέων υγρών**

Όλα τα προϊόντα του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κάθε κλάσματος ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται: στον πίνακα 6.6 οι χημικές αναλύσεις και οι κατανομές των οξειδίων για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα και στον πίνακα 6.7 τα αθροιστικά αποτελέσματα των διαχωρισμών των βαρέων υγρών, οι χημικές τους αναλύσεις και οι κατανομές των οξειδίων στα κοκκομετρικά κλάσματα επί του αρχικού δείγματος. Έπειτα παρατίθενται διαγράμματα που δείχνουν γραφικά τα αποτελέσματα του διαχωρισμού.

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα διαχωρισμού βαρέων υγρών με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

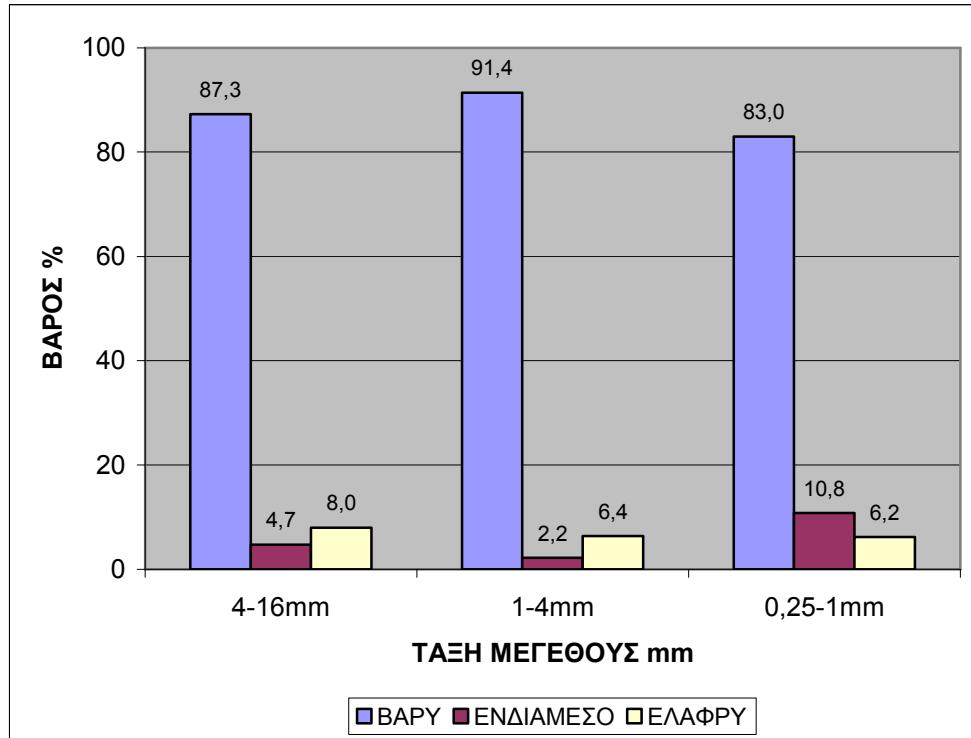
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ g/cm <sup>3</sup>	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					ΚΑΤΑΝΟΜΗ %					
			CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI	ΣΧΕΣΗ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
4-16mm	2,9	87,3	0,12	62,43	20,86	2,21	13,00	2,99	70,13	86,31	92,74	79,76	85,78
	2,7	4,7	0,33	64,65	10,14	3,90	14,87	6,40	10,07	4,86	2,45	7,66	5,34
	-2,7	8,0	0,38	69,61	11,79	3,80	14,68	5,90	19,80	8,82	4,81	12,58	8,89
	ΣΥΝΟΛΟ	<b>100,0</b>	<b>0,15</b>	<b>63,11</b>	<b>19,62</b>	<b>2,42</b>	<b>13,22</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
1-4mm	2,9	91,4	0,13	59,55	21,00	2,00	12,95	2,83	3,53	97,55	98,30	87,21	79,74
	2,7	2,2	0,76	54,92	12,75	8,12	16,19	4,29	0,51	2,18	1,44	8,54	2,41
	-2,7	6,4	49,04	2,44	0,79	1,40	41,56	3,00	95,96	0,28	0,26	4,25	17,85
	ΣΥΝΟΛΟ	<b>100,0</b>	<b>3,26</b>	<b>55,81</b>	<b>19,53</b>	<b>2,10</b>	<b>14,84</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,25-1mm	2,9	83,0	0,09	58,46	21,32	2,07	12,96	15,30	2,95	86,21	87,59	70,36	74,86
	2,7	10,8	0,20	63,33	21,18	3,81	13,87	26,36	0,91	12,19	11,36	16,90	10,45
	-2,7	6,2	37,49	14,61	3,43	5,03	34,16	26,95	96,13	1,60	1,05	12,74	14,69
	ΣΥΝΟΛΟ	<b>100,0</b>	<b>2,41</b>	<b>56,28</b>	<b>20,20</b>	<b>2,44</b>	<b>14,37</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

Στο κλάσμα 4-16mm δεν υπάρχει καλή αποδέσμευση του ασβεστίτη. Αυτό φαίνεται καταρχάς από την τιμή της ανάλυσης του βαρέως προϊόντος του συγκεκριμένου κλάσματος είναι μικρή, η κατανομή των οξειδίων του ασβεστίου δείχνει ότι το μεγαλύτερο μέρος τους καταλήγει στο βαρύ προϊόν. Δεύτερον φαίνεται και από την υψηλή τιμή των οξειδίων του αργιλίου στο ελαφρύ προϊόν της συγκεκριμένης τάξης μεγέθους.

Στα υπόλοιπα κλάσματα υπάρχει καλή αποδέσμευση και αυτό φαίνεται από τις συνεχώς αυξανόμενες τιμές των αναλύσεων των οξειδίων του ασβεστίου, παρατηρώντας τα προϊόντα από το βαρύ προς το ελαφρύ.

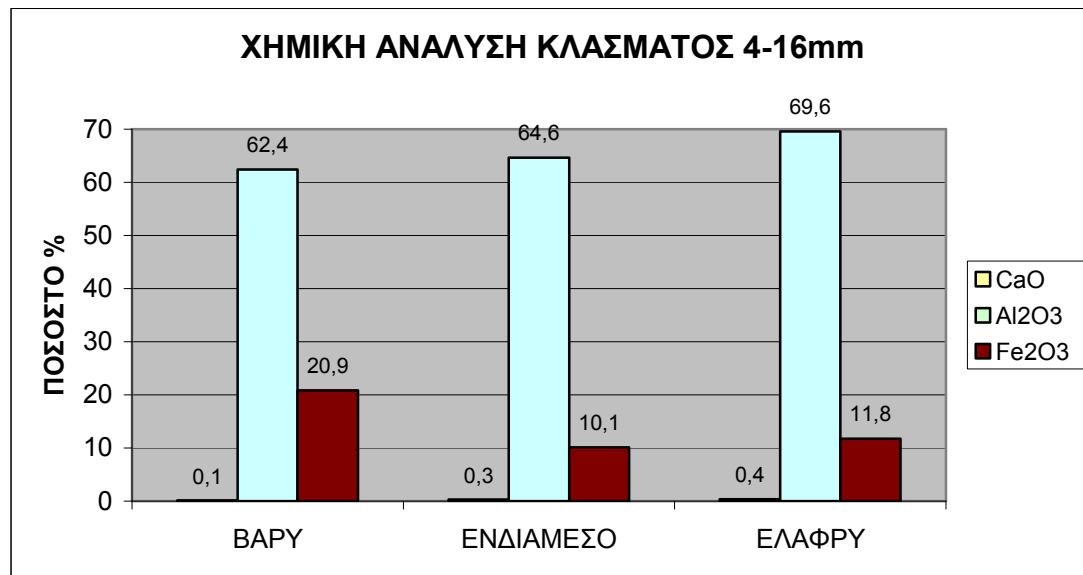
Επίσης ισχύει ότι τα ορυκτά του αργιλίου είναι ελαφρύτερα των ορυκτών του σιδήρου. Η σχέση  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  παρατηρείται ότι αυξάνεται στα ελαφρύτερα. Στο κλάσμα 0,25-1mm παρατηρείται ότι υπάρχει καλύτερη αποδέσμευση και η σχέση  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  ανεβαίνει πολύ. Έτσι προκύπτει ότι το ελαφρύ υλικό του ψιλού κλάσματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες χρήσεις πέραν της παραγωγής αλουμινίας



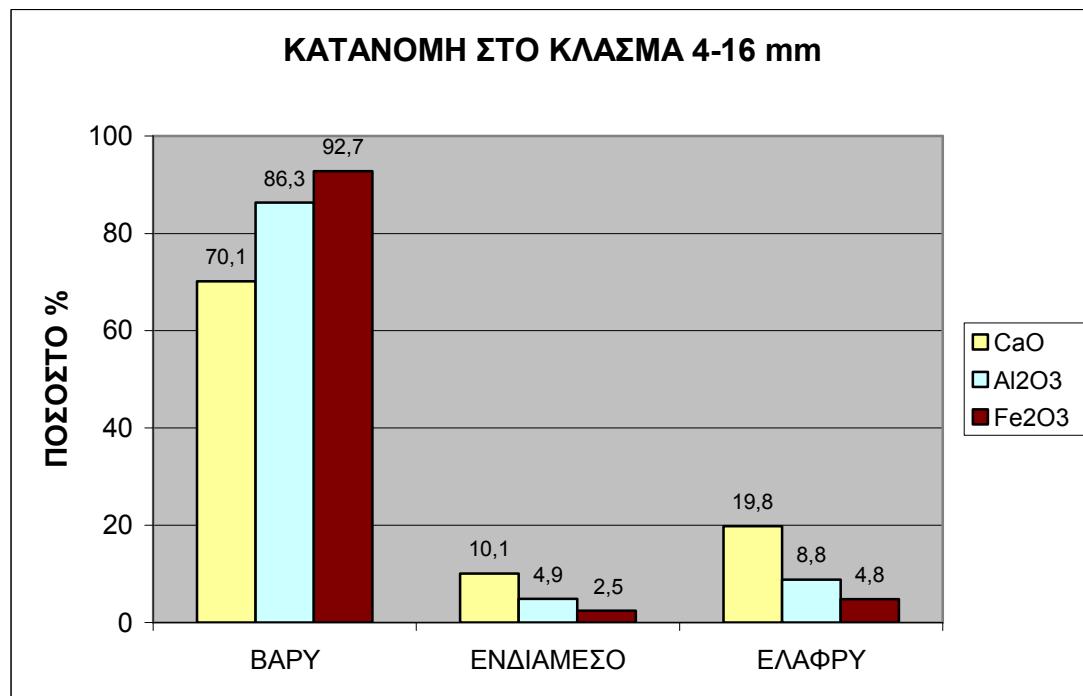
Διάγραμμα 6.12: Κατανομή βαρών κλασμάτων ανά προϊόν.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή του βάρους κάθε προϊόντος για κάθε τάξη μεγέθους. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κάθε κλάσματος καταλήγει στο προϊόν που έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από  $2,9 \text{ gr/cm}^3$ .

Στη συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα με τη χημική ανάλυση των προϊόντων κάθε κλάσματος.

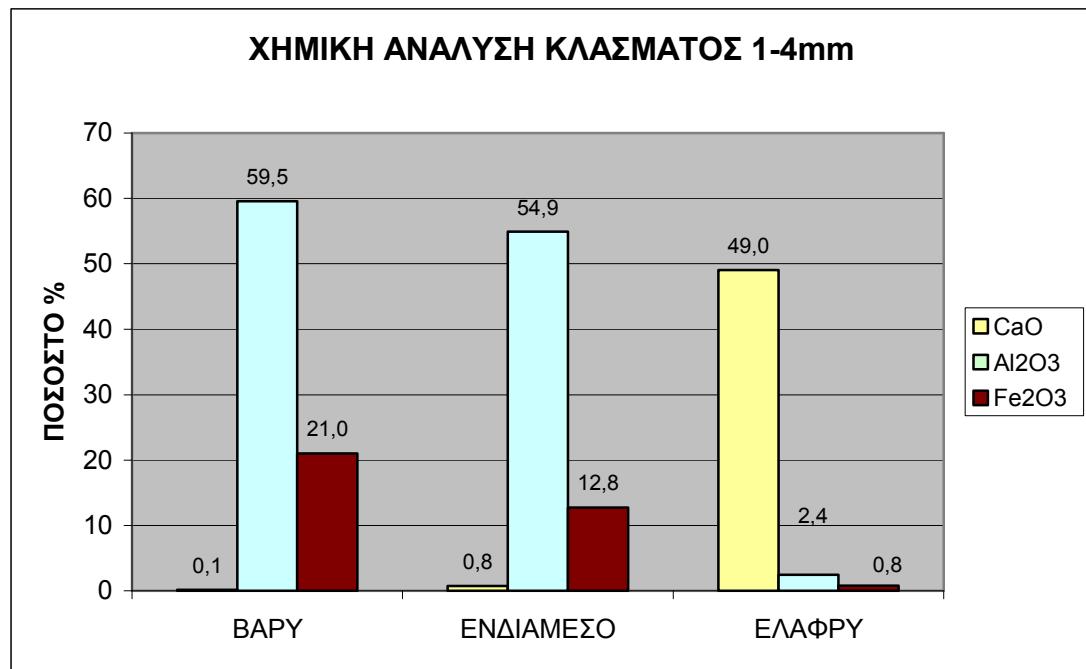


Διάγραμμα 6.13: Χημική ανάλυση κλάσματος 4-16mm

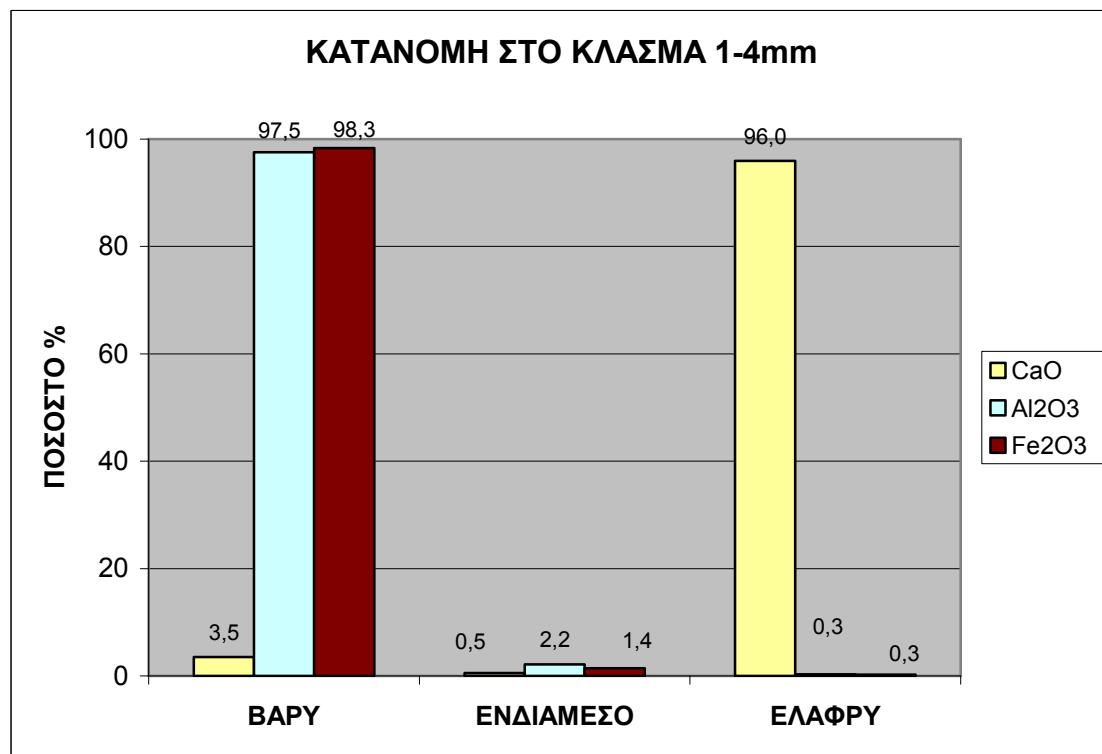


Διάγραμμα 6.14: Κατανομή στο κλάσμα 4-16mm

Στα παραπάνω διαγράμματα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό CaO καταλήγει στο βαρύ προϊόν προφανώς λόγω κακής αποδέσμευσης.

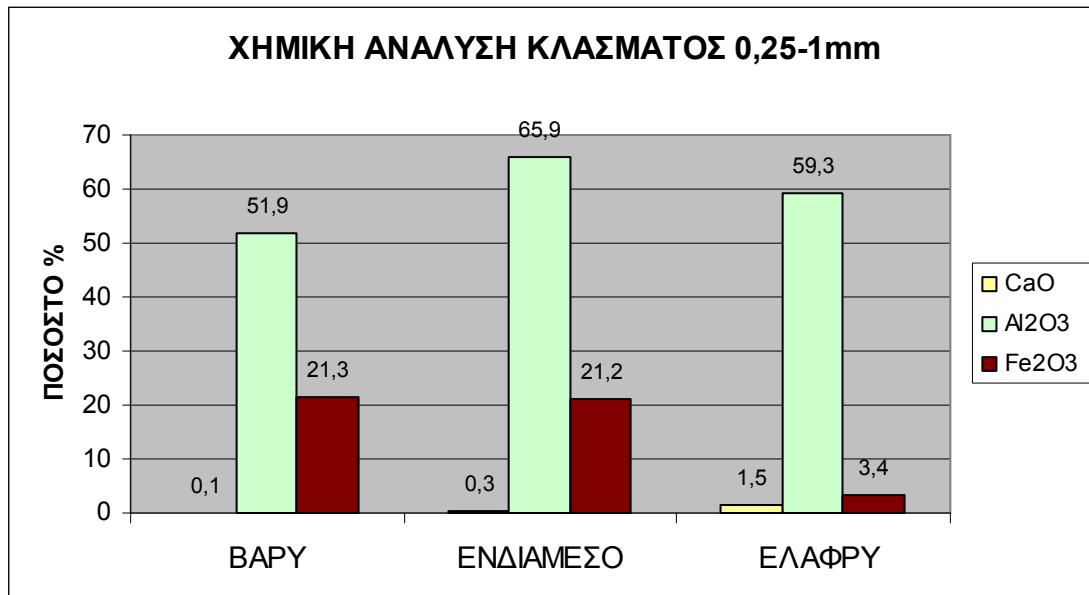


Διάγραμμα 6.15: Χημική ανάλυση κλάσματος 1-4mm

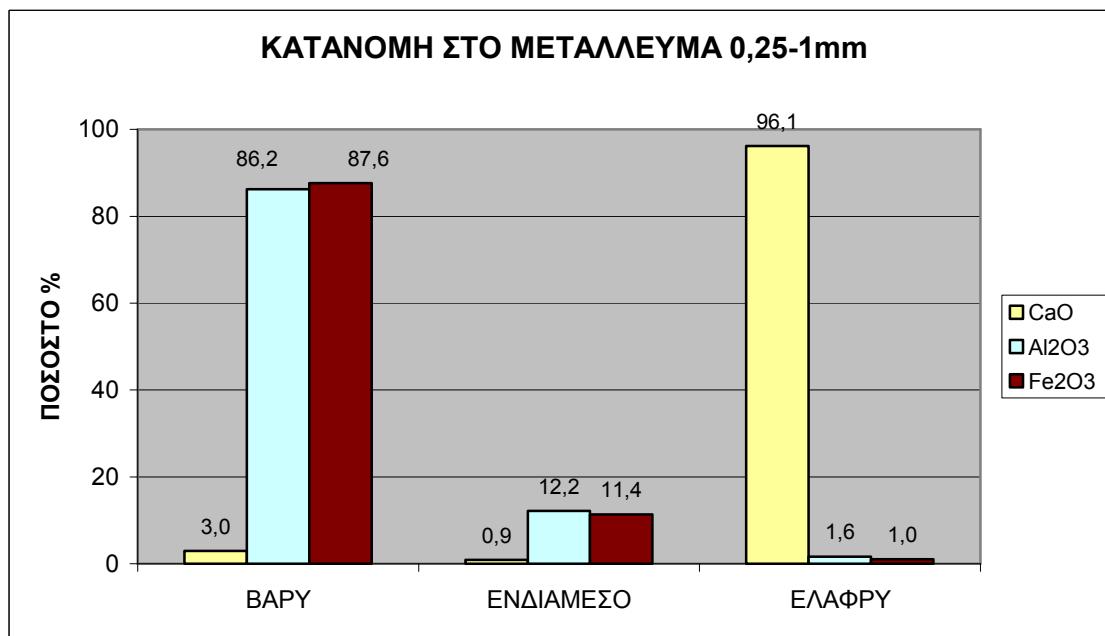


Διάγραμμα 6.16: Κατανομή στο κλάσμα 1-4mm

Εδώ παρατηρείται ότι υπάρχει βελτίωση σε ότι αφορά την αποδέσμευση των οξειδίων του ασβεστίου αφού φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος τους καταλήγει στο ελαφρύ προϊόν.



Διάγραμμα 6.17: Χημική ανάλυση κλάσματος 0.25-1mm



Διάγραμμα 6.18: Κατανομή στο κλάσμα 0.25-1mm

Εδώ φαίνεται ότι υπάρχει η καλύτερη αποδέσμευση και από τις τρεις τάξεις μεγέθους και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι στο ελαφρύ προϊόν καταλήγει το μεγαλύτερο μέρος του CaO που περιέχεται στο δείγμα αλλά και σε σχέση με τις άλλες τάξεις μεγέθους πάλι καταλήγει το μεγαλύτερο μέρος του CaO.

Πίνακας 6.8 Αθροιστικά αποτελέσματα διαχωρισμού βαρέων υγρών με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

			ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %					
			ΣΤΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΑ									
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ g/cm <sup>3</sup>	ΒΑΡΟΣ %	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
4-16mm	+2,9	87,25	0,12	62,43	20,86	2,21	13,00	70,13	86,31	92,74	79,76	85,78
	+2,7	92,00	0,13	62,54	20,30	2,30	13,09	80,20	91,18	95,19	87,42	91,11
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	0,15	63,11	19,62	2,42	13,22	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1-4mm	+2,9	91,42	0,13	59,55	21,00	2,00	12,95	3,53	97,55	98,30	87,21	79,74
	+2,7	93,63	0,14	59,44	20,81	2,15	13,03	4,04	99,72	99,74	95,75	82,15
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	3,26	55,81	19,53	2,10	14,84	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,25-1mm	+2,9	82,99	0,09	58,46	21,32	2,07	12,96	2,95	86,21	87,59	70,36	74,86
	+2,7	93,82	0,10	59,02	21,30	2,27	13,07	3,87	98,40	98,95	87,26	85,31
	ΣΥΝΟΛΟ	100	2,41	56,278	20,2	2,44	14,37	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι είναι συμφέρουσα η χρήση των προϊόντων με μεγαλύτερη πυκνότητα από 2,7gr/cm<sup>3</sup>. Αυτό το προϊόν παρουσιάζει μεγάλη ανάκτηση βάρους και οξειδίων του αργιλίου και επιπλέον η ανάλυση σε οξείδια του ασβεστίου αυξάνεται ελάχιστα, που αυτό είναι και το θεμιτό.

### **6.2.1.2 Αποτελέσματα της ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης**

Στα προϊόντα του διαχωρισμού των βαρέων υγρών του κλάσματος +0,25-1mm, πραγματοποιήθηκαν ποιοτικά ακτινογραφήματα (XRD), τα οποία δείχνουν τις ορυκτολογικές φάσεις και παρατίθενται στο παράρτημα. Επίσης από τα αποτελέσματα των ακτινοδιαγραμμάτων έγιναν και ημιποσοτικές ορυκτολογικές αναλύσεις και παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 6.9 : Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση

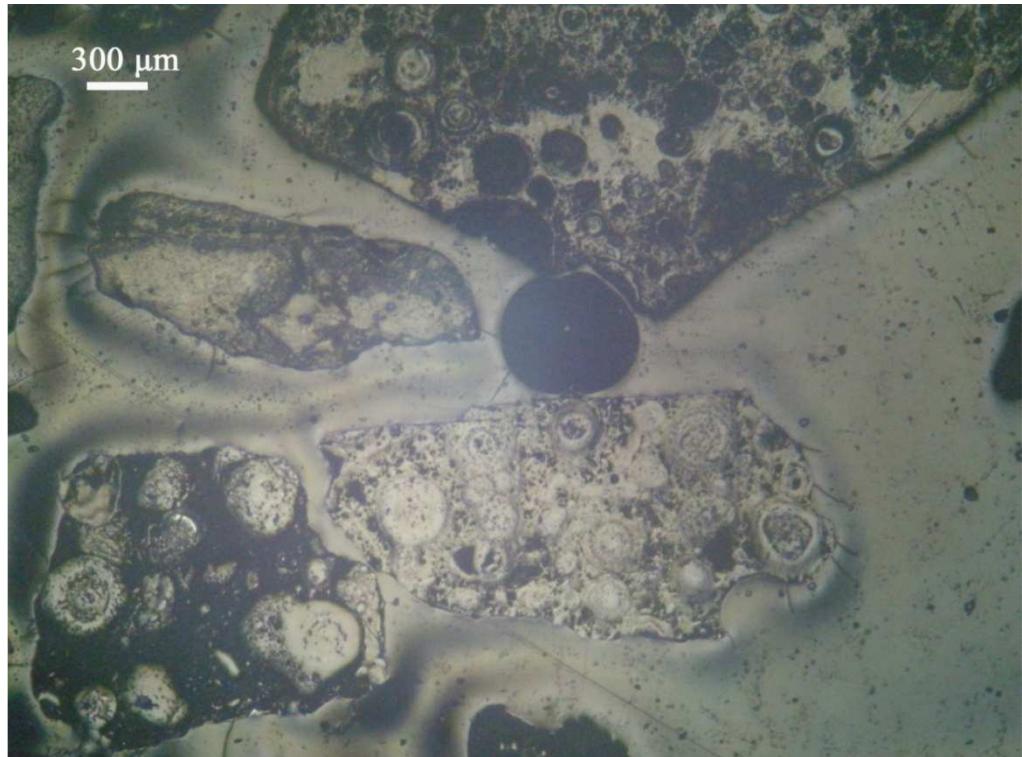
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 0,25-1 mm				
ΟΡΥΚΤΟ	ΠΡΟΙΟΝ ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ %		
		ΒΑΡΥ	ΕΔΙΑΜΕΣΟ	ΕΛΑΦΡΥ
ΔΙΑΣΠΟΡΟ	AlOOH	59	42	3,7
ΒΑΙΜΙΤΗΣ	AlO(OH)	17	37	5,4
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	9	3,3
ΑΝΑΤΑΣΗΣ	TiO <sub>2</sub>	2	2	1,6
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	CaCO <sub>3</sub>	2	4	80,6
ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	Fe(OH)	8	6	1,6
ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	0	0	3,8

Από το παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι τα βωξιτικά ορυκτά υπερέχουν των ασβεστιτικών στο βαρύ και στο ενδιάμεσο ενώ στο ελαφρύ προϊόν τα ασβεστιτικά πλεωνάζουν των βωξιτικών.

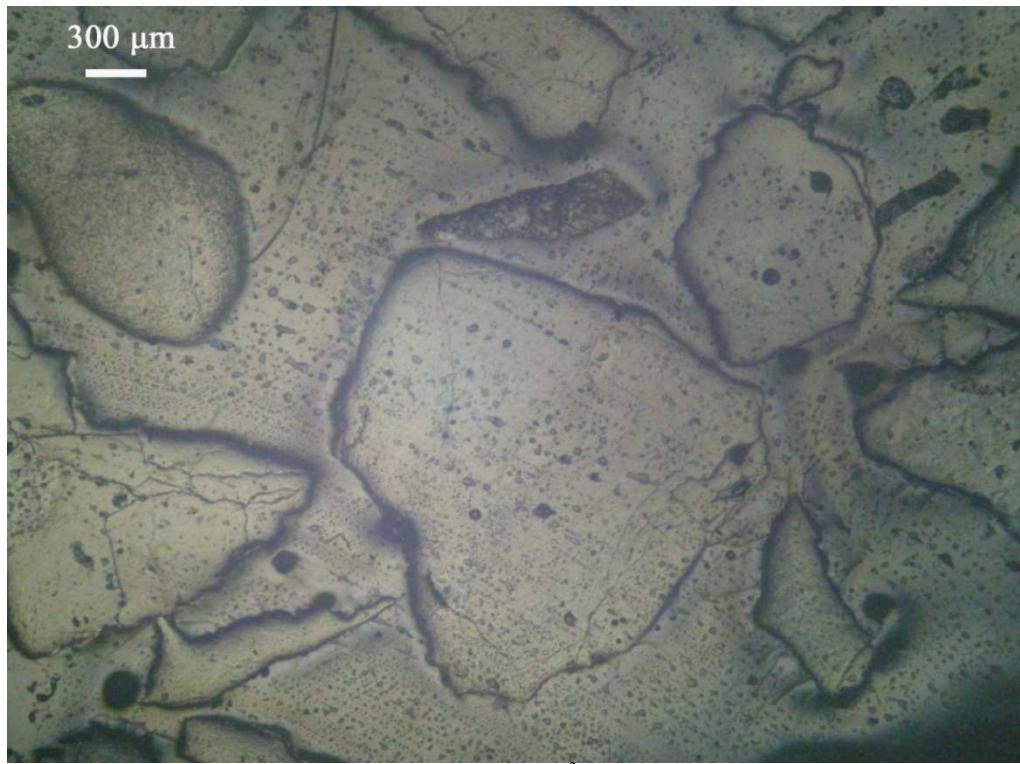
Από τα κλάσματα +0,25-1mm και +1-4mm παρασκευάσθηκαν στιλπνές τομές με σκοπό να παρατηρηθούν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Οι ο-ρυκτολογικές φάσεις των προϊόντων του διαχωρισμού των βαρέων υγρών φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 6.8: Φωτογραφία του προϊόντος  $+2,96 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος 1-4mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

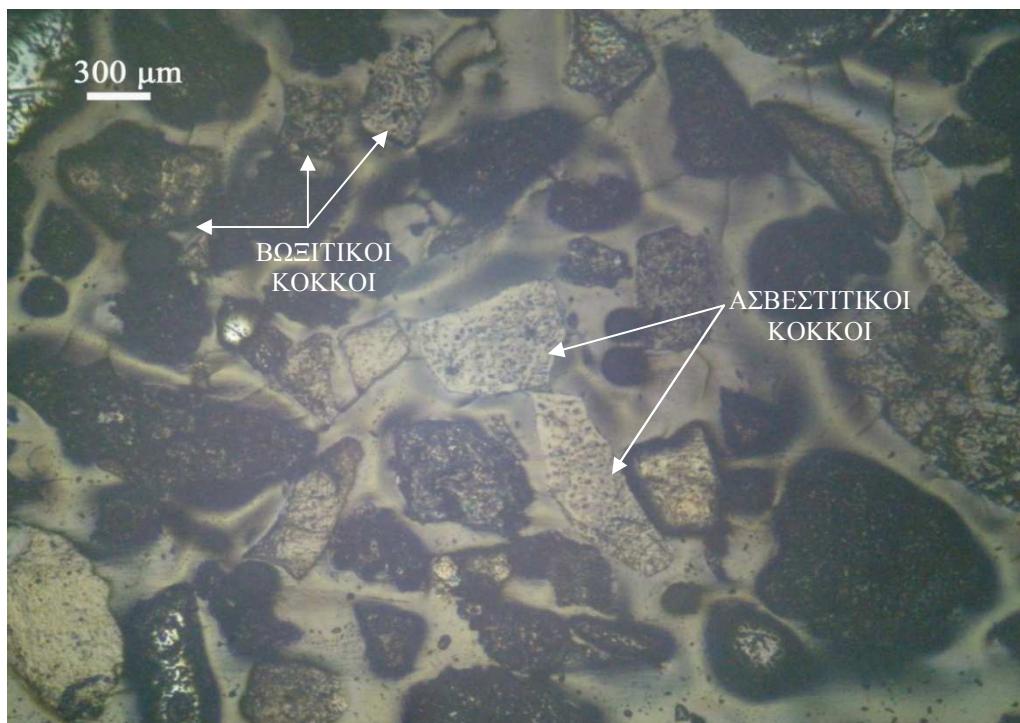


Εικόνα 6.9: Φωτογραφία του προϊόντος  $+2,70 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος 1-4mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

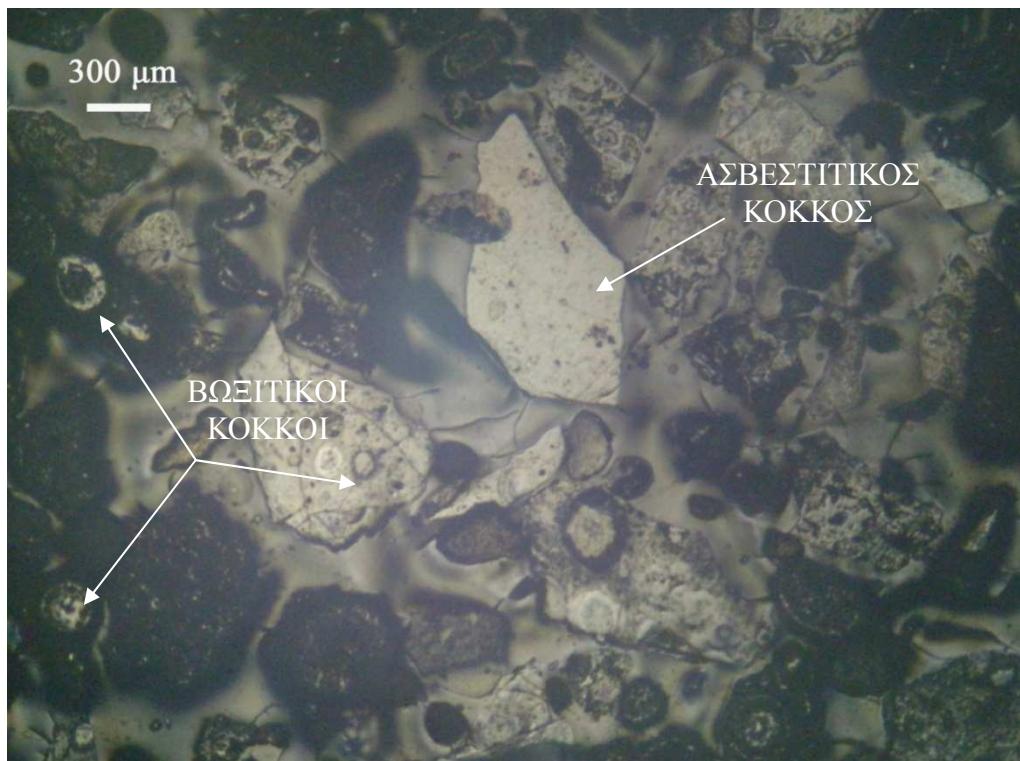


Εικόνα 6.10: Φωτογραφία του προϊόντος  $-2,70 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος 1-4mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

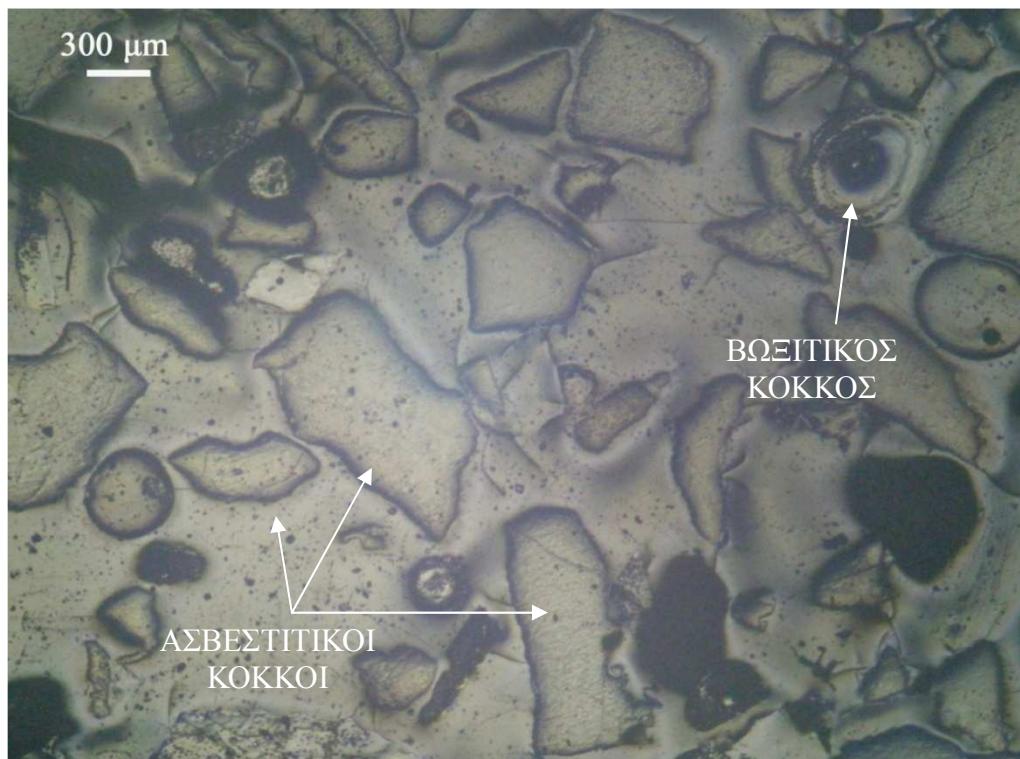
Στις εικόνες 6.8 έως 6.10 φαίνονται τα προϊόντα του διαχωρισμού των βαρέων υγρών της τάξης μεγέθους 1-4mm. Αυτό που παρατηρείται στις δύο πρώτες εικόνες είναι σύμμεικτοι βωξιτικοί κόκκοι ενώ στη τελευταία κόκκοι ασβεστίτη.



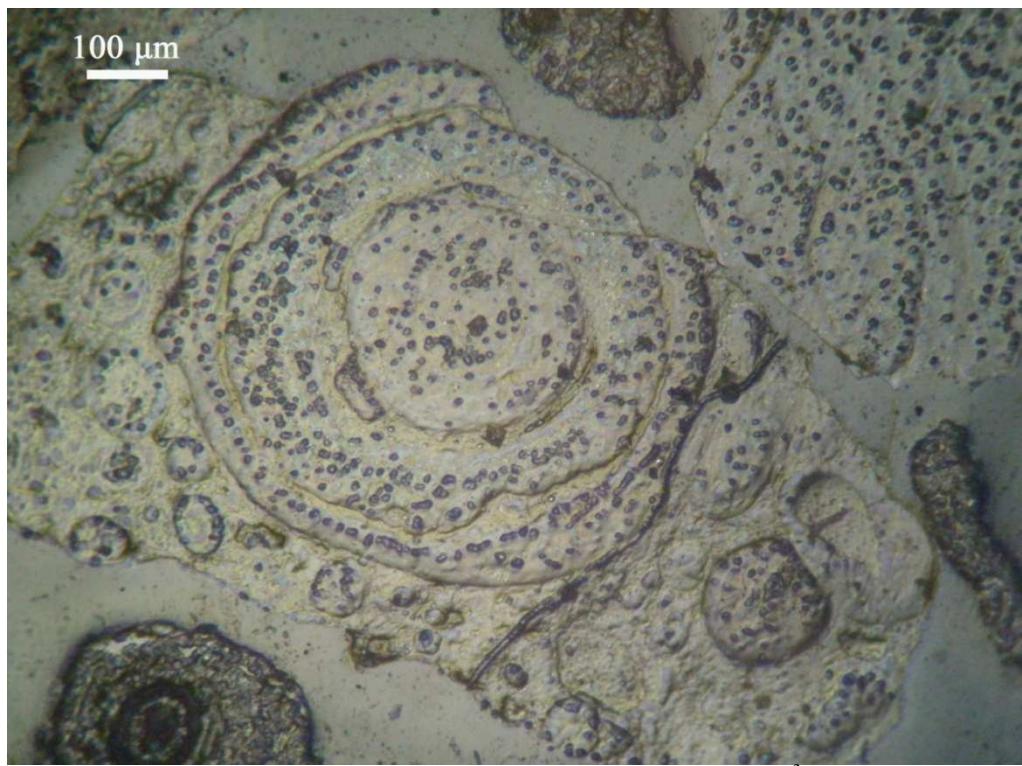
Εικόνα 6.11: Πανοραμική φωτογραφία του προϊόντος  $+2,96 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος  $+0,25-1\text{mm}$   
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.12: Πανοραμική φωτογραφία του προϊόντος  $+2,70 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος  $0,25\text{-}1\text{mm}$   
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.13: Πανοραμική φωτογραφία του προϊόντος  $-2,70 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος  $0,25\text{-}1\text{mm}$   
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.14: Φωτογραφία βωξιτικών κόκκων του προϊόντος  $+2,96 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού υγρών διαμέσων του κλάσματος  $0,25-1\text{mm}$   
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.15: Φωτογραφία βωξιτικών και ασβεστιτικών κόκκων του προϊόντος  $+2,70 \text{ gr/cm}^3$  του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος  $0,25-1\text{mm}$   
Ανακλώμενο φως //Nic.



Εικόνα 6.16: Φωτογραφία ασβεστικών κόκκων του προϊόντος -2,70 gr/cm<sup>3</sup> του διαχωρισμού βαρέων υγρών του κλάσματος 0,25-1mm  
Ανακλώμενο φως //Nic.

Από την ορυκτολογική εξέταση προκύπτουν τα εξής:

Στο κοκκομετρικό κλάσμα 1-4mm αλλά και στο κλάσμα 0,25-1mm γίνεται ένας καλός διαχωρισμός των βωξιτικών κόκκων από τους ασβεστικούς αυτό φαίνεται από τις εικόνες 6.8 έως 6.13 αφού παρατηρείται μια κατανομή στους κόκκους των προϊόντων τέτοια ώστε στα βαριά προϊόντα να υπάρχουν επί το πλείστον βωξιτικοί κόκκοι, στα ενδιάμεσα να παρατηρείται μια συνύπαρξη βωξιτικών και ασβεστικών κόκκων και στα ελαφριά την επί το πλείστον ύπαρξη ασβεστικών κόκκων. Επίσης παρατηρείται από τις εικόνες 6.14, 6.15 η δομή των βωξιτικών κόκκων, που ευθύνεται για το γεγονός ότι δεν μπορεί να διαχωριστούν πλήρως τα ορυκτά του αργιλίου, του πυριτίου, του σιδήρου, και του ασβεστίου με φυσικές διεργασίες.

### 6.2.2 Διαχωρισμός δονούμενης τράπεζας

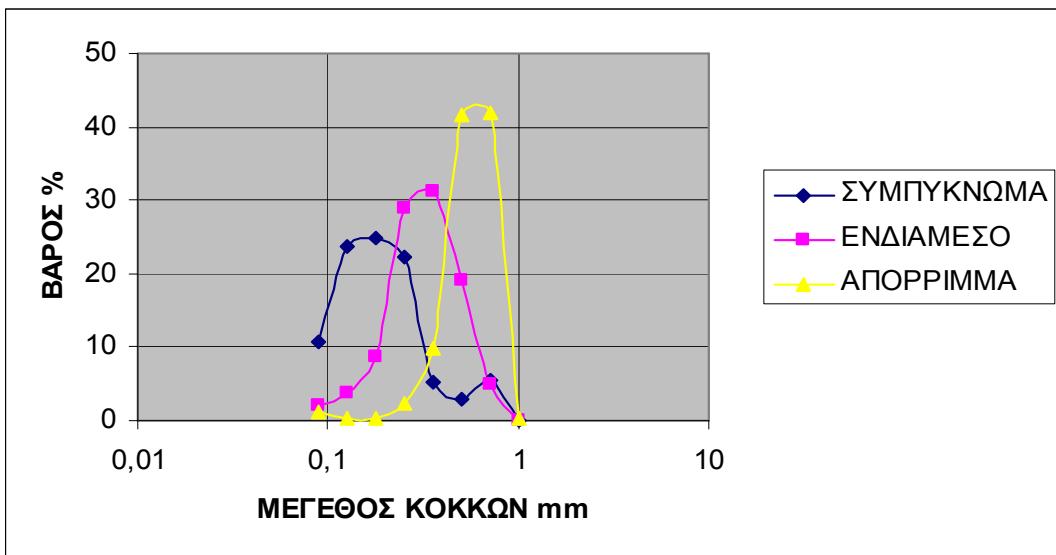
Οι δοκιμές στη δονούμενη τράπεζα έγιναν στο κλάσμα 0,075mm-1mm, που προέκυψε από την θραύση του μεταλλεύματος που έστειλε η εταιρία Αλουμίνιο της Ελλάδος. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Αρχικά ρυθμίστηκε η παροχή νερού και η κλίση της τράπεζας. Στη συνέχεια εισήχθη το δείγμα και πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

### 6.2.2.1 Αποτελέσματα δονούμενης τράπεζας

Όλα τα προϊόντα του διαχωρισμού με δονούμενη τράπεζα ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος είναι ότι η δονούμενη τράπεζα εκτός από βαρυτομετρικό διαχωρισμό, κάνει και μια υποτυπώδη κοκκομετρική ταξινόμηση. Τα προαναφερθέντα παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες. Στον πίνακα 6.10 παρουσιάζεται η κοκκομετρική κατανομή των προϊόντων της δονούμενης τράπεζας. Στον πίνακα 6.11 παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις και η κατανομή των οξειδίων στο κάθε προϊόν του κλάσματος.

Πίνακας 6.10: Κοκκομετρική κατανομή των προϊόντων της δονούμενης τράπεζας

Μέγεθος mm	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ
	Βάρος %	Βάρος %	Βάρος %
1	0,33	0,00	0,00
0,71	41,97	5,00	5,49
0,5	41,48	19,03	2,75
0,355	9,94	31,30	5,22
0,25	2,20	28,85	22,39
0,18	0,33	8,59	25,00
0,125	0,41	3,73	23,76
0,09	1,06	1,98	10,71
-0,09	2,28	1,51	4,67
Σύνολο	100,00	100,00	100,00



Διάγραμμα 6.19: Κοκκομετρική κατανομή στα προϊόντα της δονούμενης τράπεζας.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η δονούμενη τράπεζα κάνει μια κοκκομετρική διαβάθμιση με αποτέλεσμα στο απόρριμμα οι περισσότεροι κόκκοι να έ-

χουν μέγεθος από 0,355mm έως 1mm, στο ενδιάμεσο οι περισσότεροι να κυμαίνονται από 0,255mm έως 0,71mm και στο συμπόκνωμα οι περισσότεροι να κυμαίνονται από 0,09mm έως 0,355mm.

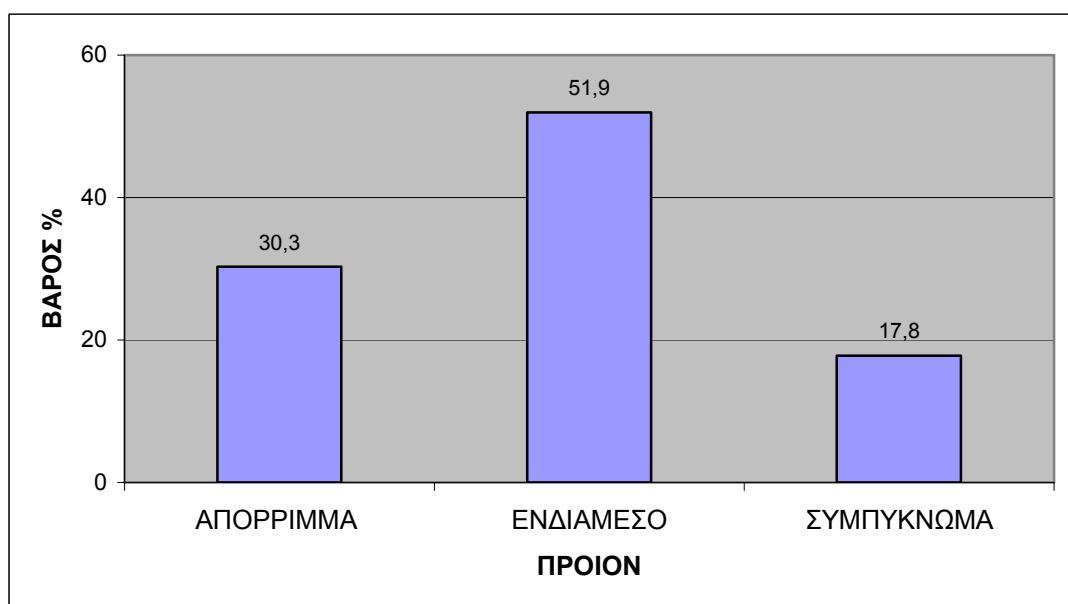
Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας με τις χημικές αναλύσεις και τις κατανομές των οξειδίων στα προϊόντα της δονούμενης τράπεζας και γραφικές παραστάσεις που οπτικοποιούν τα δεδομένα του πίνακα.

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα διαχωρισμού στη δονούμενη τράπεζα με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή επί του κλάσματος

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΡΟΙΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					$\Sigma$ ΣΧΕΣΗ $Al_2O_3 / Fe_2O_3$	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
			CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI		CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	LOI
0,075-1mm	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	30,26	2,49	58,86	12,96	2,11	15,72	4,54	58,84	30,39	25,56	30,62	32,82
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	51,93	0,91	58,77	15,37	2,11	14,45	3,82	36,78	52,08	52,04	52,71	51,77
	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	17,81	0,31	57,69	19,31	1,95	12,55	2,99	4,38	17,53	22,41	16,67	15,41
	ΣΥΝΟΛΟ	100,0	1,28	58,61	15,34	2,08	14,50		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

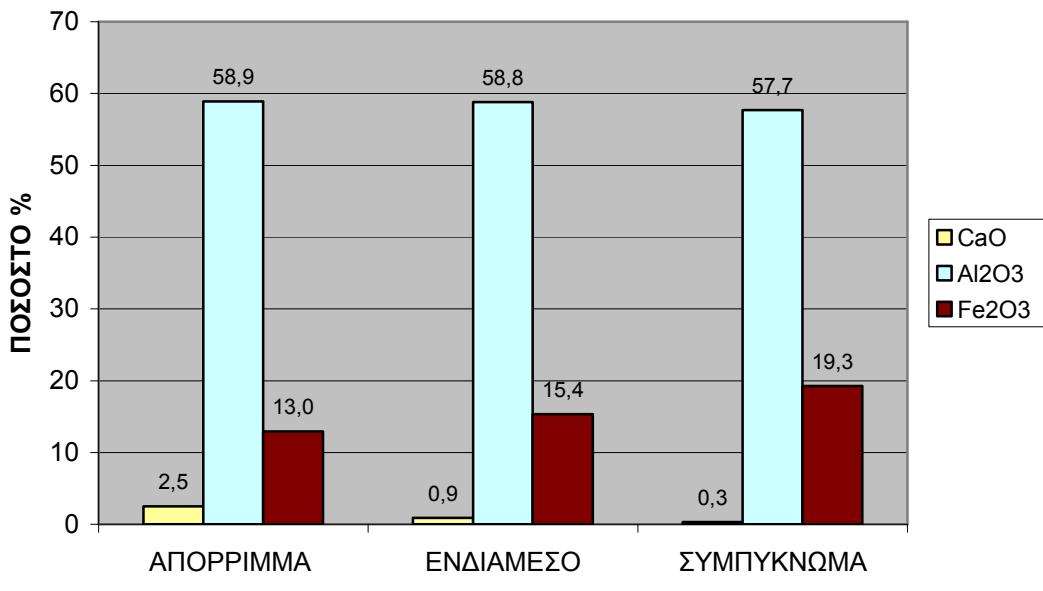
Από τον παραπάνω πίνακα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Καταρχήν φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της τροφοδοσίας καταλήγει στο ενδιάμεσο προϊόν της δονούμενης τράπεζας. Έπειτα παρόλο που φαίνεται ότι υπάρχει ένας καλός διαχωρισμός στα οξείδια του ασβεστίου στα προϊόντα της δονούμενης τράπεζας. Όμως δεν παρατηρείται κάποιος διαχωρισμός στα οξείδια του αργιλίου. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος αυτή είναι συμφέρουσα μόνο για την περίπτωση που οι προδιαγραφές επιβάλλουν την απομάκρυνση του ασβεστίου. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τα παρακάτω διαγράμματα.



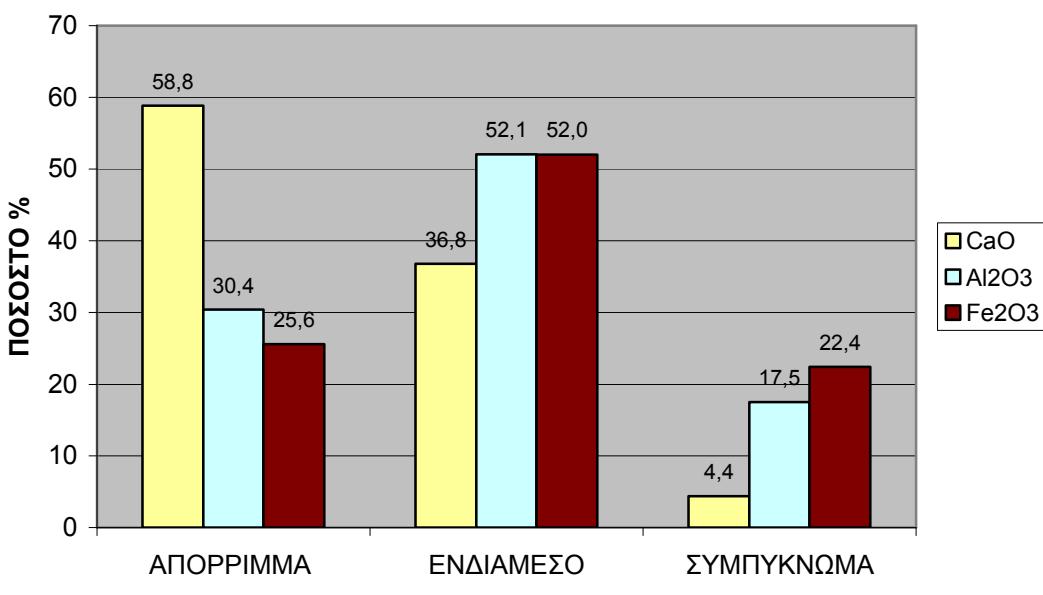
Διάγραμμα 6.20: Κατανομή βάρους των προϊόντων της δονούμενης τράπεζας.

### ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ 0,075-1mm



Διάγραμμα 6.21: Χημική ανάλυση κλάσματος 0,075-1 mm

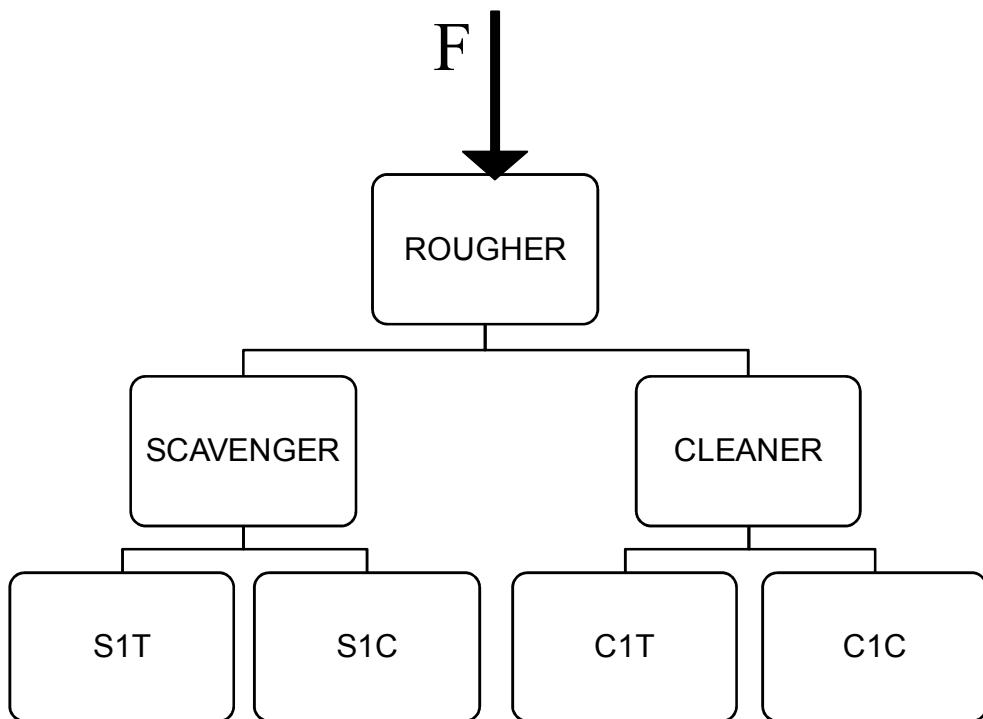
### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ 0,075-1mm



Διάγραμμα 6.22: Κατανομή στο κλάσμα 0,075-1 mm

### 6.2.3 Αεροδιαχωρισμός

Οι δοκιμές στον αεροδιαχωριστή έγιναν στα κλάσματα +0,5-1 mm και +1-2 mm, από υλικό που προέκυψε από θραύση του αρχικού μεταλλεύματος. Το κύκλωμα του αεροδιαχωριστή έχει ως εξής: Γίνεται εισαγωγή της τροφοδοσίας στον αεροδιαχωριστή, όπου και πραγματοποιείται ένας πρώτος διαχωρισμός(rougher). Το συμπύκνωμα (βαρύ) του rougher ακολουθεί ένα δεύτερο στάδιο διαχωρισμού (cleaner). Ομοίως και το απόρριμμα που προκύπτει από το rougher, ξαναδιαχωρίζεται στο scavenger. Τα προϊόντα του scavenger και του cleaner είναι αυτά που ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Στον παρακάτω πίνακα 6.9, παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις του αεροδιαχωριστή, η τροφοδοσία του κάθε σταδίου, καθώς και η πυκνότητα του κάθε προϊόντος.



Σχήμα 6.1: Κύκλωμα αεροδιαχωρισμού

Πίνακας 6.12: Ρυθμίσεις αεροδιαχωριστή και πυκνότητες σε κάθε προϊόν του διαχωρισμού

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΣΤΑΔΙΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΠΡΟΙΟΝ	ΠΥΚΝΟ- ΤΗΤΑ g/cm <sup>3</sup>	ΟΓΚΟΣ ΠΡΟΙΟ- ΝΤΟΣ ml	ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΟΝΗΣΗΣ	ΑΕΡΑΣ m/s
1-2(mm)	ROUGHER	ΤΡΟΦΗ	1,383	1000	25	0,7
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,406	500		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,376	500		
	SCAVENGER	ΤΡΟΦΗ	1,376	500	21	0,9
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,421	250		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,283	250		
	CLEANER	ΤΡΟΦΗ	1,406	500	22	0,7
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,408	250		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,365	250		
0,5-1(mm)	ROUGHER	ΤΡΟΦΗ	1,482	1000	15	0,4
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,518	500		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,401	500		
	SCAVENGER	ΤΡΟΦΗ	1,401	500	12	0,3
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,397	250		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,357	250		
	CLEANER	ΤΡΟΦΗ	1,518	500	15	0,3
		ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	1,55	250		
		ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1,55	250		

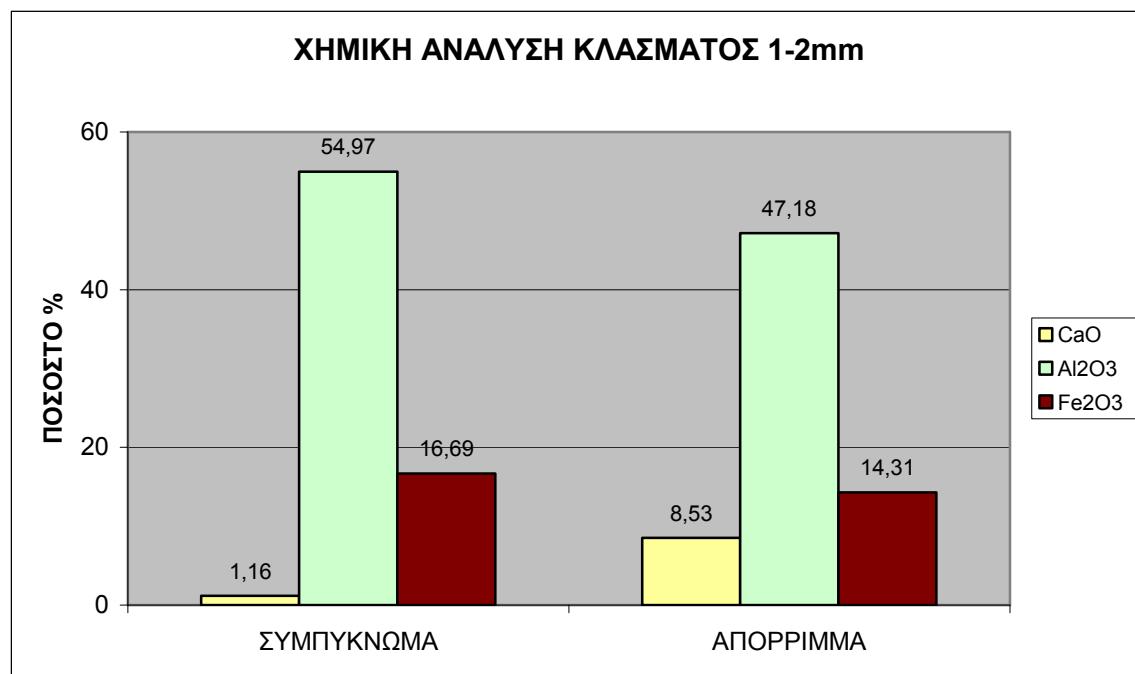
### 6.2.3.1 Αποτελέσματα αεροδιαχωρισμού

Τα τελικά προϊόντα του αεροδιαχωρισμού που είναι τα βαρια του cleaner και τα ελαφρυά του scavenger, ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Στον πίνακα 6.15 παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις, και η κατανομή του κάθε προϊόντος στο κλάσμα.

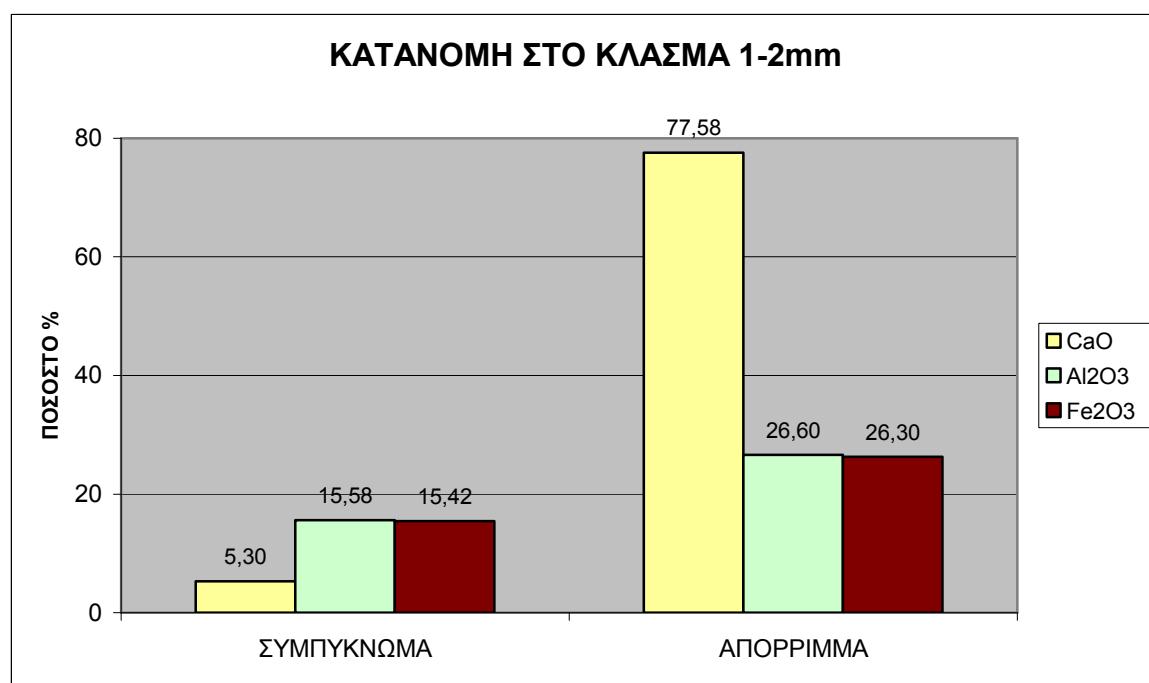
Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα αεροδιαχωρισμού με τις αντίστοιχες χημικές αναλύσεις και την κατανομή των οξειδίων στα προϊόντα

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΣΤΑΔΙΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΠΡΟΙΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ %					ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
				CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	LOI	CaO	Al2O3	Fe2O3	SiO2	LOI
1-2(mm)	ROUGHER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	41,52	1,17	54,87	17,41	2,03	14,59	14,65	42,65	44,12	40,94	39,58
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	58,48	4,83	52,38	15,66	2,08	15,81	85,35	57,35	55,88	59,06	60,42
	SCAVENGER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	28,36	0,91	57,90	17,09	2,09	14,18	7,77	30,74	29,59	28,76	26,27
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	30,12	8,53	47,18	14,31	2,08	17,35	77,58	26,60	26,30	30,30	34,15
	CLEANER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	15,14	1,16	54,97	16,69	2,29	14,58	5,30	15,58	15,42	16,79	14,43
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	26,38	1,17	54,82	17,82	1,89	14,59	9,35	27,07	28,69	24,15	25,15
ΣΥΝΟΛΟ				<b>100</b>	<b>3,31</b>	<b>53,41</b>	<b>16,39</b>	<b>2,06</b>	<b>15,30</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
0,5-1(mm)	ROUGHER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	45,69	0,63	59,70	12,73	1,78	14,08	30,76	47,82	51,35	44,88	43,39
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	54,31	1,19	54,80	10,14	1,84	15,45	69,24	52,18	48,65	55,12	56,61
	SCAVENGER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	27,58	1,17	56,53	14,83	1,81	15,12	34,80	27,33	36,11	27,56	28,14
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	26,73	1,20	53,01	5,31	1,86	15,78	34,44	24,85	12,54	27,56	28,47
	CLEANER	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	19,38	0,49	58,85	17,72	1,68	13,62	10,12	20,00	30,34	17,96	17,81
		ΑΠΙΟΡΡΙΜΜΑ	26,31	0,73	60,33	9,05	1,85	14,41	20,64	27,83	21,01	26,91	25,58
ΣΥΝΟΛΟ				<b>100</b>	<b>0,93</b>	<b>57,04</b>	<b>11,32</b>	<b>1,81</b>	<b>14,82</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

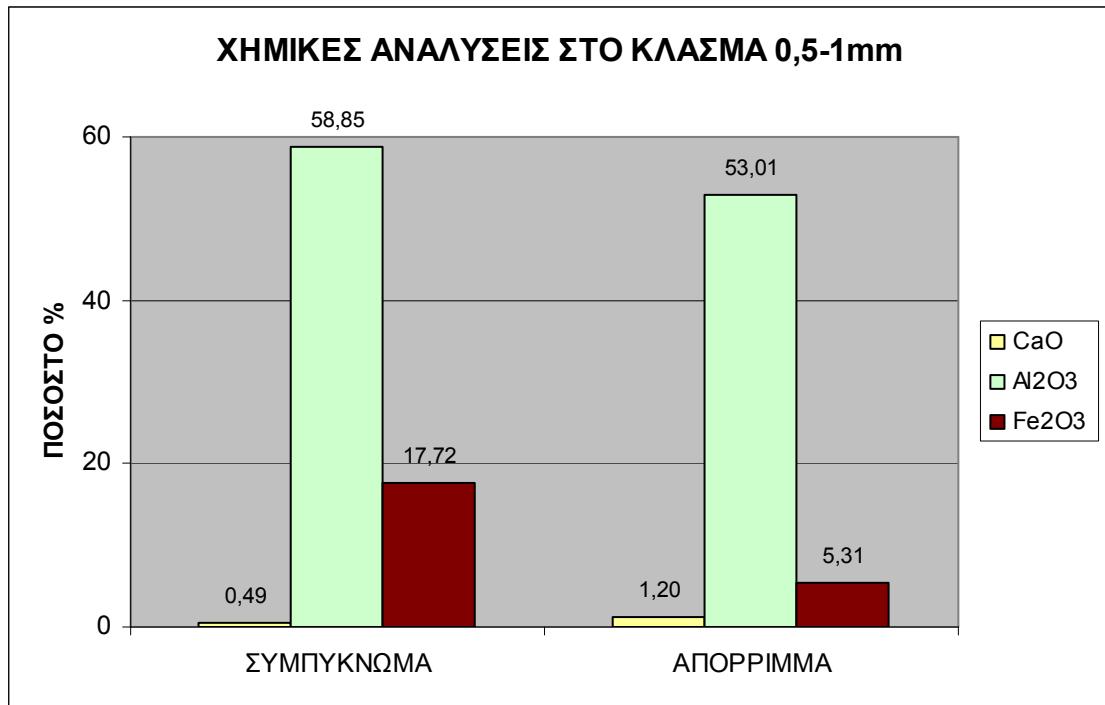
Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που έγιναν στα προϊόντα του αεροδιαχωρισμού προκύπτουν τα εξής. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι ο αεροδιαχωρισμός θα βοηθούσε σε περίπτωση που οι προδιαγραφές των προϊόντων αφορούν το ανθρακικό ασβέστιο και όχι τον εμπλουτισμό τους σε οξείδια του αργιλίου, αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι μόνο στο ασβέστιο παρατηρείται ένας καλός διαχωρισμός. Ένα ακόμα συμπέρασμα είναι ότι παρατηρείται μεγάλη απώλεια σε βάρος.



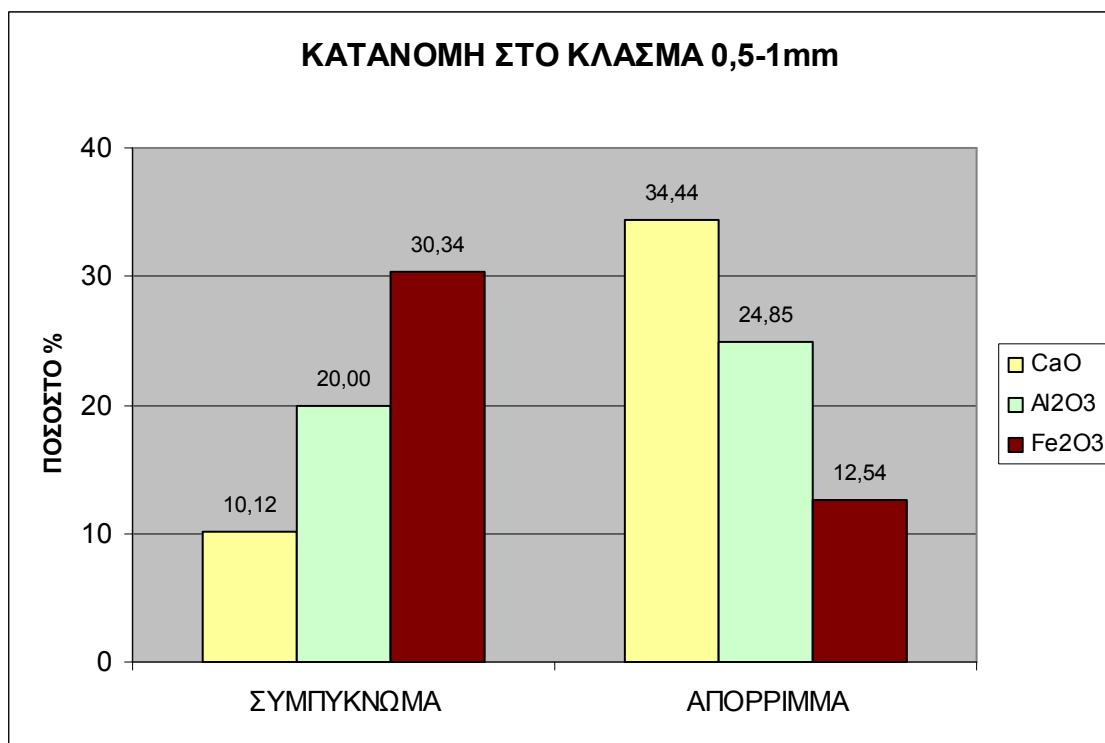
Διάγραμμα 6.23: Χημική ανάλυση του κλάσματος 1-2mm



Διάγραμμα 6.24: Κατανομή στο κλάσμα 1-2mm



Διάγραμμα 6.25: Χημική ανάλυση του κλάσματος 0,5-1mm



Διάγραμμα 6.26: Κατανομή στο κλάσμα 0,5-1mm

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από όλες τις διαδικασίες διαχωρισμού καθώς και από την μικροσκοπική παρατήρηση των στιλπνών τομών, είναι ότι η δομή των ορυκτών που αποτελούν το βωξίτη είναι τέτοια ώστε να μην επιτρέπει τον διαχωρισμό τους. Σε αυτό επίσης οφείλεται και η μη απομάκρυνση των πυριτικών ορυκτών.

Εν πρώτης παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν για κάθε μέθοδο διαχωρισμού και στην συνέχεια γίνεται μια σύγκριση ώστε να βρεθεί η καλύτερη μέθοδος διαχωρισμού μεταλλεύματος διασπορικού βωξίτη.

Στις δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού παρατηρήθηκε ότι στα διάφορα κλάσματα πραγματοποιείται ένας καλός διαχωρισμός, καθώς υπάρχει μια ικανοποιητική ανάκτηση σε οξείδια του αργιλίου και ελαχιστοποίηση των οξειδίων του ασβεστίου στα μαγνητικά κλάσματα. Παρόμοια αποτελέσματα εξάγονται και από την δοκιμή του μαγνητικού διαχωρισμού με τα τέσσερα διαδοχικά περάσματα. Σε αυτή την μέθοδο παρατηρείται ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική αποδέσμευση των οξειδίων του ασβεστίου.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές βαρέων υγρών όπου παρατηρήθηκε η επίτευξη ενός καλού διαχωρισμού αφού τα συμπυκνώματα των πειραμάτων ήταν πλούσιότερα σε οξείδια του αργιλίου και φτωχότερα σε οξείδια του ασβεστίου σε σύγκριση με τα αρχικά δείγματα. Το προβληματικό σημείο αυτής της διαδικασίας είναι ότι στο κλάσμα 4-16mm μπορεί η ποιότητα σε οξείδια του ασβεστίου να φαίνεται καλή αλλά από την κατανομή των οξειδίων στα προϊόντα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος των οξειδίων του ασβεστίου καταλήγει στο συμπύκνωμα της διαδικασίας. Γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει καλή αποδέσμευση στην συγκεκριμένη τάξη μεγέθους.

Η τρίτη σειρά πειραμάτων ήταν η δοκιμή σε δονούμενη τράπεζα, όπου γίνεται ένας υποτυπώδης κοκκομετρικός διαχωρισμός και από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων φαίνεται συμφέρουσα μόνο σε περίπτωση που υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές για την απομάκρυνση των οξειδίων του ασβεστίου από το μετάλλευμα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι έχει επιτευχθεί καλός διαχωρισμός μόνο σε οξείδια του ασβεστίου.

Η τελευταία σειρά δοκιμών έγινε στον αεροδιαχωριστή. Με την μέθοδο αυτή γίνεται διαχωρισμός στα οξείδια του ασβεστίου, ενώ η ποιότητα του τελικού προϊό-

ντος σε οξείδια του αργιλίου μπορεί να είναι και φτωχότερη του αρχικού μεταλλεύματος. Αυτό δείχνει ότι και αυτή η μέθοδος θα ήταν συμφέρουσα σε περίπτωση που οι προδιαγραφές του διαχωρισμού αφορούν μόνο την απομάκρυνση των οξειδίων του ασβεστίου από το αρχικό μετάλλευμα.

Τα οξείδια του αργιλίου είναι μη μαγνητικά και ελαφρύτερα από τα αντίστοιχα του σιδήρου που είναι μαγνητικά και βαρύτερα. Τόσο ο μαγνητικός διαχωρισμός όσο και τα βαρέα υγρά τα διαφοροποιούν αλλά όχι σε πλήρη βαθμό διότι δεν υπάρχει η κατάλληλη αποδέσμευση όπως έχει ήδη αναφερθεί. Γενικά θα μπορούσαν να παραχθούν προϊόντα με καλύτερη σχέση Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> που θα μπορούσαν να τύχουν και άλλων εφαρμογών εκτός από την παραγωγή αλουμίνιας.

Τέλος προτείνεται η εφαρμογή κυκλικών δοκιμών στις μεθόδους της δονούμενης τράπεζας και στον αεροδιαχωριστή για την διερεύνηση καλύτερων αποτελεσμάτων σε ότι αφορά τον εμπλουτισμό των ορυκτών του αργιλίου. Επίσης προτείνεται η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής μαγνητικού διαχωρισμού σε βιομηχανική κλίμακα, αφού είναι γνωστό ότι μέχρι στιγμής σε βιομηχανική κλίμακα χρησιμοποιείται μόνο η μέθοδος των βαρέων διαμέσων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. BARDOSSY, G. (1982). "Karst Bauxites". Elsevier. Amsterdam
2. BREUER, R. C., BARSOTTI, L.R. KELLY, A.C. (1963) "Behaviour of silica in sodium-aluminium solutions". Extractive Metallurgy of Aluminium. Edited by Gerard and P.T. Stroup.
3. CHAPLIN,N.T.(1971). "Reaction of lime in sodium aluminate liqour" AIME, Light metals
4. DEER, W.A., R.A. HOWIE, J. ZUSSMAN (1992). "Rock forming minerals" Pearson Education Limited-second edition
5. ERVIN, G. and E.F. OSBORN (1951). "The system  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  at high temperatures and pressures". Journ. Geol.
6. PLUNKERT, P. A. (2007), "Bauxite and Alumina. Minerals Commodity Summaries", Geological Survey, U.S.
7. SOLYMAR, K. and T.FERENCZI (1978). "New possibilities for processing diasporic bauxites". ICSOBA, 4<sup>th</sup> Congres, Athens.
8. ΚΩΣΤΑΚΗΣ, Γ. (1988). "Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Εμμ. (2007). "Εισαγωγή στη Γεωλογία Ελλάδος", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
10. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑ ΕΛ.-Μ. (2008). "Εμπλουτισμός Λατερίτη με φυσικές και χημικές διεργασίες". Διπλωματική Εργασία, Χανιά
11. ΠΑΣΠΑΛΙΑΡΗΣ Ι.(1985). "Συμβολή στη βελτιστοποίηση της εκχύλισης", διδακτορική διατριβή Ε.Μ.Π. Αθήνα.
12. ΠΙΠΕΡΟΓΛΟΥ, Ε.Ν. (1966) "Διαλυτοποίηση των Ελληνικών διασπορούχων βωξιτών". Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π.,Αθήνα
13. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ, Η. (2008). " Μηχανική των τεμαχιδίων ", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
14. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ, Η. (2008). " Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων ", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
15. ΤΣΕΤΣΕΚΟΥ, Α. (2008). "Κεραμικά", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

16. Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης, (1993), Σημειώσεις Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
17. ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ, Α. , ΚΑΤΡΑΚΗΣ, Σ.(1979). “Εισαγωγή εις των Εμπλούτισμό των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών ορυκτών”. Τ.Ε.Ε, Αθήνα
18. ΧΡΙΣΤΟΦΗ- ΜΠΕΒΕΡΑΤΟΥ Ι. (1981). “Υδροσυνθέσεις αστριοειδών”. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
19. ΧΡΙΣΤΙΔΗΣ Γ. (2006). “Σημειώσεις μαθήματος Κοιτασματολογία II”. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

## Ηλεκτρονικές πηγές

<http://el.wikipedia.org>

<http://sam.davyson.com/as/physics/aluminium/site/abundance.html>

<http://www.bgs.ac.uk/mineralsUk/commodity/europe/home.html>

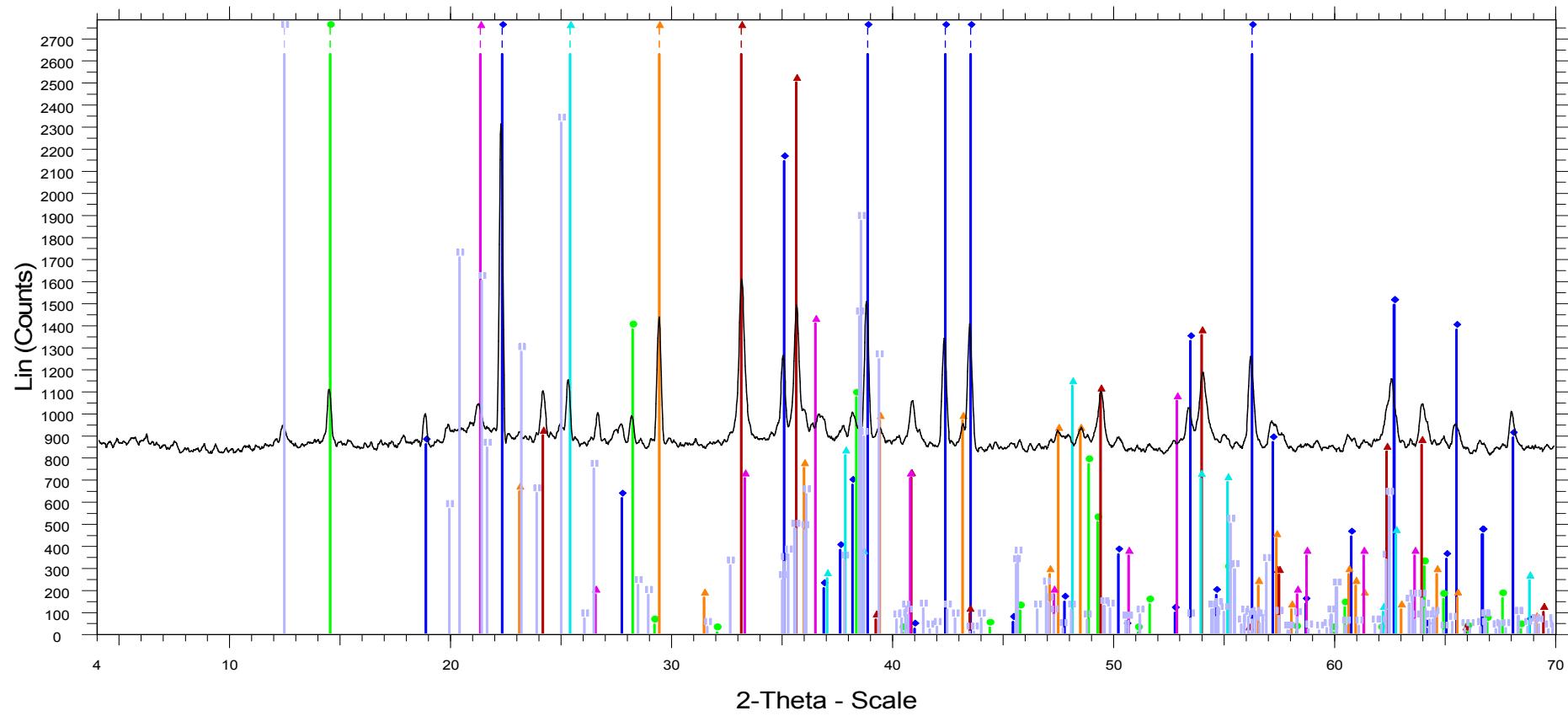
<http://en.wikipedia.org/wiki/Bauxite>

<http://www.metalprices.com/>

<http://www.alhellas.gr>

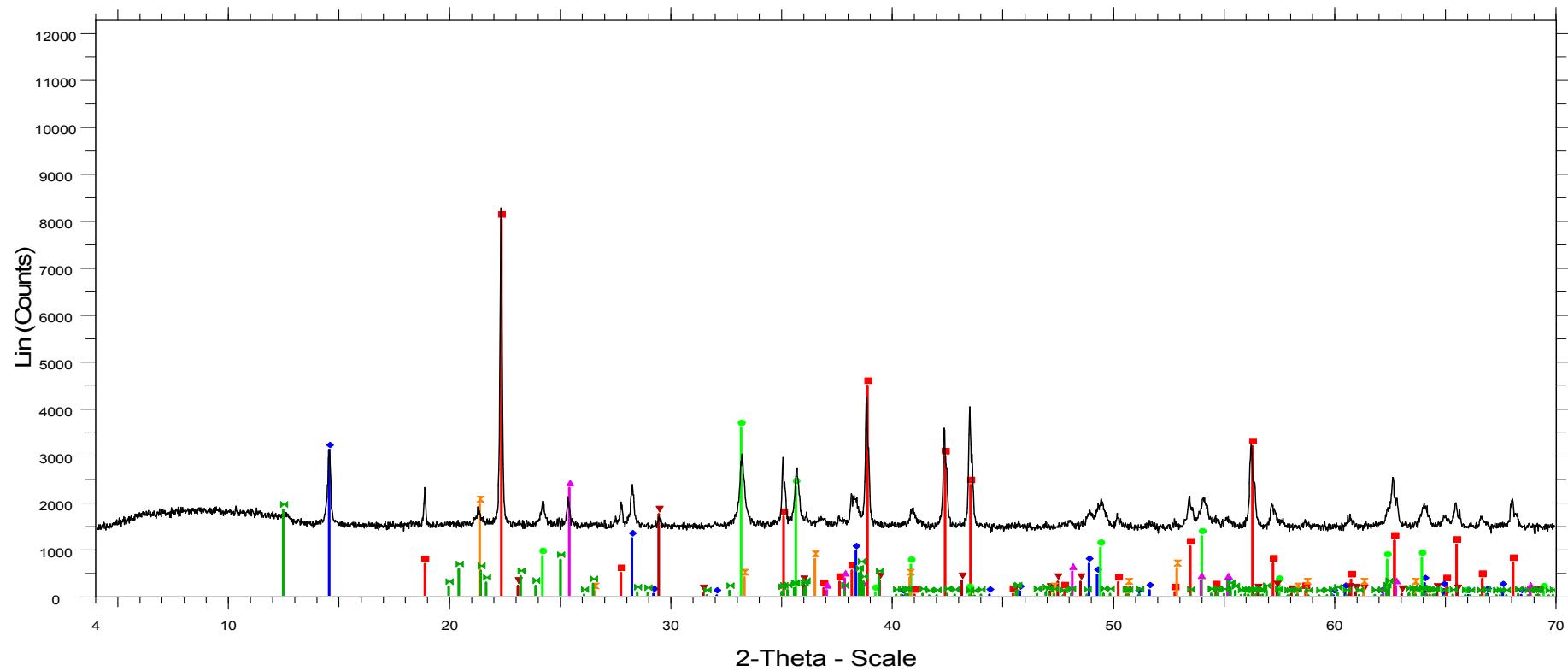
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## I. ΕΙΚΟΝΕΣ



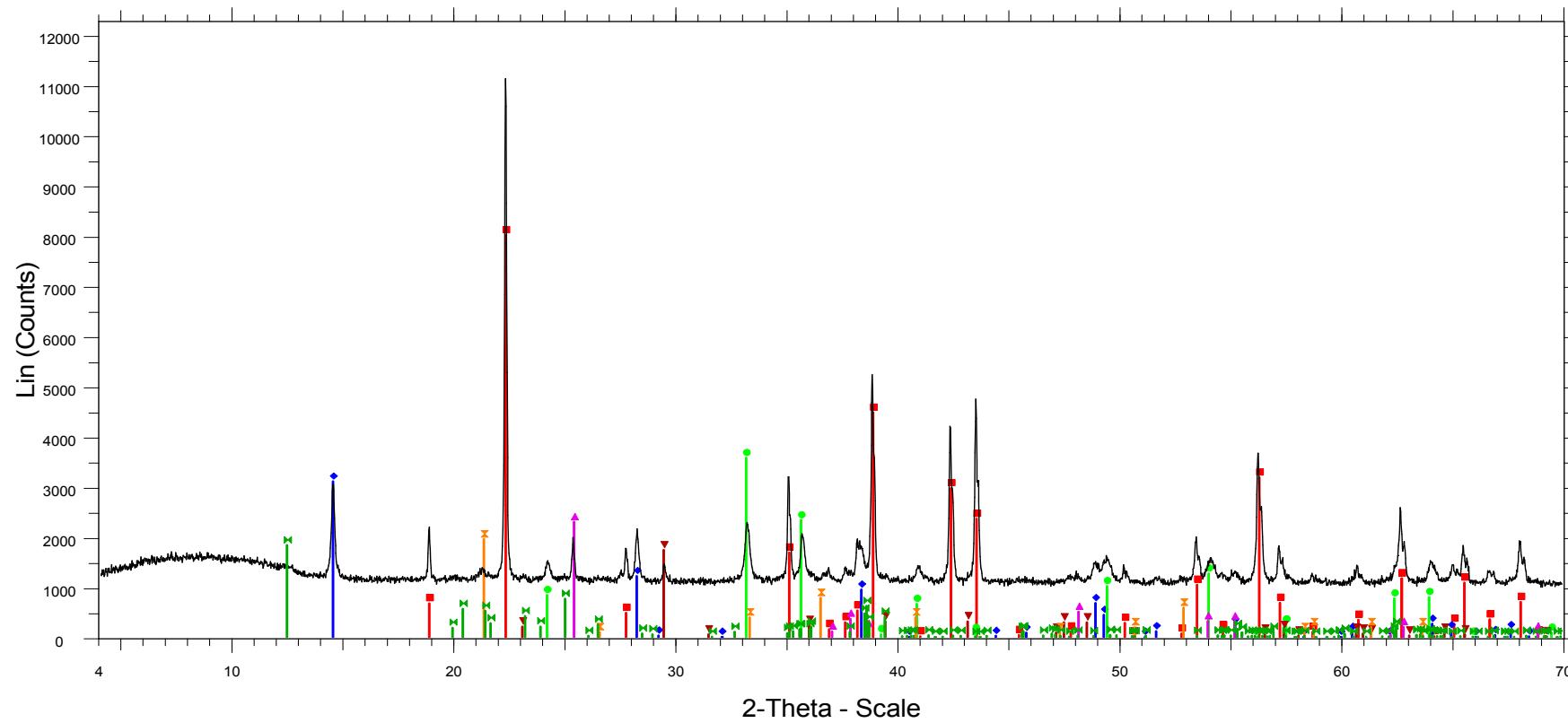
MP900 - File: d8080841.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 441.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnnm (62) - 4 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 152.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-cen 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 165.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 219.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 231.90 % - 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 (1 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 152.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 240.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα κλάσματος -0,010 mm



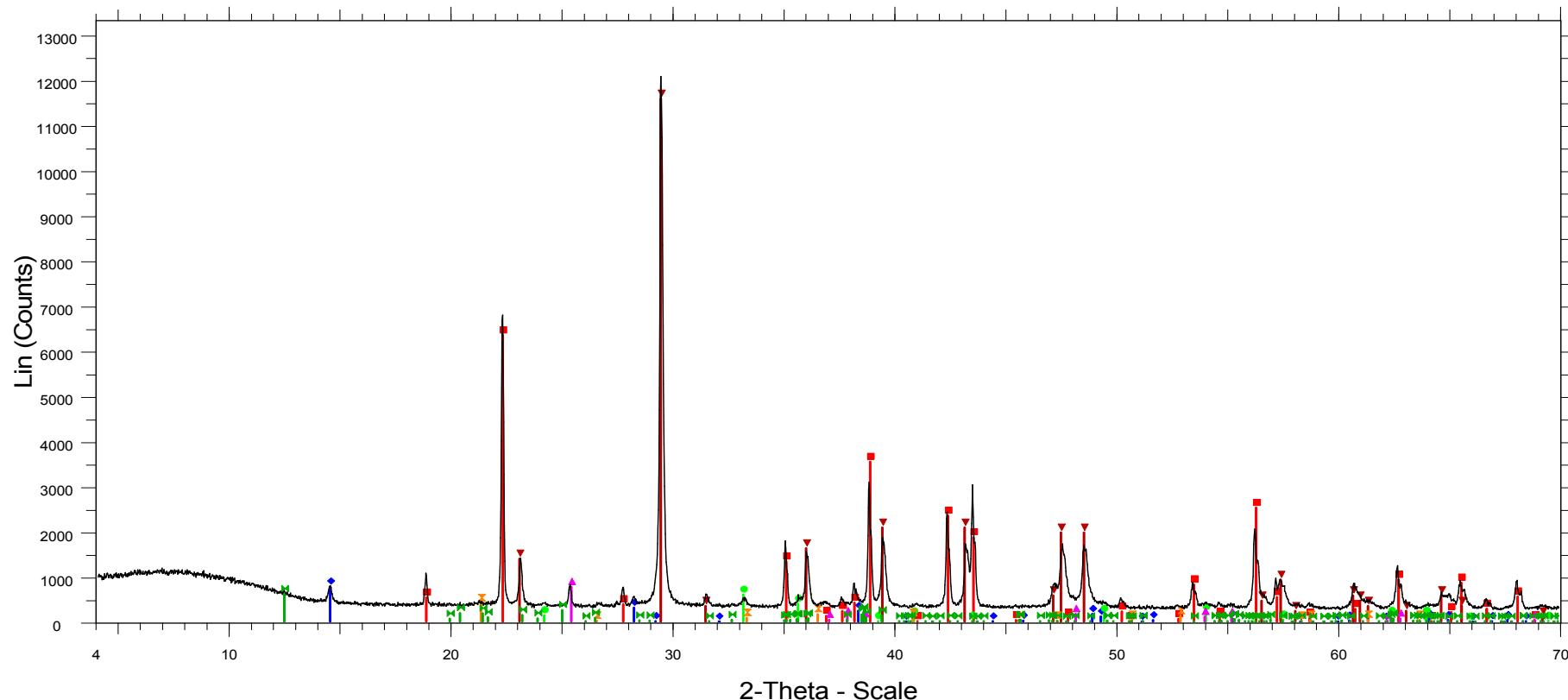
1163 - File: d8090955.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 97.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 -  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-AlO(OH) - Y: 37.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-cent  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 43.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 27.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (1  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 21.06 % - 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 (16  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 23.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 22.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα πρώτου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



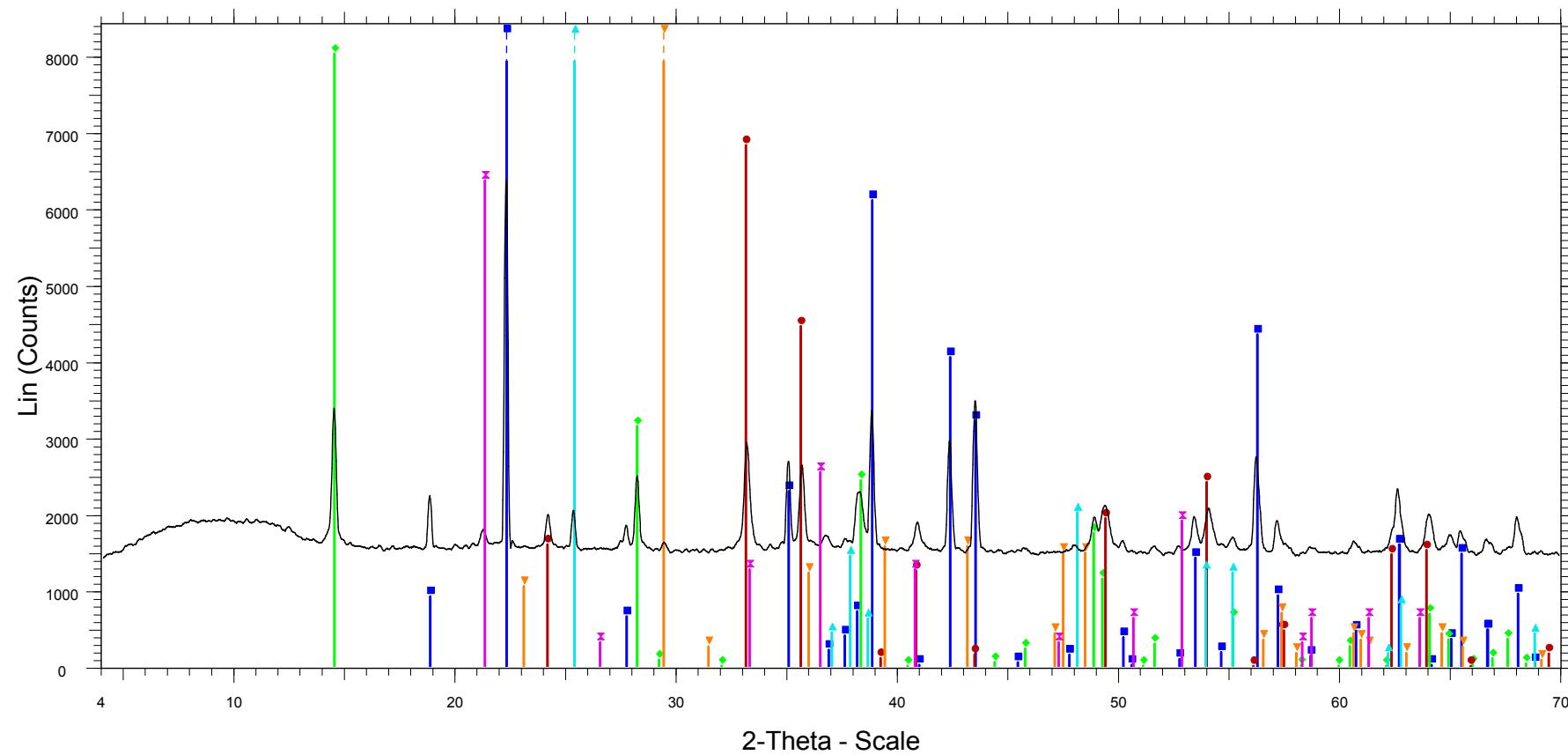
1164 - File: d8090956.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 72.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 118  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-AlOOH - Y: 27.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 32.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 20.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 15.63 % - 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) -  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 17.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 16.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα δεύτερου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



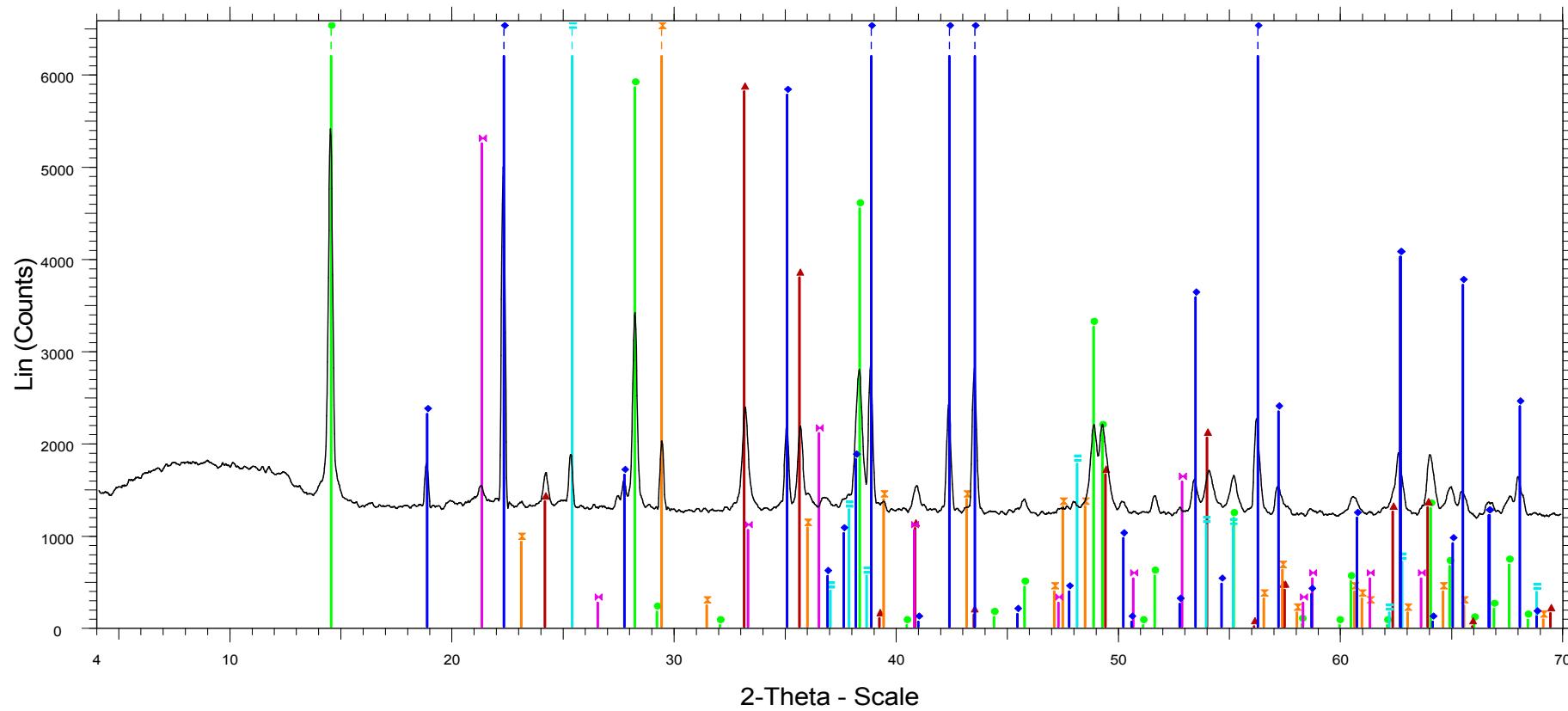
1165 - File: d8090957.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 °  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 52.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 118  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-AlO(OH) - Y: 6.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 4.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 6.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141) -  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 96.00 % - 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) -  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 3.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 5.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0) -

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα μη μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



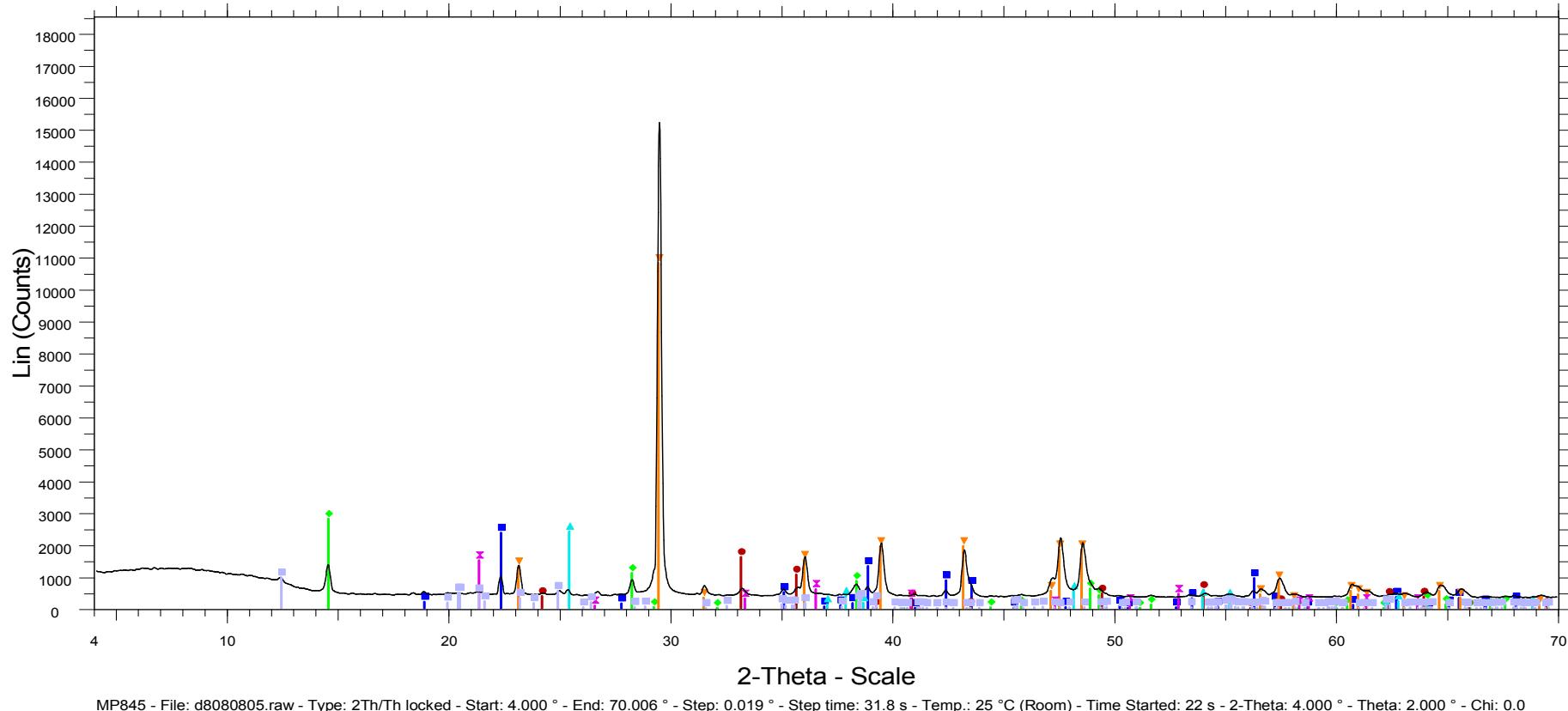
MP843 - File: d8080804.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.0  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 171.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 126.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-center  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Y: 107.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO<sub>2</sub> - Y: 143.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 137.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 100.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα προϊόντος +2.90 gr/cm<sup>3</sup> κλάσματος 0,25-1 mm



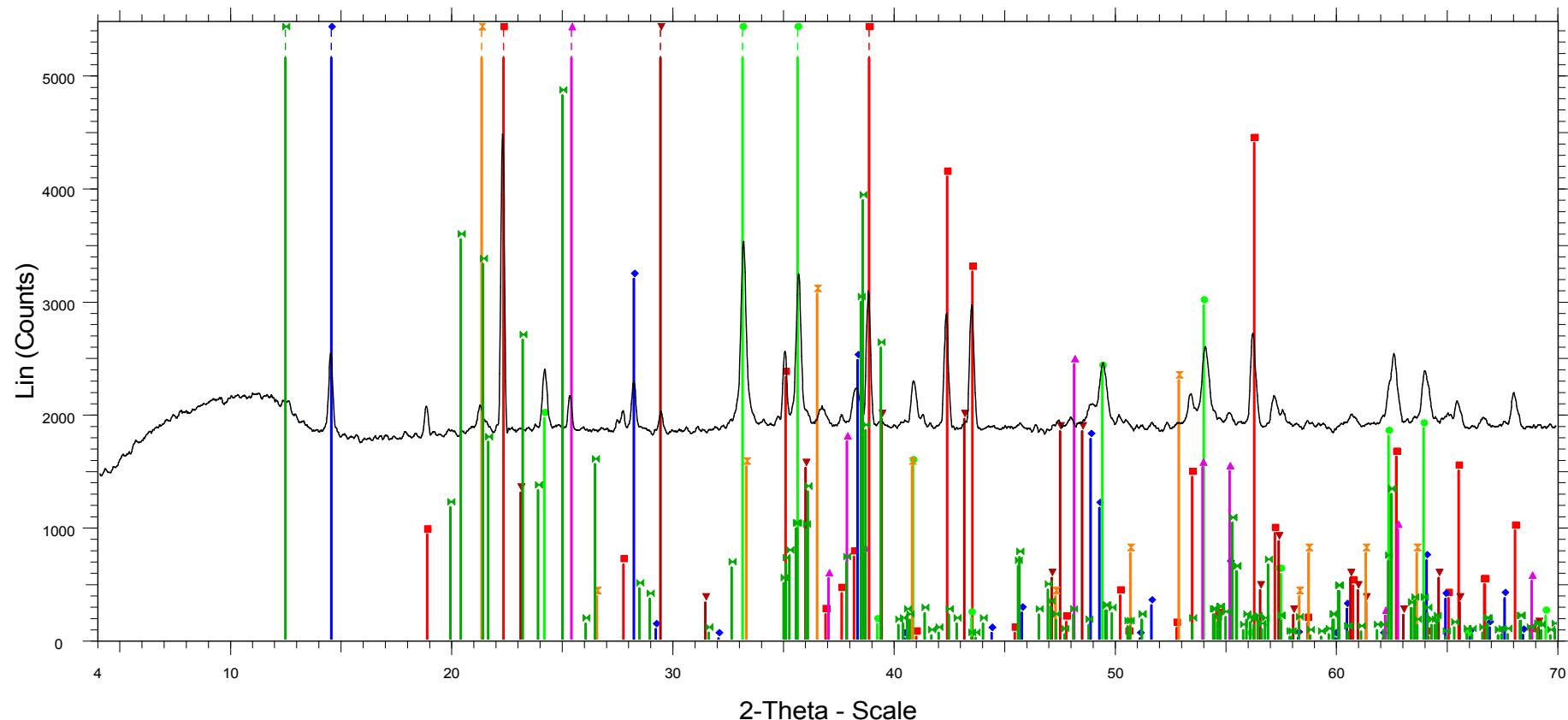
MP844 - File: d8080803.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.0  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 508.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 276.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-center  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 107.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 148.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 142.27 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 97.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα προϊόντος +2.70 gr/cm<sup>3</sup> κλάσματος 0,25-1 mm



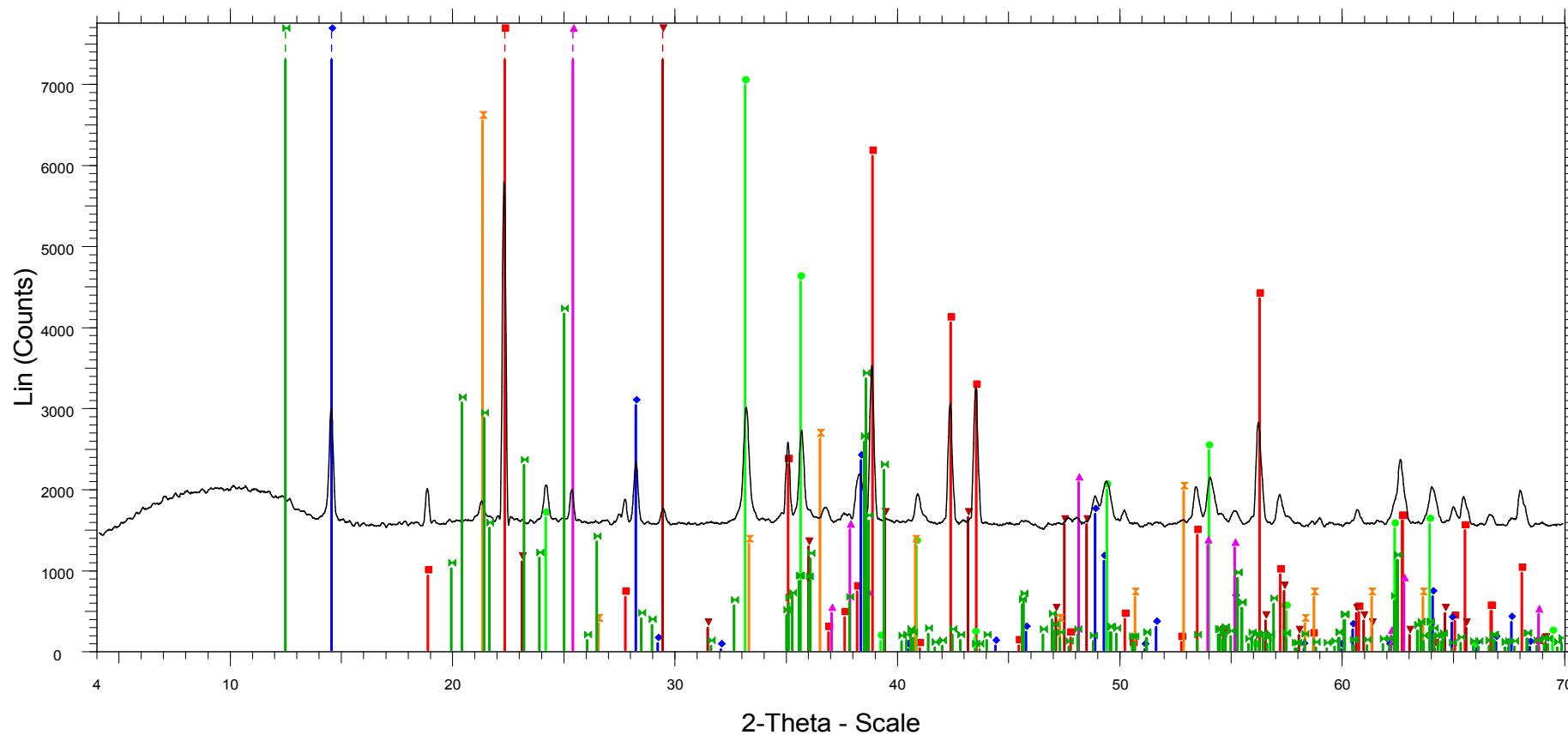
MP845 - File: d8080805.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.0  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 15.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 118  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-AlO(OH) - Y: 18.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 10.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 15.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 71.12 % - 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) -  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 9.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406  
 01-089-6538 (C) - Kaolinite - Al2(Si2O5)(OH)4 - Y: 6.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.15400 - b 8.94200 - c 7.40100 - alpha 91.690 - beta 104.610 - gamma 89.820 - Base-centered - C1 (0) - 2

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα προϊόντος -2.70 gr/cm<sup>3</sup> κλάσματος 0,25-1 mm



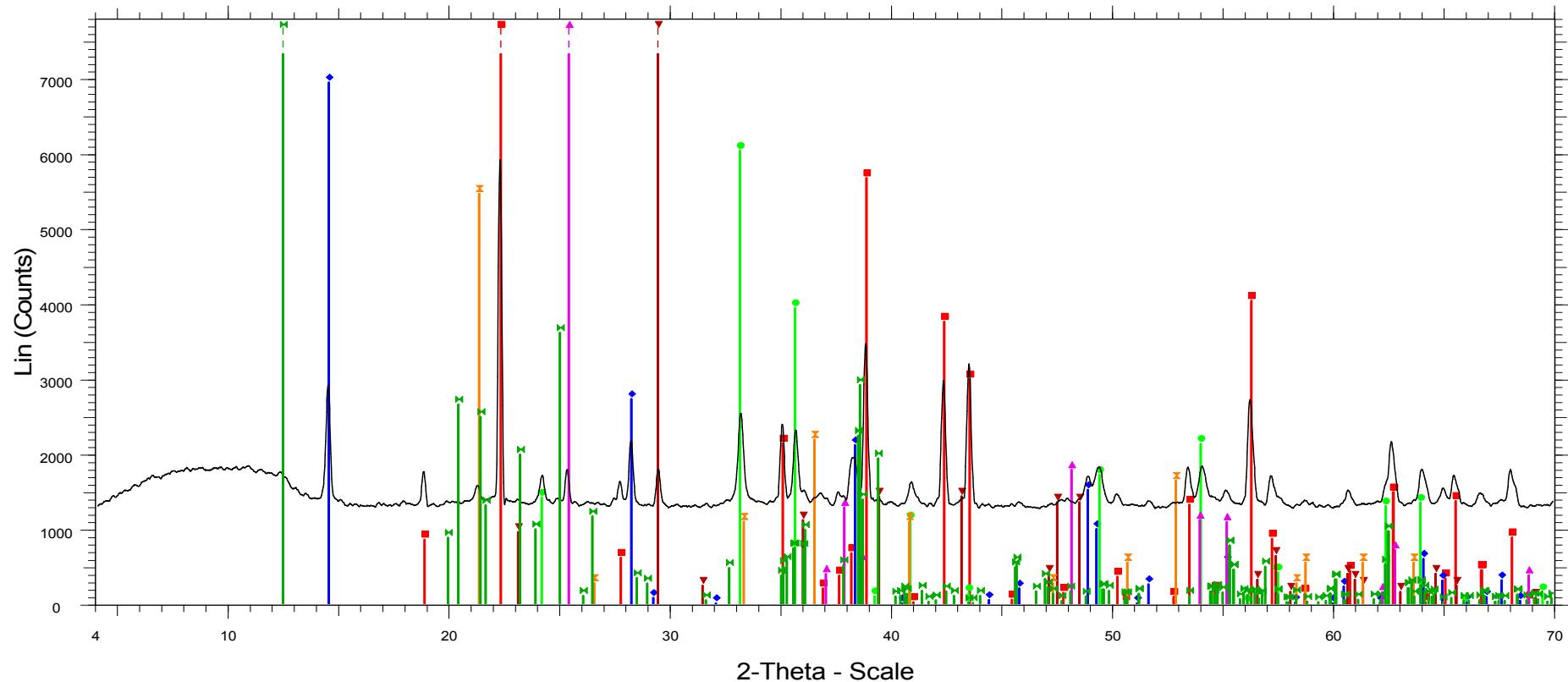
MP1166 - File: d8090998.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 247.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 181.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-center  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Y: 187.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO<sub>2</sub> - Y: 246.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 242.53 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe<sup>3+</sup>O(OH) - Y: 171.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)4 - Y: 258.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα πρώτου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



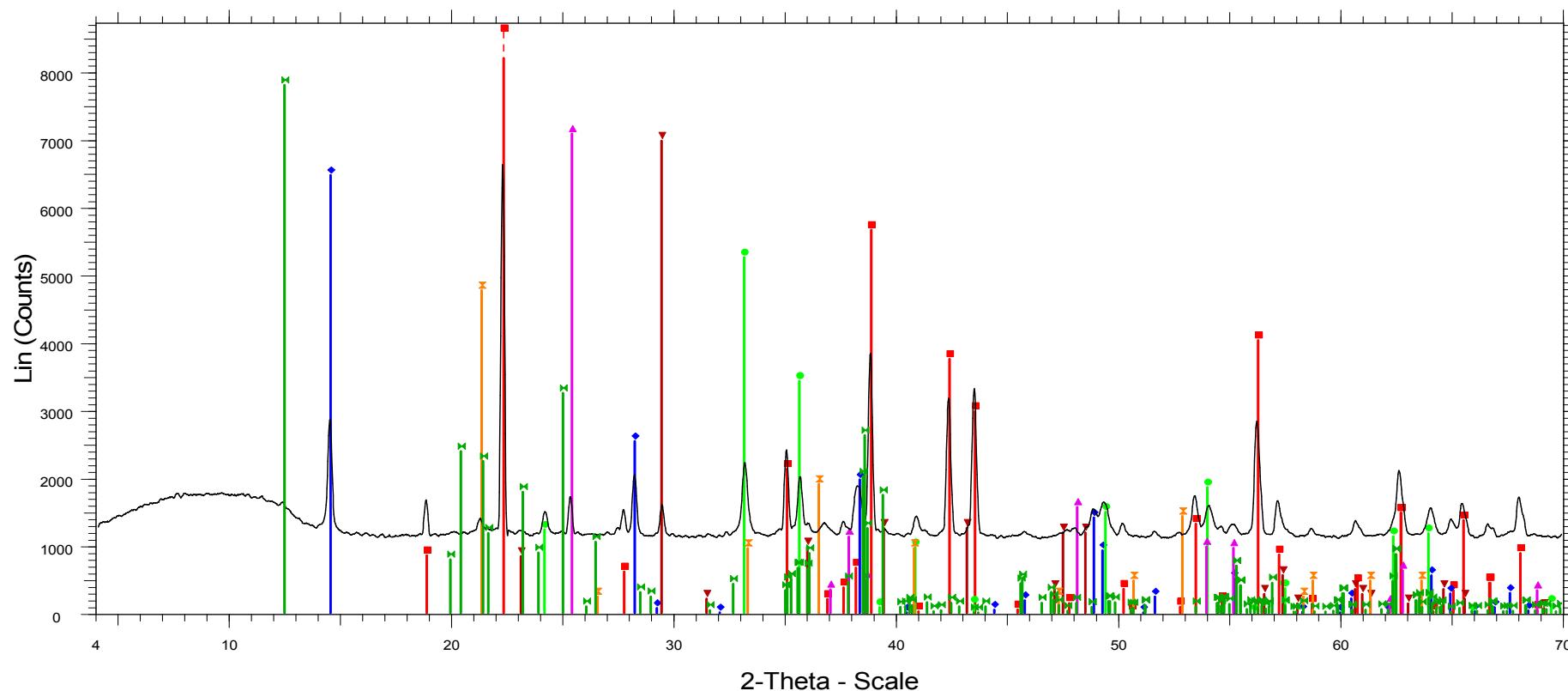
MP1167 - File: d8090999.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 188.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 133.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-center  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Y: 120.62 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO<sub>2</sub> - Y: 161.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 157.73 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 113.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)4 - Y: 172.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα δεύτερου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



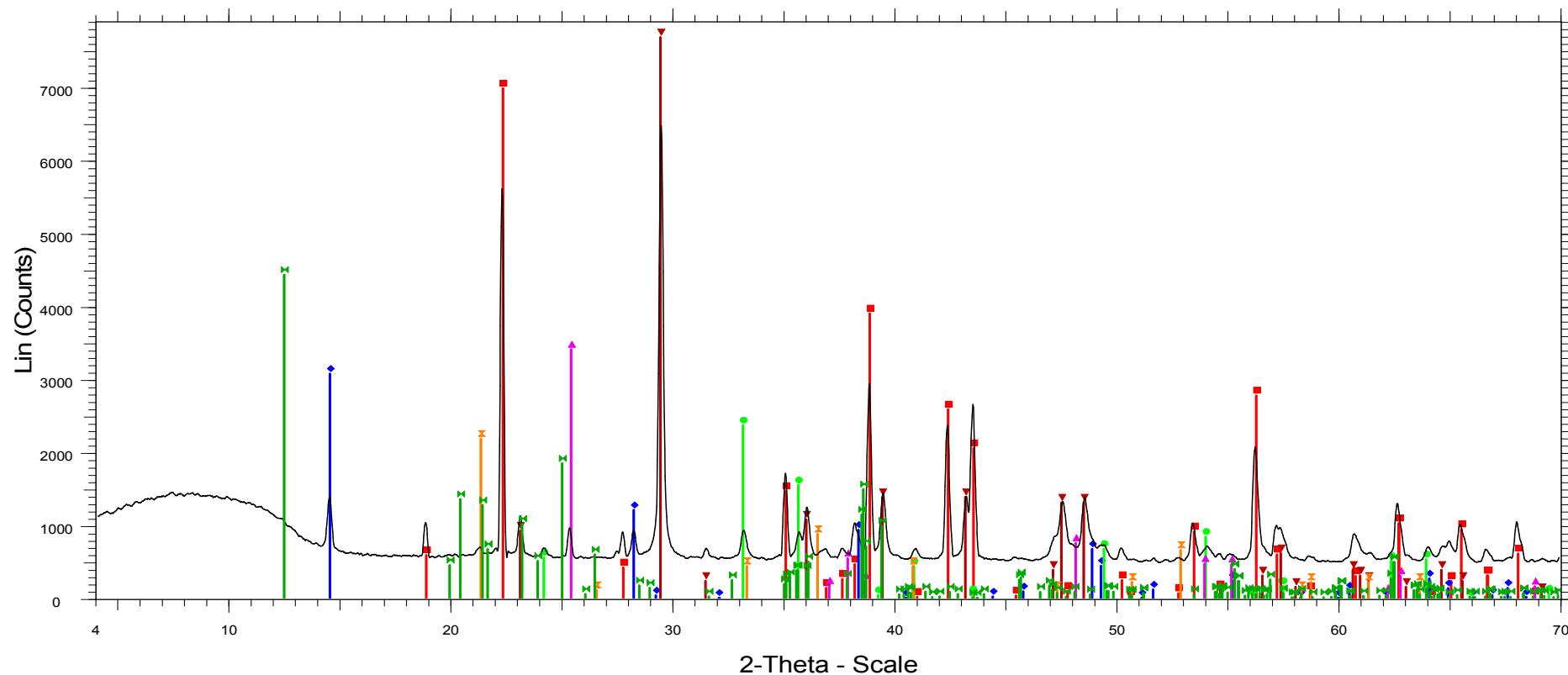
MP1168 - File: d8091000.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 171.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 117.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-center  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Y: 102.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO<sub>2</sub> - Y: 136.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 134.32 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe<sup>3+</sup>O(OH) - Y: 92.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> - Y: 146.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα τρίτου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



MP1169 - File: d8091001.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 152.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 97.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centere  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 79.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 106.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 105.35 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 71.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 117.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα τέταρτου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm



MP1170 - File: d8091002.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.  
 01-084-0175 (C) - Diaspore - AlOOH - Y: 107.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.40070 - b 9.42530 - c 2.84520 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 11  
 01-083-1505 (C) - Boehmite, syn - gamma-Al(OH) - Y: 47.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 2.86840 - b 12.23230 - c 3.69490 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centered  
 01-089-0596 (C) - Hematite, syn - alpha-Fe2O3 - Y: 36.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03700 - b 5.03700 - c 13.77100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3  
 01-089-4921 (C) - Anatase, syn - TiO2 - Y: 52.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 3.77700 - b 3.77700 - c 9.50100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Body-centered - I41/amd (141)  
 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 118.85 % - 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)  
 00-003-0251 (D) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 33.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406  
 01-075-1593 (D) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 68.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.800 - beta 104.500 - gamma 90.000 - Base-centered - C1 (0)

Εικόνα: ακτινοδιάγραμμα τέταρτου μαγνητικού προϊόντος κλάσματος 0,25-1 mm