



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ
ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**« ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ ΑΠΟ ΤΟ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣ
ΚΛΑΣΜΑ ΤΟΥ ΕΞΟΡΥΣΣΟΜΕΝΟΥ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ »**

ΤΑΝΟΣ Β. ΣΤΕΡΓΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ ΗΛΙΑΣ
επιβλέπων)

(Αναπληρωτής καθηγητής,

ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

(Καθηγητής)

ΑΛΕΒΙΖΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

(Επίκουρος καθηγητής)

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Ηλία Σταμπολιάδη. Η εργασία αυτή είχε σαν σκοπό την ανάκτηση μαγνησίτη από το λεπτομερές κλάσμα του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος Χαλκιδικής.

Η επιλογή του θέματος αυτού έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελέσει το συνδυαστικό κρίκο μεταξύ των θεωρητικών γνώσεων κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στο τμήμα μηχανικών ορυκτών πόρων αλλά και των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στη πράξη. Επίσης, ένας άλλος λόγος είναι ότι οι ελληνικοί λευκόλιθοι αναπτύσσονται ραγδαία στην ελληνική αλλά και ξένη βιομηχανική αγορά λόγω των πολύ σημαντικών χρήσεων τους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Ηλία Σταμπολιάδη για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας μου, καθώς επίσης και για τις γνώσεις που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια, μέσα από τα μαθήματα του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω επίσης στον καθηγητή κ. Βασίλειο Περδικάτση, διευθυντή του εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας, για την αποδοχή του να αξιολογήσει την παρούσα εργασία. Δεν θα ήταν δυνατόν να παραλείψω να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο για τη βοήθειά του στην μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων αλλά και στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της «Περιθλασιμετρίας Ακτίνων –X»

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την κα. Όλγα Παντελάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου και την κα. Δέσποινα Πεντάρη για τη βοήθεια της στις χημικές αναλύσεις. Επίσης, τον κ. Γ. Αποστολάκη για την προπαρασκευή των δειγμάτων, η οποία έγινε στο παρασκευαστήριο του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάκτηση του μαγνησίτη από το λεπτομερές κλάσμα του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος Χαλκιδικής. Αυτό επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση των ξένων ορυκτών Σερπεντίνη, Χαλαζία και Δολομίτη, που περιέχουν τις προσμίξεις SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO . Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που ακολουθήθηκαν ήταν με τη σειρά οι ακόλουθοι:

- Μαγνητικός διαχωρισμός
- Διαχωρισμός με βαρέα υγρά
- Επίπλευση
- Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός

Το δείγμα μας είχε ήδη υποστεί κατάτμηση και χωρίστηκε με κατάλληλα κόσκινα στα κλάσματα 0,106- 1mm, 1-4mm, 4-10mm. Στη συνέχεια τα κλάσματα 4-10mm και 1-4mm μεταφέρθηκαν στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή, ενώ το κλάσμα 0,106-1mm χωρίστηκε με τον μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης. Το κάθε κλάσμα πέρασε δύο φορές από τους μαγνήτες και τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος έδωσαν τρία διαφορετικά προϊόντα: μαγνητικό 1, μαγνητικό 2, μη μαγνητικό 2. Η μέθοδος αποδείχτηκε ιδιαίτερα αποδοτική και απομάκρυνε μεγάλο ποσοστό του σερπεντίνη.

Ακολούθως, το μη μαγνητικό υλικό εμπλουτίστηκε περαιτέρω με τη μέθοδο των βαρέων υγρών στα ίδια κλάσματα. Δημιουργήσαμε τα κατάλληλα βαρέα υγρά με τις αντίστοιχες πυκνότητες και έτσι διαχωρίστηκαν σε επιπλεύσαντα και καταβυθισθέντα. Όπου το επιπλεύσαν είναι το απόρριμμα, ενώ το παραμένων αποτελεί τον καθαρό μαγνησίτη. Το συμπέρασμα από το συγκεκριμένο εμπλουτισμό είναι ότι επιτυγχάνεται καλύτερος διαχωρισμός στα μεγαλύτερα κλάσματα από ότι στα μικρά.

Στη συνέχεια μεταφέραμε 1kg δείγματος μη μαγνητικού προϊόντος, μεγέθους 1-4mm, για υγρή λειοτρίβηση στο ραβδόμυλο του εργαστηρίου εμπλουτισμού. Το προϊόν της λειοτρίβησης οδηγήθηκε στη κυψέλη επίπλευσης μέσα στη οποία πραγματοποιήθηκαν 5 επιπλεύσεις μαζί με τα κατάλληλα αντιδραστήρια. Παρατηρήσαμε ότι ο διαχωρισμός σ' αυτό το πείραμα ήταν σαφώς πολύ καλύτερος από τους άλλους αλλά όχι και ο επιθυμητός για βιομηχανική επίπλευση, αφού στη πράξη επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απομάκρυνση των οξειδίων SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO .

Όσον αφορά τον τριβο-ηλεκτροστατικό διαχωρισμό η τροφοδοσία του είναι η ίδια με αυτή της επίπλευσης. Διεκπεραιώθηκε και σ' αυτό το πείραμα, λειοτρίβηση με τον ραβδόμυλο, με τη διαφορά ότι ήταν ξηρή. Τα κλάσματα τα οποία μελετήσαμε ήταν τα 212-500 μm , 63-212 μm και 0-63 μm σε πυρωμένο και ωμό μαγνησίτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το πυρωμένο υλικό διαχωρίζεται καλύτερα από ότι το ωμό. Επίσης, πρέπει να σημειώσουμε ότι στο κλάσμα 0-63 μm δεν επετεύχθη καθόλου καλός εμπλουτισμός λόγω του μικρού του μεγέθους.

Τα τελικά συμπεράσματα δείχνουν ότι οι μέθοδοι που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία μπορούν να επιφέρουν επαρκή αποτελέσματα εκτός από τα πολύ μικρά κλάσματα στο διαχωρισμό με βαρέα υγρά και στον τριβο- ηλεκτροστατικό διαχωρισμό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2.ΜΑΓΝΗΣΙΤΗΣ.....	3
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Χρήσεις του μαγνησίτη.....	3
2.2.1 Καυστική μαγνησία.....	3
2.2.2 Δίπτυρη μαγνησία.....	4
2.3 Συνθετική μαγνησία.....	6
2.4 Μορφές μαγνησίτη και γένεση.....	7
2.5 Παγκόσμια κοιτάσματα μαγνησίτη.....	8
2.6 Κοιτάσματα μαγνησίτη στην Ελλάδα.....	10
2.7 Χρήσεις του ελληνικού λευκόλιθου Χαλκιδικής.....	11
3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	13
3.1 Η λειτουργία της κοσκίνισης.....	13
3.2 Βιομηχανικά κόσκινα.....	13
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της κοσκίνισης.....	14
3.4 Πάχυνση.....	15
3.5 Κοκκομετρικός αναλυτής Laser.....	17
4. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.....	19
4.1 Η συμπεριφορά των τεμαχίων σε μαγνητικό πεδίο.....	19
4.2 Το μαγνητικό πεδίο κατά τον εμπλουτισμό.....	20
4.3 Τύποι μαγνητικών διαχωριστών.....	21
4.4 Μαγνητικοί διαχωριστές πειράματος.....	22

5. ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ.....	24
5.1 Η λειτουργία της μεθόδου.....	24
5.2 Μηχανές βαρέων διαμέσων και πλεονεκτήματα.....	25
6. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ.....	26
6.1 Μηχανές λειοτρίβησης	26
6.1.1 Ραβδόμυλοι.....	27
6.1.2 Σφαιρόμυλοι.....	27
6.2 Τρόπος λειτουργίας της επίπλευσης.....	28
6.3 Αντιδραστήρια επίπλευσης.....	29
6.3.1 Συλλέκτες.....	29
6.3.2 Αφριστικά αντιδραστήρια.....	30
6.3.3 Ρυθμιστικά αντιδραστήρια.....	30
7. ΤΡΙΒΟ-ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.....	32
7.1 Επαφή και τριβο-ηλεκτροστατική φόρτιση.....	32
7.2 Σύστημα τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωριστή.....	32
8. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	35
8.1 Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης.....	35
8.1.1 Διαλυτοποίηση δειγμάτων.....	37
8.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ.....	38
9. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	40
9.1 Προέλευση υλικού.....	40
9.2 Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος από Χαλκιδική.....	40
9.3 Πάχυνση.....	42
9.4 Ορυκτολογική ανάλυση.....	43
9.4.1 Παρατηρήσεις στιλπνών τομών με χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου.....	44
9.4.2 Συμπεράσματα από την ορυκτολογική εξέταση.....	45
10. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	46
10.1 Επεξεργασία του υλικού με μαγνητικούς διαχωριστές.....	46
10.1.1 Ορυκτολογικές αναλύσεις μαγνητικού διαχωρισμού.....	55
10.1.2 Συμπεράσματα μαγνητικού διαχωρισμού.....	57

10.2 Εμπλουτισμός με βαρέα υγρά.....	58
10.2.1 Συμπεράσματα βαρέων υγρών.....	65
10.3 Εμπλουτισμός με λειοτρίβηση δείγματος και επίπλευση.....	65
10.3.1 Συμπεράσματα επίπλευσης.....	70
10.4 Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός.....	70
10.4.1 Συμπεράσματα τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωρισμού.....	75
11. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	76
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78
13.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Παγκόσμια αποθέματα μαγνησίτη.....	9
Σχήμα 2.2: Παγκόσμια παραγωγή μαγνησίτη.....	9
Σχήμα 2.3: Κατανομή αξίας πωλήσεων ελληνικού λευκόλιθου	12
Σχήμα 3.1: Ζώνες πάχυνσης	16
Σχήμα 3.2: Κοκκομετρικός αναλυτής Laser.....	17
Σχήμα 4.1: α)Ομοιογενές μαγνητικό πεδίο.....	20
β)Συγκλίνον μαγνητικό πεδίο.....	20
Σχήμα 4.2: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής	22
Σχήμα 4.3: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής εργαστηρίου.....	23
Σχήμα 4.4: Μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης εργαστηρίου	23
Σχήμα 6.1: Κελί επίπλευσης.....	28
Σχήμα 7.1: Σχέδιο τριβο-ηλεκτροστατικού συστήματος.....	33
Σχήμα 7.2: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωριστής εργαστηρίου.....	34
Σχήμα 8.1: Διάταξη φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.....	35
Σχήμα 9.1: Αναπαράσταση πάχυνσης	43
Σχήμα 9.2: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,5-1mm.....	44
Σχήμα 9.3: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,25-0,5mm.....	45

Σχήμα 9.4: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,25-0,5mm	45
Σχήμα 10.1: Αναπαράσταση ηλεκτρικού ρεύματος – μαγνητικού πεδίου.....	47
Σχήμα 10.2: Μαγνητικό προϊόν 1, κλάσμα 1 – 4mm.....	55
Σχήμα 10.3: Μαγνητικό προϊόν 1, κλάσμα 1 – 4mm	56
Σχήμα 10.4: Μαγνητικό προϊόν 2, κλάσμα 1 – 4mm	56
Σχήμα 10.5: Μη μαγνητικό προϊόν 2, κλάσμα 1 – 4mm.....	57
Σχήμα 10.6: Κλάσμα 4-10mm, αθροιστικώς βαρύτερο.....	62
Σχήμα 10.7: Κλάσμα 4-10mm, αθροιστικώς ελαφρύτερο.....	62
Σχήμα 10.8: Κλάσμα 1-4mm, αθροιστικώς βαρύτερο.....	63
Σχήμα 10.9: Κλάσμα 1-4mm, αθροιστικώς ελαφρύτερο.	63
Σχήμα 10.10: Κλάσμα 0,1-1mm, αθροιστικώς βαρύτερο	64
Σχήμα 10.11: Κλάσμα 1-4mm, αθροιστικώς ελαφρύτερο.....	64
Σχήμα 10.12: Μέγεθος κόκκων αναλυτή Laser.....	66
Σχήμα 10.13: Αθροιστικώς επιπλεύσαν, απόρριμμα.....	69
Σχήμα 10.14: Αθροιστικώς παραμένον, χρήσιμο προϊόν.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Η επίδραση του λόγου C/S στις ορυκτολογικές φάσεις και στα σημεία τήξεως	5
Πίνακας 5.1: Βαρέα υγρά.....	24
Πίνακας 9.1: Κοσκίνηση κλάσματος 0-4mm	41
Πίνακας 9.2: Κοσκίνηση κλάσματος 4-10mm	41
Πίνακας 9.3: Κοκκομετρική ανάλυση συνολικού δείγματος.....	42
Πίνακας 9.4: Πάχυνση.....	42
Πίνακας 10.1: Αναλογία ηλεκτρικού ρεύματος – μαγνητικού πεδίου.....	47
Πίνακας 10.2: Μαγνητικός διαχωρισμός κλάσματος.....	49
Πίνακας 10.3: Μαγνητικός διαχωρισμός επί αρχικού.....	50
Πίνακας 10.4: Αθροιστικώς μαγνητικά κλάσματος.....	51
Πίνακας 10.5: Αθροιστικώς μαγνητικά επί αρχικού.....	52
Πίνακας 10.6: Αθροιστικώς μη μαγνητικά επί του κλάσματος.....	53
Πίνακας 10.7: Αθροιστικώς μη μαγνητικά επί του αρχικού.....	54
Πίνακας 10.8: Χημικές αναλύσεις βαρυτομετρικών κλασμάτων.....	59

Πίνακας 10.9: Αθροιστικώς βαρύτερα βαρυτομετρικά κλάσματα.....	60
Πίνακας 10.10: Αθροιστικώς ελαφρύτερα βαρυτομετρικά κλάσματα.....	61
Πίνακας 10.11: Βαθμός διαχωρισμού αθροιστικώς ελαφρύτερων σε σχέση με τα αθροιστικώς βαρύτερα.....	65
Πίνακας 10.12: Χρόνος επίπλευσης.....	67
Πίνακας 10.13: Χημικές αναλύσεις επίπλευσης.....	67
Πίνακας 10.14: Χημικές αναλύσεις αθροιστικώς επιπλεύσαν.....	67
Πίνακας 10.15: Χημικές αναλύσεις αθροιστικώς παραμένον.....	68
Πίνακας 10.16: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός ωμού δείγματος με τάση 25KV.....	71
Πίνακας 10.17: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός ωμού δείγματος με τάση 12,5KV.....	72
Πίνακας 10.18: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός πυρωμένου δείγματος με τάση 25KV.....	73
Πίνακας 10.19: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός πυρωμένου δείγματος με τάση 12,5KV.....	74

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μαγνησίτης είναι από τα σημαντικότερα ορυκτά του μαγνησίου και η Ελλάδα κατέχει μία σημαντική θέση στα παγκόσμια αποθέματα. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με την ανάκτηση του μαγνησίτη από το λεπτομερές κλάσμα του νομού Χαλκιδικής.

Στόχος της εργασίας είναι η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων προσμείξεων Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO από το αρχικό δείγμα Χαλκιδικής με σύγχρονες μεθόδους εμπλουτισμού και η διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την αποδοτικότητά τους.

Οι μέθοδοι του εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι ο μαγνητικός διαχωρισμός, ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά, η επίπλευση και ο τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός.

Πριν από κάθε μέθοδο εμπλουτισμού εφαρμόστηκε κοσκίνηση για την εύρεση του μεγέθους των κόκκων η οποία έχει σαν στόχο την κοκκομετρική ταξινόμηση του υλικού σε ομάδες ισοδιάστατων ή σχεδόν ισοδιάστατων κλασμάτων.

Στη περίπτωση της επίπλευσης και του Τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωρισμού εφαρμόστηκε λειοτρίβηση η οποία αποσκοπεί στην ελάττωση του μεγέθους του μεταλλεύματος. Επίσης, η διαδικασία της λειοτρίβησης έχει σαν σκοπό την επαρκή αποδέσμευση των κόκκων του χρήσιμου ορυκτού από τα στείρα.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός αποβλέπει 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.

Ακόμη η δεύτερη μέθοδος έχει ως στόχο το διαχωρισμό του χρήσιμου υλικού (δηλαδή του μαγνησίτη) από το στείρο με τη βοήθεια βαρέων υγρών συγκεκριμένου ειδικού βάρους. Με αυτόν τον τρόπο το στείρο υλικό επιπλέει λόγω της μικρής του πυκνότητας, ενώ ο μαγνησίτης καταβυθίζεται λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του.

Η μέθοδος της επίπλευσης επιλέχθηκε γιατί μπορεί να επεξεργασθεί υλικά με πολύ μικρή κοκκομετρία. Ο διαχωρισμός της επίπλευσης βασίζεται στην υδροφοβία και στην υδροφιλία του χρήσιμου και του στείρου κλάσματος αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση συνέβη το αντίθετο και είχαμε ανάστροφη επίπλευση.

Κατά τη μέθοδο του τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωρισμού το δείγμα μας χωρίστηκε σε θετικά και αρνητικά φορτισμένα σε συγκεκριμένη τάση, αφού πρώτα υπήρξε τριβή του υλικού.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εμπλουτισμού, θα συμβάλλει στην επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ των μεθόδων, ώστε να επιτευχθεί η ανάκτηση μαγνησίτη.

Στην εργασία περιγράφονται αρχικά διάφορα θεωρητικά στοιχεία, όπως γενικά για τη γένεση, τις χρήσεις και τη παγκόσμια παραγωγή του μαγνησίτη. Έπειτα παρουσιάζονται στοιχεία για την μεταλλουργία και τα προϊόντα που παράγονται από την καύση του μαγνησίτη.

Επιπρόσθετα ακολουθεί η περιγραφή του δείγματος, η οποία αναφέρεται στην προέλευση, την κοκκομετρία και την ορυκτολογική εξέταση του δείγματος. Τέλος, υπάρχει η περιγραφή και ανάλυση της εργαστηριακής μελέτης, όπου αναφέρονται οι διάφορες εργαστηριακές δοκιμές εμπλουτισμού του μεταλλεύματος με τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους.

2.ΜΑΓΝΗΣΙΤΗΣ

2.1 Γενικά

Ο μαγνησίτης (MgCO_3) είναι ένα ανθρακικό βιομηχανικό ορυκτό το οποίο έχει χημική σύσταση 47,8% MgO και 52,2% CO_2 . Χρησιμοποιείται κυρίως λόγω της περιεκτικότητας του σε οξείδιο του μαγνησίου το οποίο ονομάζουμε μαγνησία. Είναι ένα ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και παρά την ισοτυπία της δομής του, με αυτή του ασβεστίτη, δεν παρουσιάζεται σε πολλές μορφές. Σχηματίζει κυρίως, χονδρόκοκκα συμπαγή ή πολύ λεπτόκοκκα κρυπτοκρυσταλλικά συσσωματώματα και σπάνια εμφανίζεται με τη μορφή μεγάλων κρυστάλλων. Έχει τέλειο σχισμό και οστρακοειδή θραυσμό. Η σκληρότητα του κυμαίνεται από 3,5 έως 4,9 της κλίμακας Mohs και το ειδικό του βάρος από 2,9-3,1 gr/cm^3 . Έχει χρώμα λευκό και σπανιότερα κίτρινο, φαιό, καστανό και η λάμψη του είναι υαλώδης.

2.2 Χρήσεις του μαγνησίτη

Από τον μαγνησίτη παράγεται η δίπυρη μαγνησία η οποία καταναλώνει το 80% της παραγωγής του και η καυστική μαγνησία η οποία απορροφάει μόλις το 20 % της παγκόσμιας παραγωγής. Η μαγνησία παράγεται μέσω θέρμανσης σύμφωνα με την αντίδραση:



2.2.1 Καυστική μαγνησία

Ο όρος καυστική μαγνησία χρησιμοποιείτε για να περιγράψει το μαγνησίτη ο οποίος θερμαίνεται σε θερμοκρασία (700-1200°C) ώστε να παραμένει λιγότερο από 10% του CO_2 και το υλικό να είναι χημικά ενεργό.

Η καυστική μαγνησία χρησιμοποιείτε στα τσιμέντα, ως προσθετικό στις ζωοτροφές, ως βελτιωτικό εδαφών και στη παραγωγή λιπασμάτων. Επίσης μικρά ποσοστά MgO χρησιμοποιούνται στη παρασκευή υδροξειδίου του μαγνησίου (Mg(OH)_2), το οποίο χρησιμοποιείτε ως λευκό πληρωτικό υλικό, σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων. Ακόμη το (Mg(OH)_2) έχει μια χαρακτηριστική υψηλή λευκότητα που οφείλεται στην ανάκλαση του φωτός πάνω στους σχεδόν τέλειους, επίπεδους, εξαγωνικούς κρυστάλλους του.

2.2.2 Δίπτυρη μαγνησία

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει το προϊόν έψησης του μαγνησίτη που έχει θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 1450°C και διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, παράγεται ένα αδρανές, συμπαγές υλικό το οποίο δε διαβρώνεται εύκολα και η χρήση του είναι ως πυρίμαχο υλικό.

Ο μαγνησίτης προορίζεται για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών (>1600°C), όπως η χαλυβουργία, εξαιτίας του υψηλού σημείου τήξεως της μαγνησίας (2800 °C) και της χημικής του αδράνειας. Αυτά τα πυρίμαχα χαρακτηρίζονται ως βασικά, λόγω του βασικού χαρακτήρα του MgO. Πρώτα γίνεται η μετατροπή του λευκόλιθου σε αδρανές MgO και έπειτα η μορφοποίηση του στα κατάλληλα σχήματα.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι ο όρος περίκλαστο χρησιμοποιείται στο εμπόριο για να περιγράψει τη δίπτυρη μαγνησία με υψηλό περιεχόμενο MgO.

Οι κύριες προσμίξεις της ελληνικής δίπτυρης μαγνησίας είναι το SiO₂ και το CaO. Είναι φανερό ότι ο λόγος CaO/SiO₂ έχει μεγάλη επίδραση στις ορυκτολογικές φάσεις που σχηματίζονται και στο αντίστοιχο σημείο τήξεως των φάσεων αυτών και αυτό μπορούμε εύκολα να το παρατηρήσουμε από το πίνακα 2.1. Συγκεκριμένα αν ο λόγος CaO/SiO₂ είναι μικρότερος από 1,86, τότε στις φάσεις ισορροπίας περιλαμβάνονται και ενώσεις χαμηλού σημείου τήξεως, δηλαδή μειώνεται η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία. Σε άλλη περίπτωση, όταν ο λόγος C/S παίρνει τη τιμή 1,86 τότε είναι ιδανικός διότι συνυπάρχει με το περίκλαστο μόνο η πυρίμαχη φάση του πυριτικού ασβεστίου. Σε μεγαλύτερες τιμές εμφανίζεται και η φάση του πυριτικού τριασβεστίου. Αυτή η φάση όμως κατά τη ψύξη μπορεί να διασπαστεί σε πυριτικό διασβέστιο και ελεύθερη άσβεστο. Η τελευταία είναι καταστροφική για το πυρίμαχο, επειδή ενυδατώνεται εύκολα προς υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)₂ και θρυμματίζεται (Κοντόπουλος 1983)

Λόγος Βαρών CaO/SiO_2	Ορυκτό	Τύπος	Σημείο τήξεως ($^{\circ}\text{C}$)
<0,93	Φορσερίτης	$2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1900
	Μοντισελλίτης	$\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1485
0,93	Μοντισελλίτης	$\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1485
0,93-1,40	Μοντισελλίτης	$\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1485
	Μερβινίτης	$3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1570
1,40	Μερβινίτης	$3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1570
1,40-1,86	Μερβινίτης	$3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1570
	Πυριτικό διασβέστιο	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	2110
1,86	Πυριτικό διασβέστιο	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	2110
1,86-2,80	Πυριτικό διασβέστιο	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	2110
	Πυριτικό τριασβέστιο	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1900
2,80	Πυριτικό τριασβέστιο	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1900
>2,80	Πυριτικό τριασβέστιο	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1900
	Ασβεστος	CaO	2560

Πίνακας 2.1: Η επίδραση του λόγου C/S στις ορυκτολογικές φάσεις και στα σημεία τήξεως

Πολύ σημαντικό ρόλο στη χρήση του λευκόλιθου σαν πρώτη ύλη για πυρίμαχα είναι η περιεκτικότητα του σε Fe_2O_3 . Γι αυτό το λόγο οι στιφροί μαγνησίτες παίζουν μεγαλύτερο ρόλο, ενώ οι κρυσταλλικοί χρησιμοποιούνται περισσότερο σαν υλικό γόμωσης για πυρίμαχα τούβλα δεύτερης και τρίτης ποιότητας που παράγονται μετά από προσθήκη χρωμίτη. Οπότε για υλικά πρώτης ποιότητας απαιτείται ο μαγνησίτης να έχει:

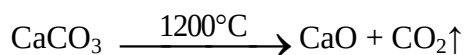
- $\text{MgO} > 95\%$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$
- $\text{SiO}_2 < 1,5\%$

Για τη παραγωγή πυρίμαχων υψηλής ποιότητας μπορεί να χρειάζονται ειδικά τεστ φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Μερικές φορές απαιτείται ο προσδιορισμός της αντίστασης έναντι της ενυδάτωσης που πρέπει να είναι ικανοποιητική, γι αυτό η παρουσία του CaO είναι ανεπιθύμητη. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και το μέγεθος των κόκκων του περίκλαστου (MgO) που προκύπτουν από το ψήσιμο. Ακόμη σημαντικός είναι και ο λόγος των ιχνοστοιχείων, καθώς επίσης και η πυκνότητα των κόκκων των τελικών προϊόντων.

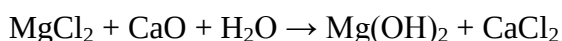
2.3 Συνθετική μαγνησία

Οι παραγωγοί πυρίμαχων ειδών πρέπει να παράγουν προϊόντα σταθερών χαρακτηριστικών από διάφορες πρώτες ύλες. Γι αυτό το λόγο παράγονται πολύ μεγάλες ποσότητες μαγνησίας από το Mg που περιέχει εν διαλύσει το νερό της θάλασσας, λόγω της σταθερής χημικής του σύστασης. Η βιομηχανική παραγωγή αυτού του είδους περιλαμβάνει πρώτα τη παραγωγή του μέσου κατακρήμνισης και έπειτα ακολουθεί η παραγωγή της μαγνησίας.

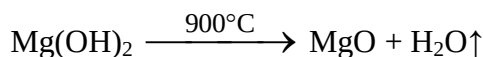
Έτσι παράγεται μέσω φρύξεως ασβεστόλιθου (CaCO_3) ή δολομίτη ($(\text{Mg,Ca})\text{CO}_3$), ασβέστης (CaO).



Στη συνέχεια ενυδατώνεται και έπειτα αναμειγνύεται με θαλασσινό νερό. Το Mg κατακρημνίζεται ως υδροξείδιο $\text{Mg}(\text{OH})_2$ υπό μορφή αιωρήματος, το οποίο κατασταλάζει σε μεγάλα ντεπόζιτα.



Κατόπιν πλάκες υλικού που περιέχουν 50-75% στερεάς μάζας πυρώνονται σε θερμοκρασία 900°C και με αυτό τον τρόπο προκύπτει η καυστική μαγνησία. Το υλικό στη συνέχεια πρεσάρεται σε μορφή pellets και μετά από πύρωση παράγεται ένα στιφρό πυρίμαχο προϊόν.



Τα προϊόντα τα οποία παράγονται με αυτή τη μέθοδο περιέχουν συνήθως 98% MgO και είναι κατάλληλα για ειδικές χρήσεις.

2.4 Μορφές μαγνησίτη και γένεση

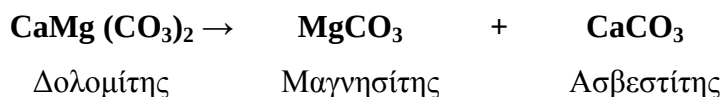
Γενικά, ο μαγνησίτης εμφανίζεται με δύο κυρίως μορφές. Τον κρυσταλλικό και τον στιφρό (κρυπτοκρυσταλλικό) μαγνησίτη, οι οποίοι διαφέρουν ως προς την υφή.

Ο κρυσταλλικός μαγνησίτης αποτελείται από κόκκους που είναι συνήθως μεγαλύτερη από 1mm. Η σκληρότητα του κυμαίνεται από 3,5-4 της κλίμακας Mohs, έχει χρώμα λευκό, κίτρινο κόκκινο ή γκρι και το ειδικό του βάρος είναι 3,02 (και ορισμένες φορές περισσότερο λόγω της παρουσίας Fe). Ακόμη περιέχει ξένες προσμίξεις οι οποίες περικλείονται μεταξύ των κόκκων του μαγνησίτη αλλά και ορισμένες φορές μέσα στους ίδιους τους κόκκους του μαγνησίτη. Αυτές οι προσμίξεις βρίσκονται σε μικρές ποσότητες και είναι συνήθως γραφίτης, λεπτοδιαμερισμένος σιδηροπυρίτης, χλωρίτης, ρουτίλιο κ.τ.λ. Ορισμένες προσμίξεις όπως ο χλωρίτης και ο τάλκης μπορεί να προέρχονται από μετασωματική αντικατάσταση αργιλικών ορυκτών.

Ο μαγνησίτης δημιουργείται από την επίδραση πυριγενών πετρωμάτων και των συνδεδεμένων με αυτά διαλυμάτων σε δολομίτες και ασβεστόλιθους σε δύο στάδια:

1) Σ' αυτό το στάδιο έχουμε τη δημιουργία ρευστών με λόγο $\text{Ca:Mg} = 1$, από την επίδραση διαλυμάτων πλούσιων σε CO_2 στον προϋπάρχοντα δολομίτη σε θερμοκρασίες μικρότερες των 200°C .

2) Στη συνέχεια έχουμε τη θέρμανση των διαλυμάτων σε μεγάλες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του δολομίτη σε μαγνησίτη και τη δημιουργία ρευστών πλούσιων σε Ca. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αποδολομιτίωση και χαρακτηρίζεται από την εξής αντίδραση:



Μια άλλη μορφή του μαγνησίτη είναι ο κρυπτοκρυσταλλικός ή αλλιώς στιφρός. Εξωτερικά μοιάζει με λευκή πορσελάνη, ενώ ο θραυσμός του είναι οστρακοειδής. Συναντάται συνήθως υπό μορφή φλεβών που διασχίζουν σερπεντινικά πετρώματα και αποτελούνται από κρυστάλλους μεγέθους $< 10 \mu\text{m}$. Ακόμη η σκληρότητα του κυμαίνεται από 3,5 - 5 και το ειδικό βάρος από 2,9 - 3. Οι στιφροί μαγνησίτες χαρακτηρίζονται συνήθως από τους πόρους μεταξύ των κρυστάλλων, καθώς επίσης και από ξένες προσμίξεις. Δηλαδή μπορεί να περιέχουν: λίγο δολομίτη,

αρκετό χαλαζία, οπάλιο και χαλκηδόνιο οι οποίοι δημιουργήθηκαν μετά από την γένεση του κοιτάσματος. Ακόμη, μπορεί να περιέχουν σε μικρότερο ποσοστό υδρομαγνησίτη $(\text{Mg}_5[\text{OH}/(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, παρασηπιόλιθο $(\text{Mg}_4[(\text{OH})_2/\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}_2\text{O})$, σαπωνίτη $(\text{Mg}_3[(\text{OH})_2/\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}]^{0,33} - \text{Na}_{0,33}(\text{H}_2\text{O})_4)$ και γυμνίτη (μη προσδιορισμένο ένυδρο ορυκτό του Mg)

Ο κρυπτοκρυσταλλικός μαγνησίτης δημιουργείται από την εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων υπό την επίδραση ρευστών πλούσιων σε CO_2 . Στην επιφάνεια της Γης δημιουργούνται ποικίλες αντιδράσεις οι οποίες ευνοούν τη δημιουργία μαγνησίτη:

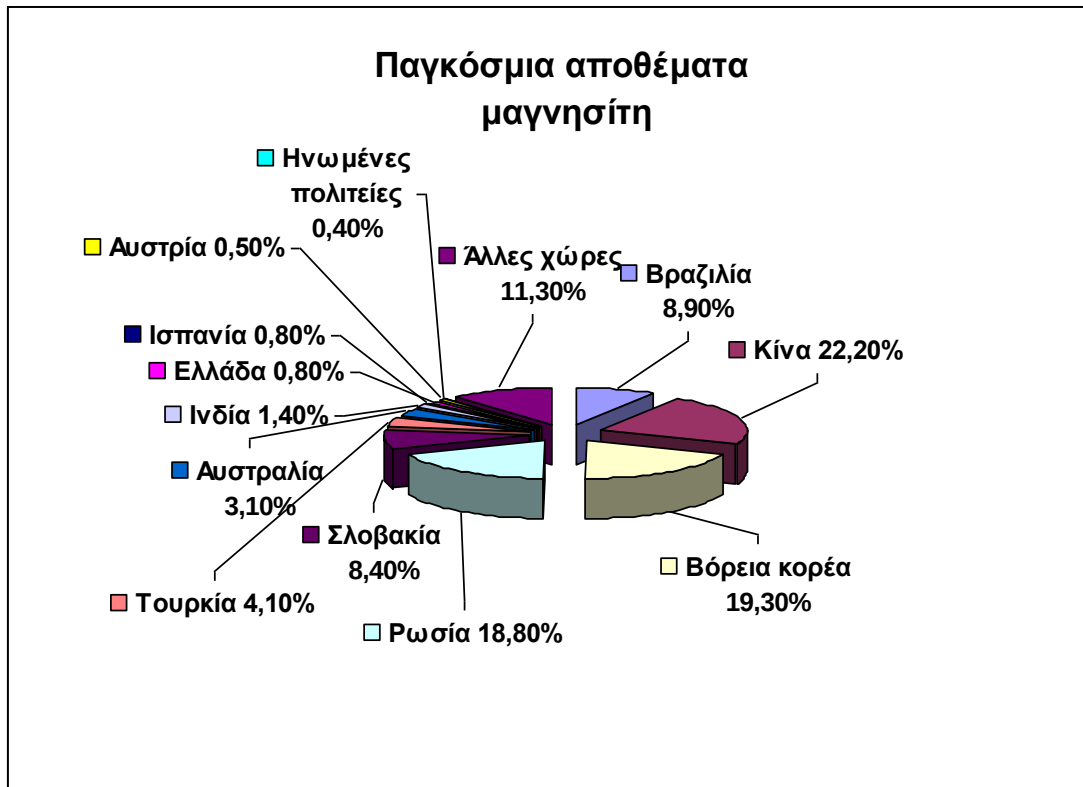
- 1) 2 φορστερίτης + $3\text{H}_2\text{O}$ = σερπεντίνης + Mg(OH) (βρουσίτης)
- 2) 3 φορστερίτης + $4\text{H}_2\text{O}$ = 2 σερπεντίνης
- 3) 2 φορστερίτης + 3CO_2 = τάλκης + 3 μαγνησίτης
- 4) βρουσίτης + CO_2 = μαγνησίτης + H_2O

Σύμφωνα με τις παραπάνω αντιδράσεις συμπεραίνουμε ότι ο σχηματισμός του μαγνησίτη δε γίνεται απευθείας από την εξαλλοίωση του ολιβίνη αλλά μεσολαβεί η δημιουργία σερπεντίνης και/ή βρουσίτη. Σύνδρομα ορυκτά του κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη είναι ο σερπεντίνης, όσο και ο τάλκης και ο βρουσίτης. Ακόμη ο τρόπος δημιουργίας του μαγνησίτη περιορίζει συνήθως το ποσό των επιβλαβών προσμίξεων σε μικρά ποσοστά Fe, Ca και Si.

Τέλος, είναι γνωστοί και οι μαγνησίτες ιζηματογενούς προέλευσης οι οποίοι μοιάζουν με μάργα και εμφανίζονται σε τριτογενείς λεκάνες πλούσιες σε σερπεντινίτες. Προκύπτουν από αποσάθρωση κοιτασμάτων κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη. Το υλικό της αποσάθρωσης μεταφέρεται και εναποτίθεται σε λιμναίο περιβάλλον με τη μορφή ιζημάτων πλούσιων σε μαγνησίτη, βρουσίτη, δολομίτη και πυριτικά ορυκτά του μαγνησίου. Τα κοιτάσματα αυτά περιέχουν και διάφορα ποσά Fe, Al, Cr, Mn, Na και Ca.

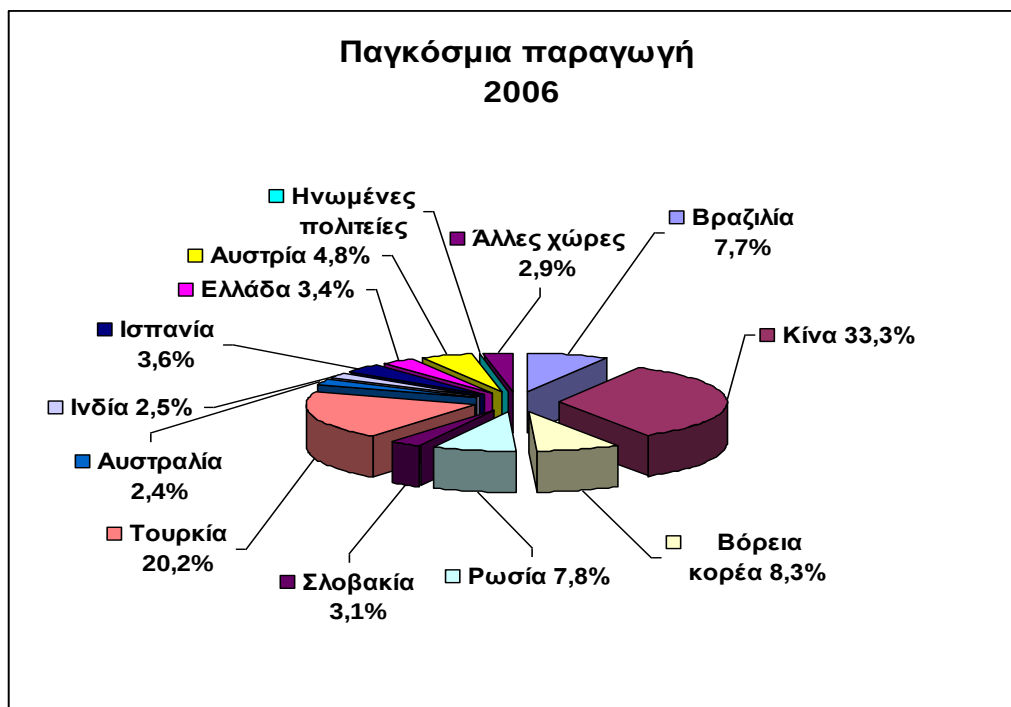
2.5 Παγκόσμια κοιτάσματα μαγνησίτη

Σύμφωνα με παγκόσμια στατιστική έρευνα, τα αποθέματα μαγνησίου ανέρχονται στα 3,8 δισεκατομμύρια τόνοι. Μερικές από τις χώρες με τα μεγαλύτερα αποθέματα είναι η Κίνα, η Βραζιλία, η Βόρεια Κορέα, καθώς και η Ρωσία (Σχήμα.2.1).



Σχήμα 2.1

Όσον αφορά τη παγκόσμια παραγωγή παρατηρούμε ότι να ηνία κατέχουν η Κίνα, η Τουρκία, η Βόρεια Κορέα και η Ρωσία (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2

2.6 Κοιτάσματα μαγνησίτη στην Ελλάδα

Όλα τα πρωτογενή κοιτάσματα λευκόλιθου της Ελλάδας απαντούν μέσα σε σερπεντινιωμένους περιδοτίτες. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στη Χαλκιδική (Βάβδο, Πολύγωνο, Γερακινή, Σήμαντρα) και στην Εύβοια (Μαντούδι, Προκόπι, Λίμνη, Αφράτι, Βασιλικά). Μικρότερα κοιτάσματα απαντούν στη Λέσβο (Βασιλικά, Βουβάρι), στις Σέρρες (Νιγρίτα), στην Αταλάντη, στα Γρεβενά και στην Κοζάνη. Τα κοιτάσματα βρίσκονται στο υπερβασικό τμήμα των οφιολίθων, η ανάπτυξη τους στο χώρο ακολουθεί γεωτεκτονικές γραμμές της γενικότερης και πιο τοπικής τεκτονικής. Η προέλευση τους είναι από το υδροθερμικό στάδιο και η διεύθυνση τους είναι B-N και ΒΔ-ΝΑ. Επί το πλείστον τα οφιολιθικά πετρώματα στα οποία βρίσκονται τα κοιτάσματα είναι σερπεντινιωμένα και άλλες φορές σχιστοποιημένα. Ενώ μόνο στην Αταλάντη βρίσκονται μέσα σε πιο υγιή πετρώματα, όπως είναι οι δουνίτες. Τα κοιτάσματα τα συναντάμε κυρίως με τρεις μορφές:

- I. Φλέβες πάχους 0,5-4 μέτρων που διασχίζουν σεμπεντινίτες
- II. Πλέγμα φλεβών (stockwork) που προκύπτει από το κατακερματισμό του πετρώματος
- III. Ανώμαλοι όγκοι (σωροί ως φακοί ποικίλων διαστάσεων)

Ακόμη διάφορα χαρακτηριστικά του ελληνικού μαγνησίτη είναι ότι έχει χρώμα λευκό (ολόλευκο όταν είναι καθαρός και γι αυτό ονομάζεται και λευκόλιθος) και κογχώδη θραυσμό. Μπορεί να είναι συμπαγής έως πορώδης και σκληρός έως εύθρυπτος. Οι προσμίξεις μπορεί να έχουν ποσοστά από 0,3-6% SiO_2 και 0,7-5% CaO . Όταν συναντάμε το λευκόλιθο σε μεγάλες συγκεντρώσεις τότε έχει αναλογία $\text{SiO}_2:\text{CaO}=1:2$, ενώ αντίθετα σε μορφές stockwork ισχύει $\text{SiO}_2:\text{CaO}=2:1$. Στην παρασκευή δίπυρης μαγνησίας προτιμάται η αναλογία $\text{SiO}_2:\text{CaO}=1:2$, διότι κατά τη διάρκεια της πύρωσης δημιουργούνται πυριτικά ορυκτά με υψηλό σημείο τήξεως, όπως διάφορες μορφές πυριτικού ασβεστίου. Ενώ ο λόγος $\text{SiO}_2:\text{CaO}=2:1$ έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία εύτηκτων ενώσεων κατά τη πύρωση.

Η Ελλάδα είναι από τις σημαντικότερες παραγωγούς μαγνησίτη σε παγκόσμια κλίμακα. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα της Εύβοιας και της Χαλκιδικής είναι της τάξεως των 15 εκατομ. τόνων, ενώ τα δυνατά ανέρχονται σε 30 εκατομ. τόνους.

Ο λευκόλιθος στη Χαλκιδική όπως και σε άλλες περιοχές, απαντάται μέσα σε σερπεντινιωμένο περιδοτίτη υπό μορφή φλεβών πάχους 0,1m-1,5m και υπό μορφή stockworks με πάχος φλεβιδίων 4 cm-40 cm. Η εκμετάλλευση είναι επιφανειακή.

Μετά το πρώτο στάδιο του εμπλουτισμού, που γίνεται με χειροδιαλογή, ή με φωτοκύτταρα, ακολουθεί το κύριο στάδιο του εμπλουτισμού που βασίζεται στο διαφορετικό ειδικό βάρος του καθαρού λευκόλιθου ($2,8 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$ - $3,1 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$) από το μη αμιγή λευκόλιθο που περιέχει προσμίξεις CaCO_3 και SiO_2 και του οποίου το ειδικό βάρος, κυμαίνεται από $2,5 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$ - $2,7 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$.

2.7 Χρήσεις του ελληνικού λευκόλιθου Χαλκιδικής

Στη Γερακίνη Χαλκιδικής υπάρχει μονάδα προεμπλουτισμού η οποία έχει παραγωγική δυναμικότητα της τάξεως 4.000 ton ανά βάρδια. Με τη χρήση δεσμών laser (10 φωτοπτικοί διαχωριστές) γίνεται ο βασικός διαχωρισμός στείρων και μαγνησίτη.

Έπειτα ο λευκόλιθος οδηγείται στη μονάδα κυρίως εμπλουτισμού, η οποία έχει παραγωγική δυναμικότητα 800 ton ανά βάρδια. Με τη χρήση βαρέων διαμέσων γίνεται ο περαιτέρω διαχωρισμός του στείρου υλικού, αλλά κυρίως διαχωρισμός λευκόλιθου ανά ποιότητα.

Τα προϊόντα της εταιρείας ελληνικού λευκόλιθου είναι ωμός λευκόλιθος, καυστική μαγνησία, δίπυρη μαγνησία και βασικά μονόλιθα πυρίμαχα.

Οι χρήσεις του ωμού λευκόλιθου είναι για κεραμικά, λιπάσματα, μεταλλουργικές χρήσεις, υλικά ηλεκτροσυγκόλλησης, ελαστικά και άλλες ειδικές χρήσεις. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα προϊόντα έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και έχουν σταθερά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά.

Ακόμη η καυστική μαγνησία χρησιμοποιείται για:

- βιομηχανικά δάπεδα, λειαντικούς τροχούς, δομικά μονωτικά στοιχεία
- ηλεκτρικές εφαρμογές
- φαρμακευτικές και χημικές χρήσεις
- ζωοτροφές και λιπάσματα
- περιβαλλοντικές και μεταλλουργικές χρήσεις

Όσον αφορά τη δίπυρη μαγνησία, είναι πολύ απαλλαγμένη από το σίδηρο, έχει υψηλό ειδικό βάρος, μικρό πορώδες και μικρή ενυδάτωση. Οι κύριες χρήσεις τις είναι για πυρίμαχα τούβλα, υλικά ηλεκτροσυγκόλλησης, ηλεκτρικές χρήσεις, βυρσοδεψία και για το μαγνήσιο ως μέταλλο.

Τέλος, τα πυρίμαχα υλικά (μάζες) προορίζονται για βιομηχανικές εφαρμογές. Οι κύριες βιομηχανίες στις οποίες έχουν εφαρμογές είναι η χαλυβουργία, τα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου και γυαλιού, η βιομηχανία μη σιδηρούχων μετάλλων και τα χυτήρια. Παρατίθεται η κατανομή των πωλήσεων ανάλογα με το προϊόν παραγωγής (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3

3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.1 Η λειτουργία της κοσκίνισης

Η κοσκίνιση είναι μία από τις πιο διαδεδομένες και εύχρηστες μεθόδους κοκκομετρικής ανάλυσης. Γίνεται μέσω διοχετεύσεως του υλικού κατάτμησης σε διάτρητες επιφάνειες των οποίων οι οπές (ανοίγματα), καθορίζουν το μέγεθος του υλικού, ανάλογα με το ποια τεμάχια διέρχονται από τις οπές. Τα εργαστηριακά κόσκινα είναι συνήθως στρόγγυλα με διάμετρο 20cm, ενώ ο πυθμένας τους αποτελείται από διάτρητη λαμαρίνα με τετράγωνες ή στρόγγυλες οπές.

Τα δονούμενα κόσκινα χρησιμοποιούνται ευρέως και η διαδικασία με την οποία λειτουργούν είναι η ακόλουθη. Τα σωματίδια αρχικά τοποθετούνται στο πλέγμα του κοσκίνου με κάποιο μηχανισμό και δονούνται. Στη συνέχεια, τα τεμάχια που είναι μικρότερα από τους βρόγχους του πλέγματος περνούν από το κόσκινο, ενώ πάνω στο πλέγμα παραμένουν αυτά με μέγεθος μεγαλύτερο του βρόγχου.

Με αυτό τον τρόπο στο παραμένον κλάσμα μένουν τα χονδρά, ενώ το διερχόμενο αποτελείται από ψιλά τεμάχια. Εάν θέλουμε να χωρίσουμε το υλικό μας σε περισσότερα κλάσματα διαφόρων μεγεθών, τότε χρησιμοποιούμε παραπάνω κόσκινα το ένα πάνω στο άλλο. Το άνοιγμα των οπών των κοσκίνων μειώνεται από πάνω προς τα κάτω, με σκοπό το τελευταίο δείγμα να είναι και το μικρότερο. Ακόμη κάτω από όλα τα κόσκινα τοποθετούμε ένα ταψάκι ίδιας διαμέτρου με τα παραπάνω

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήσαμε τα κόσκινα 0,106mm, 1mm, 4mm και 10mm για τον μαγνητικό διαχωρισμό, ενώ για τον τρίβο-ηλεκτροστατικό διαχωρισμό χρειαστήκαμε τα κόσκινα 500 μm , 200 μm και 63 μm .

3.2 Βιομηχανικά κόσκινα

Τα βιομηχανικά κόσκινα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στα σταθερά κόσκινα και στα κινούμενα. Τα σταθερά κόσκινα διακρίνονται στις εσχάρες και στα κοίλα κόσκινα ενώ τα κινούμενα κόσκινα διακρίνονται ανάλογα με τη κίνηση τους. Δηλαδή υπάρχουν τα περιστροφικά, τα παλμικά και τα δονούμενα. Από όλα αυτά τα δονούμενα προτιμούνται λόγω της μεγάλης δυναμικότητας και απόδοσης τους.

Τα δονούμενα κόσκινα τα ξεχωρίζουμε στα εξής:

α. Κόσκινα με σταθερό έκκεντρο άξονα:

Τα συγκεκριμένα κόσκινα αποτελούνται από ένα πλαίσιο το οποίο φέρει πλέγμα. Περί το μέσο φέρει οριζόντιο έκκεντρο άξονα, ο οποίος στα άκρα του στηρίζεται σταθερά επί ακίνητης βάσης. Το πλαίσιο ισορροπεί με τη βοήθεια ελατηρίων. Η κίνηση μεταδίδεται με κινητήρα και το εύρος της δόνησης εξαρτάται από την εκκεντρότητα του άξονα, ενώ δεν επηρεάζεται από το φορτίο της τροφοδοσίας.

β. Κόσκινα με ελεύθερο έκκεντρο άξονα και αντίβαρα:

Στα κόσκινα αυτά ο άξονας δε στηρίζεται σε βάση αλλά είναι ελεύθερος. Η στήριξη του κοσκίνου γίνεται με ελατήρια. Ο άξονας μπορεί να είναι έκκεντρος ή μη και φέρει αντίβαρα με ρυθμιζόμενη εκκεντρότητα. Επίσης, η δόνηση του κοσκίνου είναι ελλειπτική και ωθεί τους κόκκους μπροστά δημιουργώντας χώρο για νέα τροφή. Στη μέση η δόνηση γίνεται κυκλική και προς το τέλος πάλι ελλειπτική με αντίθετη φορά.

γ. Κόσκινα ισοζυγισμένου συντονισμού:

Στη περίπτωση αυτή τα κόσκινα λειτουργούν παλινδρομικά με αποτέλεσμα να καταναλώνουν μικρότερη ενέργεια. Τα κόσκινα αυτά στηρίζονται σε ελάσματα ή ελαστικά και ρυθμίζονται έτσι ώστε να πετυχαίνεται συντονισμός μεταξύ του κινητήρα και της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής.

δ. Ηλεκτρομαγνητικά κόσκινα:

Στα συγκεκριμένα κόσκινα δημιουργείται δόνηση από ηλεκτρομαγνητικό πηνίο

ε. Κόσκινα Mogensen:

Εδώ η κίνηση των τεμαχίων είναι κατακόρυφη και επίσης το ενεργό άνοιγμα των πλεγμάτων είναι φαινομενικά μικρότερο από το πραγματικό. Τα πλεονεκτήματα τους είναι ότι έχουν μεγάλη δυναμικότητα, καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και δεν έχουν πρόβλημα έμφραξης των οπών.

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της κοσκίνισης

Την αποδοτικότητα της κοσκίνισης επηρεάζουν:

1. Η σχέση μεγέθους ως προς το άνοιγμα του κοσκίνου: Δηλαδή η ευκολία με την οποία ένας κόκκος διαμέτρου d περνάει από ένα κόσκινο

- ανοίγματος α. Όσο μεγαλώνει η σχέση d/a , τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα να περάσει ο κόκκος, ενώ όσο μικραίνει η σχέση τότε συμβαίνει το αντίθετο.
2. Το σχήμα: Τα στρογγυλεμένα σωματίδια μπορούν να περάσουν πιο εύκολα από τις οπές, ενώ αυτά που έχουν ακανόνιστο σχήμα πρέπει να πλησιάσουν με την κατάλληλη πλευρά για να περάσουν.
 3. Κατανομή μεγέθους: Τα υλικά τα οποία έχουν μέγεθος παραπλήσιο με το άνοιγμα του κοσκίνου κοσκινίζονται δύσκολα και επιπλέον μπορεί να σφηνώσουν στα ανοίγματα και να τυφλώσουν την επιφάνεια του κοσκίνου. Αυτό παρατηρείται συνήθως στα κλειστά κυκλώματα.
 4. Παροχή: Στη περίπτωση που έχουμε ένα παχύ στρώμα τότε οι μικροί κόκκοι είναι δύσκολο να φτάσουν στο πλέγμα. Εν αντιθέσει, όταν έχουμε πολύ λεπτό στρώμα τότε οι κόκκοι κάνουν μεγάλα πηδήματα και διαπερνούν το μήκος του πλέγματος επιτυγχάνοντας λίγες επαφές με το πλέγμα. Οπότε η ύπαρξη ενός μονοστρώματος παίζει βασικό ρόλο.
 5. Υγρασία: Η υγρασία δε θα πρέπει να είναι πάνω από 8% διότι οι κόκκοι κολλούν μεταξύ τους και σχηματίζουν γέφυρες ή συσσωματώματα με αποτέλεσμα να μη κοσκινίζονται.
 6. Τύπος πλέγματος: Η πιθανότητα να περάσει ένας κόκκος εξαρτάται από τη συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων σε σχέση με τη συνολική επιφάνεια κοσκίνισης.
 7. Ένταση δόνησης: Η ένταση της δόνησης θα πρέπει να είναι μικρότερη για μικρά ανοίγματα και μεγαλύτερη για μεγάλα ανοίγματα.

3.4 Πάχυνση

Η πάχυνση είναι το πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης, όπου ανακτάται ο μεγαλύτερος όγκος του νερού. Η αρχή λειτουργίας της πάχυνσης ενός πολφού είναι η καθίζηση.

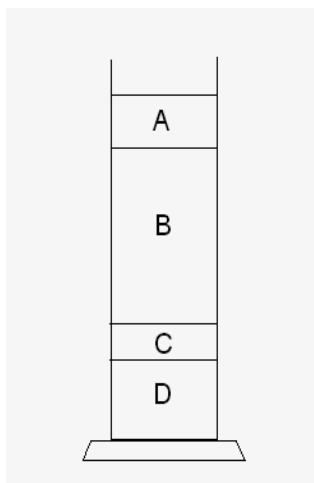
Λόγω της βαρύτητας τα στερεά καθιζάνουν στο υγρό και η κίνηση τους ακολουθεί τους νόμους των Stokes και Newton. Όμως αυτοί οι νόμοι δεν ισχύουν για τα πολύ μικρά σωματίδια γιατί οι ελκτικές και απωστικές δυνάμεις γίνονται σημαντικές, σε σχέση με το βάρος τους, και σε πολλές περιπτώσεις παρεμποδίζεται η καθίζηση.

Οι ελκτικές δυνάμεις είναι Van der Waals, ενώ οι απωστικές προέρχονται από το φορτίο που υπάρχει στην επιφάνεια τους (ζ-δυναμικό). Εάν τα σωματίδια κατορθώσουν και πλησιάσουν κοντύτερα από μία κρίσιμη απόσταση, στην οποία η συνισταμένη των δυνάμεων είναι απωστική τότε έλκονται και σχηματίζουν συσσωματώματα που έχουν μεγάλο βάρος και πέφτουν σχετικά εύκολα. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή και η καθίζηση πολύ μικρών σωματιδίων.

Για να επιτύχουμε τη συσσωμάτωση θα πρέπει να μειώσουμε το ζ-δυναμικό της επιφάνειας των κόκκων. Με τη ρύθμιση του pH, καθώς και με την προσθήκη κατάλληλων ιόντων με φορτίο αντίθετο από αυτό των επιφανειών έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η καθίζηση των μικρών κόκκων επιβοηθείτε από ανόργανες ενώσεις αλλά και οργανικές μεγαλομοριακές ενώσεις, συνήθως συνθετικές π.χ. πολυακρυλαμίδιο. Οι τελευταίες ενώσεις έχουν στο μόριο τους μεγάλο μήκος και φέρουν αμινοομάδες. Σ' αυτές τις ομάδες προσκολλώνται τα σωματίδια σχηματίζοντας μεγάλες κροκίδες που καθιζάνουν γρήγορα.

Η πύκνωση μελετάται σε ογκομετρικούς κυλίνδρους του 1lt. Εκεί αναδεύεται ο πολφός για να ομογενοποιηθεί και αφήνεται να ηρεμήσει. Στη συνέχεια παρατηρείται μια διεπιφάνεια στερεών-νερού που κινείται με σταθερή ταχύτητα αφήνοντας μία ζώνη καθαρού νερού (Α). Πιο κάτω διακρίνονται οι υπόλοιπες ζώνες. Η (Β) στην οποία η πυκνότητα του πολφού είναι σταθερή, η C που είναι μεταβατική και αυξάνεται η πυκνότητα και τέλος η D όπου ο πολφός βρίσκεται στη τελική φάση συμπίεσης. Στο παρακάτω σχήμα 3.1 διακρίνονται αναλυτικά οι ζώνες (Σταμπολιάδης 2001).



Σχήμα 3.1 Ζώνες πάχυνσης

3.5 Κοκκομετρικός αναλυτής Laser

Ο αναλυτής Mastersizer S της Malvern είναι ένα σύστημα με 2 mW ισχύ He/Ne laser που χρησιμοποιείται για να υπολογίζει την κατανομή κατά μέγεθος του προς ανάλυση υλικού.

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή των ακτίνων laser, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μικρότερη η γωνία εκτροπής.



Σχήμα 3.2: Κοκκομετρικός αναλυτής Laser

Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής είναι:

α) Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit)

Η Mastersizer οπτική μονάδα μέτρησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- Πομπό (transmitter), που περιλαμβάνει τη μονάδα του laser
- Δέκτη (receiver), που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή
- Περιοχή κάλυψης του δείγματος (sampler area cover), που περιλαμβάνει το κελί μέτρησης και

- Φακό (range lens), ο φακός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο 300 RF που αναλύει κόκκους με μέγεθος 0.05-880 μm .

β) Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit)

Η μονάδα αυτή διασπείρει το υλικό και είναι κατάλληλη για την μέτρηση της πλειοψηφίας των υλικών. Το σύστημα χρησιμοποιεί 1 lt νερό μέσα στο οποίο το υπό μέτρηση υλικό είναι διασπαρμένο. Περιλαμβάνει επίσης, ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για την διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων. Κατά την διαδικασία της μέτρησης ο πολφός με την βοήθεια μίας αντλίας κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής.

γ) Σύστημα H/Y

Ο αναλυτής laser περιλαμβάνει ένα σύστημα υπολογιστή (DTK computer) ο οποίος είναι συμβατός με το λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern, και έναν εκτυπωτή HP Deskjet 600 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

δ) Λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern

4. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

4.1 Η συμπεριφορά των τεμαχίων σε μαγνητικό πεδίο

Με την ανάπτυξη των μεθόδων διαχωρισμού και με τη συνεχή μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων ενός μεταλλεύματος ή ενός ορυκτού, διαπιστώθηκε ότι η μαγνητικότητα αυτών ή όχι είναι ένα ικανό στοιχείο διαχωρισμού δύο ανομοιομαγνητικών ορυκτών.

Έτσι σήμερα χρησιμοποιείται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από στείρα μη μαγνητικά ορυκτά. Μπορούμε να τον δούμε στο διαχωρισμό του μαγνητίτη από το χαλαζία αλλά και για την απομάκρυνση του σερπεντίνη από τον μαγνησίτη.

Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους όταν βρεθούν σε μαγνητικό πεδίο, τα υλικά χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες:

- *Διαμαγνητικά.* Πρόκειται για τα υλικά τα οποία απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί. Με άλλα λόγια τα διαμαγνητικά υλικά δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό πεδίο.
- *Παραμαγνητικά.* Ονομάζονται τα υλικά τα οποία έλκονται από τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Τα πιο γνωστά παραδείγματα παραμαγνητικών ορυκτών είναι ο ιλμενίτης (FeTiO_3), το ρουτίλιο (TiO_2), ο αιματίτης (Fe_2O_3), ο σιδηρίτης (FeCO_3), ο χρωμίτης (FeCr_2O_4) κ.α.
- *Σιδηρομαγνητικά.* Είναι τα παραμαγνητικά υλικά που υπό τη θερμοκρασία Curie γίνονται σιδηρομαγνητικά. Είναι μία κατηγορία όπου η δύναμη έλξεως από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα παραμαγνητικά.
- *Αντισιδηρομαγνητικά.* Δεν έχουν προϋπάρχουσα μαγνητική ροπή και η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι θετική, μικρή και αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Από ένα σημείο και μετά, με την αύξηση, ακολουθούν πορεία παραμαγνητικών ουσιών.
- *Σιδηριμαγνητικά.* Έχουν μεγάλη προϋπάρχουσα μαγνητική ροπή (φυσικοί μόνιμοι μαγνήτες). Έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα σιδηρομαγνητικά με επί

πλέον μόνιμη αρχική μαγνήτιση και με εξάρτηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας από τη θερμοκρασία (Φραγκίσκος 1979).

4.2 Το μαγνητικό πεδίο κατά τον εμπλουτισμό

Οι κατηγορίες, που χωρίζονται οι μαγνητικοί διαχωριστές είναι οι ακόλουθοι: μικρής έντασης και υψηλής, ενώ χωρίζονται και σε υγρούς και ξηρούς αναλόγως αν το μέταλλευμα είναι ξηρό ή υπό μορφή πολφού.

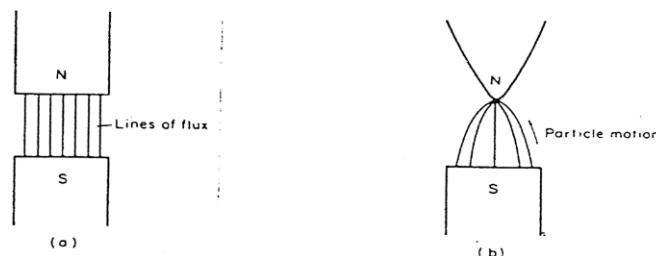
Όλοι οι μαγνητικοί διαχωριστές δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο μέσα σ' ένα συγκεκριμένο χώρο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος αυτός τόσο δυσκολότερο είναι να αναπτυχθεί πεδίο υψηλής έντασης.

Σ' ένα σωματίδιο όταν βρίσκεται στο μαγνητικό πεδίο ασκείται δύναμη οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$F = \mu_o \chi V H \frac{dH}{dl}$$

Όπου V ο όγκος του σωματιδίου, dH/dl η κλίση του πεδίου ή η μεταβολή ανά μονάδα μήκους, μ_o η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό και χ η μαγνητική επιδεκτικότητα του υλικού.

Στο ομογενές πεδίο η κλίση dH/dl είναι μηδενική και δεν υπάρχει ελκτική δύναμη, ασχέτως της έντασης του πεδίου. Στο παρακάτω σχήμα 4.1α παρατηρούμε το ομογενές πεδίο ανάμεσα σε δύο πόλους, το οποίο δεν ενδείκνυται για μαγνητικό διαχωρισμό. Εν αντιθέσει στο σχήμα 4.1β το πεδίο συγκλίνει προς τον πόλο με την κωνική διατομή. Δηλαδή τα παραμαγνητικά, καθώς και τα σιδηρομαγνητικά υλικά όταν βρεθούν στο συγκλίνον πεδίο θα κινηθούν προς τη διεύθυνση που συγκλίνουν οι μαγνητικές γραμμές, ενώ τα διαμαγνητικά αντίθετα.



Σχήμα 4.1: α)Ομοιογενές πεδίο β)συγκλίνον πεδίο

4.3 Τύποι μαγνητικών διαχωριστών

1) Μαγνήτες έλξεως.

Πρόκειται για την απλούστερη μορφή μαγνητικού διαχωριστή συνεχούς λειτουργίας. Περιλαμβάνει μία μεταφορική ταινία με την οποία κινείται το υλικό και υπεράνω της ταινία υπάρχει μαγνήτης που έλκει το υλικό. Βασική προϋπόθεση αποτελεί το γεγονός ότι η μαγνητική δύναμη πρέπει να υπερβαίνει το βάρος των τεμαχίων, έτσι ώστε να μπορεί να τα ανυψώσει. Οι τύποι αυτοί χρησιμοποιούνται για πολύ μαγνητικά υλικά.

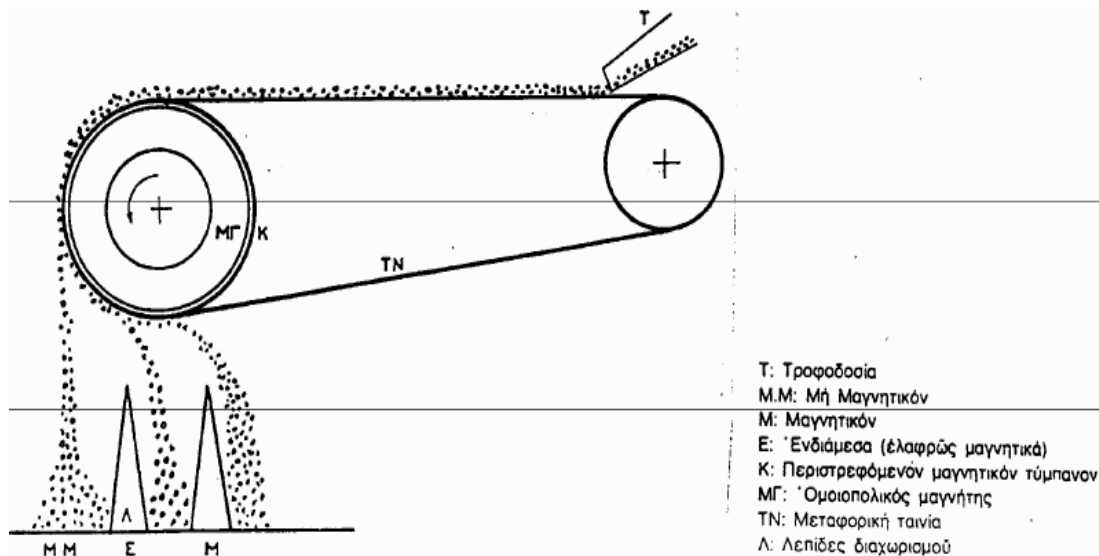
2) Μαγνητικά τύμπανα.

Το μαγνητικό τύμπανο είναι ευρέως διαδεδομένο και αποτελείται συνήθως από ένα λεπτό κυλινδρικό κέλυφος 1-2mm, που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα συμμετρίας του. Το κέλυφος είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ανοξείδωτος χάλυβας, ενώ εντός του κελύφους παραμένει ακίνητος ένα μαγνήτης.

Τα τύμπανα διακρίνονται σε ομοιοπολικά και ετεροπολικά. Στα ομοιοπολικά η διάταξη των πόλων είναι τέτοια ώστε η πολικότητα του πεδίου να είναι ίδια σε όλη του την περίμετρο. Δηλαδή ένα μαγνητικό σωματίδιο που προσκολλάται στην αρχή εξακολουθεί να παραμένει προσκολλημένο με την ίδια πλευρά μέχρι να οδηγηθεί έξω από το πεδίο. Τα ομοιοπολικά συνιστούνται για μεγάλα τεμάχια.

Ετεροπολικά είναι τα τύμπανα όπου οι πόλοι του μαγνήτη εναλλάσσονται, βόρειος και νότιος. Με άλλα λόγια όταν ένα σωματίδιο προσκολλάται αρχικά με τη μία πλευρά στο τύμπανο, τότε θα αναστραφεί 180° και θα προσκολληθεί με την αντίθετη μεριά. Αυτό συμβαίνει όταν το τεμάχιο βρεθεί μπροστά στον επόμενο αντίθετο πόλο. Τα ετεροπολικά χρησιμοποιούνται συνήθως για λεπτόκοκκα υλικά.

Οι μαγνήτες των τυμπάνων μπορεί να είναι μόνιμοι ή ηλεκτρομαγνήτες και είναι επί το πλείστον χαμηλής έντασης. Μια παραλλαγή του μαγνητικού τυμπάνου είναι οι ταινιοφόροι μαγνήτες. Το μειονέκτημα τους είναι τα σωματίδια που διαχωρίζονται κρατούνται σε απόσταση από το μαγνητικό τύμπανο, λόγω του πάχους της ταινίας και έτσι ουσιαστικά βρίσκονται σε ασθενέστερο πεδίο. Όταν όμως χρησιμοποιούμε ομοιοπολικό μαγνήτη τότε έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα όπως συνέβη και στη συγκεκριμένη διπλωματική. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν μεγάλη παροχή και μικρό κόστος λειτουργίας. Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι επί το πλείστον η τροφοδοσία είναι εν ξηρώ.



Σχήμα 4.2: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής

3) Μαγνήτες υψηλής έντασης.

Μεγάλη ένταση πεδίου μπορούμε να πετύχουμε μόνο σε σχετικά μικρό χώρο. Γι αυτό για να πετύχουμε αύξηση της πυκνότητας ροής του μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να περιορίσουμε το χώρο ροής των μαγνητικών γραμμών. Στη συγκεκριμένη κατηγορία μπορούμε να δούμε πολλούς διαχωριστές διαφόρων διατάξεων.

4) Διαχωριστές υψηλής κλίσης πεδίου.

Αυτοί οι μαγνητικοί διαχωριστές βρίσκουνε χρήση στον εμπλουτισμό του αιματίτη καθώς και άλλων παραμαγνητικών υλικών σε μέγεθος -2mm ή και μικρότερο από αυτό.

5)Κρυογενικοί μαγνήτες.

Ηλεκτρομαγνήτες με μεγάλες εντάσεις πεδίου είναι δύσκολο να αναπτυχθούν διότι η αύξηση της έντασης του ρεύματος δημιουργεί θερμότητα στα πηνία. Αυτό το εμπόδιο σήμερα μπορεί να καταπολεμηθεί χάρις την κρυογενική τεχνολογία, που επιτρέπει τη δημιουργία θερμοκρασιών 4°K με τη χρήση υγρού He (Σταμπολιάδης 2001).

4.4 Μαγνητικοί διαχωριστές πειράματος

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τον μαγνητικό διαχωρισμό στην παρούσα εργασία είναι δύο. Ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής, ο οποίος χρησιμοποιείται για μεγαλύτερη κοκκομετρία (Perm-Roll) (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3 Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής εργαστηρίου

και ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης, ο οποίος δέχεται ψιλότερα κλάσματα κόκκων. (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH (13) της Carpco) (Σχήμα 4.4). Ο συγκεκριμένος αποτελείται από δονούμενο τροφοδότη, ηλεκτρομαγνήτη, μαγνητικό τύμπανο, λεπίδες διαχωρισμού και οχετούς των προϊόντων. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται μεταξύ του πυρήνα του ηλεκτρομαγνήτη και του περιστρεφόμενου τυμπάνου.



Σχήμα 4.4 Μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης εργαστηρίου

5. ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ

5.1 Η λειτουργία της μεθόδου

Η μέθοδος των βαρέων υγρών χρησιμοποιείται για τη διαπίστωση της εμπλουτισιμότητας ενός μεταλλεύματος ή για τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός εργοστασίου εμπλουτισμού. Κατά τη μέθοδο αυτή εκμεταλλευόμαστε τη διαφορά πυκνοτήτων ανάμεσα στα βαρέα υγρά και στα προς διαχωρισμό ορυκτά.

Γενική αρχή της μεθόδου είναι ότι ένα σώμα αιωρείται σε ένα υγρό όταν έχει το ίδιο ειδικό βάρος με το υγρό. Επιπλέει όταν έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό, ενώ αντίθετα καταβυθίζεται όταν έχει μεγαλύτερο.

Η μέθοδος όπως προείπαμε βασίζεται στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, τα οποία αυξάνουν σταδιακά τη πυκνότητα τους. Με αυτό τον τρόπο το μετάλλευμα διαχωρίζεται σε κλάσματα διαφόρων ειδικών βαρών. Στον παρακάτω πίνακα 5.1 διακρίνονται τα συνηθέστερα βαρέα υγρά που χρησιμοποιούμε:

Βαρύ υγρό	Ειδικό βάρος (gr/cm^3)
Τετραχλωράνθρακας	1,58
Βρωμοφόρμιο	2,82
Τετραβρωμοαιθάνιο	2,96
Ιωδιούχο μεθυλένιο	3,33
Διάλυμα Clerici	4,50

Πίνακας 5.1: Βαρέα υγρά

Η μέθοδος των βαρέων υγρών είναι κατάλληλη για τις περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι διαθέσιμη αρκετή ποσότητα μεταλλεύματος. Διαχωρίζει ορυκτά με διαφορά ειδικού βάρους τουλάχιστον $0,05 \text{ gr/cm}^3$. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου το υγρό έχει ειδικό βάρος μεγαλύτερο από $4,5 \text{ gr/cm}^3$. Τα βαρέα υγρά είναι μεν επαναχρησιμοποιήσιμα αλλά απ' την άλλη είναι πολύ ακριβά. Για το λόγο αυτό η μέθοδος των βαρέων υγρών περιορίστηκε σε εργαστηριακές δοκιμές και έχει περιορισμένη χρήση.

5.2 Μηχανές βαρέων διαμέσων και πλεονεκτήματα

Οι μηχανές των βαρέων διαμέσων κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διαχωρισμού.

Στην πρώτη βρίσκουμε τους κώνους, τους κυλίνδρους ή τύμπανα και τις επιμήκεις ή σκαφοειδείς μηχανές. Αυτές οι μηχανές διεκπεραιώνουν στατικό διαχωρισμό, μέσα σε σχετικά ήρεμο αιώρημα.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους κυκλώνες, καθώς και τους κυκλωνικούς κυλίνδρους και πραγματοποιεί δυναμικό διαχωρισμό. Δηλαδή διαχωρισμό εντός στροβιλίζοντος αιωρήματος.

Η μέθοδος παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Προσφέρει ακριβή διαχωρισμό για οποιοδήποτε αιώρημα ειδικού βάρους από 1,25-3,4.
2. Το ειδικό βάρος του αιωρήματος παραμένει σταθερό καθ' όλη τη λειτουργία του διαχωρισμού με κυμαινόμενα όρια $\pm 0,1$.
3. Ακόμη το ειδικό βάρος μπορεί να μεταβληθεί οποιαδήποτε ώρα σε μικρό χρονικό διάστημα λόγω αλλαγής των χαρακτηριστικών της τροφοδοσίας.
4. Μπορούμε να επεξεργαστούμε όλες τις διαστάσεις του μεταλλεύματος χωρίς την ανάγκη ταξινομήσεως.
5. Οι εγκαταστάσεις των βαρέων διαμέσων μπορούν να διακόψουν και να ξαναρχίσουν τη λειτουργία τους χωρίς οικονομικές ή άλλες απώλειες.
6. Τα βαρέα διάμεσα είναι ανακτήσιμα και οι απώλειες τους είναι μικρές.
7. Οι εγκαταστάσεις έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
8. Οι μηχανές καταλαμβάνουν μικρό χώρο και έχουν μεγάλη δυναμικότητα.
9. Το εργοστάσιο δεν χρειάζεται μεγάλο κεφάλαιο εν συγκρίσει με άλλες εγκαταστάσεις της ίδιας αποδοτικότητας και δυναμικότητας.
10. Τα σιδηρούχα διάμεσα τα οποία δημιουργούν υψηλά ειδικά βάρη αιωρήματος ανακτούνται εύκολα λόγω της μικρής απώλειας.

Τα ανώτερα όρια μεγέθους της μεθόδου αυτής κυμαίνονται από 200mm μέχρι 0,5mm (Φραγκίσκος 1979).

6. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ

6.1 Μηχανές λειοτριβήσης

Πριν από κάθε επίπλευση είναι απαραίτητη η λειοτριβήση του δείγματος διότι τα μεγέθη των κόκκων που δέχεται η μέθοδος είναι πολύ μικρά. Σ' αυτό το κεφάλαιο αναφέρουμε ορισμένες από τις πιο σημαντικές μηχανές λειοτριβήσης οι οποίες είναι οι ραβδόμυλοι και οι σφαιρόμυλοι. Και οι δύο αποτελούνται από ένα κυλινδρικό κέλυφος που στηρίζεται στα δύο άκρα και περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του. Έχουν ένα κυλινδρικό άνοιγμα και στις δύο άκρες, όπου από τη μία μεριά εισέρχεται η τροφοδοσία και απ' την άλλη εξέρχεται το υλικό. Ο τρόπος με τον οποίο λειοτριβούν είναι μέσω πτώσεως και κύλισης των μέσων λειοτριβήσης που περιέχουν. Μέσα στο κέλυφος υπάρχει ένα μόνιμο φορτίο από μεταλλικές σφαίρες ή ράβδους ή κροκάλες, το οποίο βρίσκεται σε συνεχή κίνηση λόγω της περιστροφής του μύλου.

Οι μεταλλικές σφαίρες ή οι ράβδοι μέσα στο κέλυφος ανυψώνονται μέχρι ενός σημείου όπου αρχίζουν να κυλίνουν πάνω στις άλλες. Άλλες ανυψώνονται περισσότερο, ώσπου πέφτουν ελεύθερα προς τα κάτω και κατακρημνίζονται ακολουθώντας παραβολική τροχιά. Μ' αυτό τον τρόπο, δηλαδή το κατρακύλισμα και την πτώση των σφαιρών ή ράβδων, λειοτριβείτε το μέταλλευμα το οποίο συνυπάρχει μέσα στο μύλο. Οι δυνάμεις που εξασκούνται στους κόκκους είναι δυνάμεις κρούσης, από την ελεύθερη πτώση και τριβής, που δημιουργούνται από τη κύλιση των σφαιρών μεταξύ τους.

Σε κάθε σφαιρόμυλο ή ραβδόμυλο υπολογίζουμε την κρίσιμη συχνότητα μέσα

από το τύπο:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \text{ rpm}$$

Όπου D: η διάμετρος του μύλου. Ονομάζεται κρίσιμη συχνότητα διότι όταν το κέλυφος περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση από αυτή τότε η σφαίρα δε πέφτει, αλλά παραμένει κολλημένη στο κέλυφος, οπότε δεν έχουμε λειοτριβήση. Οι μύλοι περιστρέφονται με συχνότητα 60%-80% της N_c .

6.1.1 Ραβδόμυλοι

Ο ραβδόμυλος αποτελείται από ράβδους διαμέτρου 25-150mm και έχουν μήκος μικρότερο από το εσωτερικό του κελύφους. Το μήκος του μύλου είναι 0,5-2 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο του, ώστε οι ράβδοι να παραμένουν πάντοτε ομοαξονικά τοποθετημένοι και να μην εμπλέκονται.

Το προϊόν του ραβδόμυλου μπορούμε να το πάρουμε με 3 τρόπους: α) με υπερχειλίση β) με ακραία περιφερειακή απορροή και γ) με κεντρική περιφερειακή απορροή. Η περιφερειακή απορροή προτιμάται στη ξηρή λειοτρίβιση, ενώ η υπερχειλίση προτιμάται στην υγρή λειοτρίβιση.

Τους ραβδόμυλους μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε ακόμα και για χονδρά τεμάχια 2 ή 3mm, σαν είδος από τεταρτογενή σπαστήρα και δουλεύουν κυρίως σε ανοιχτό κύκλωμα. Το υλικό τροφοδοσίας των ραβδόμυλων είναι συνήθως -30mm και μπορούν να δεχτούν και υλικά -50mm.

6.1.2 Σφαιρόμυλοι

Ο σφαιρόμυλος αποτελείται από σφαίρες μεγέθους -100 μέχρι και 150mm. Η σχέση μήκους προς διάμετρο για τους σφαιρόμυλους είναι 1-1,15. Η απόδοση της λειοτρίβισης εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια του φορτίου, που είναι μεγαλύτερη για σφαίρες μικρής διαμέτρου, όμως είναι απαραίτητες και οι μεγάλες σφαίρες για τα χονδρά τεμάχια. Στο σφαιρόμυλο όλα τα τεμάχια έχουν την ίδια πιθανότητα να σπάσουν και δεν παρουσιάζουν την εκλεκτική λειοτρίβιση των χονδρών όπως στον ραβδόμυλο. Εν αντιθέσει, οι σφαιρόμυλοι προτιμάται να δουλεύουν σε κλειστά κυκλώματα διότι δημιουργούν πολλά ψιλά.

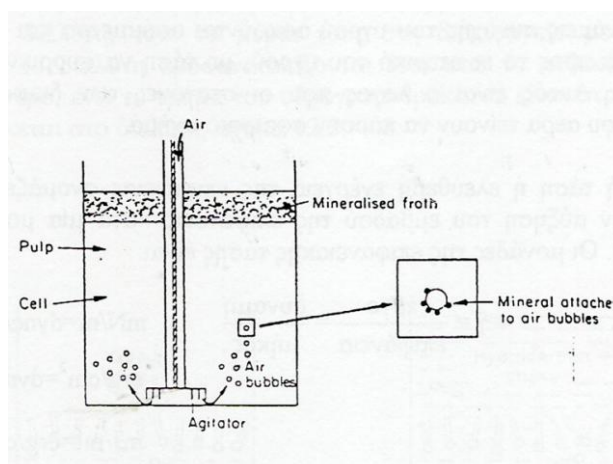
Οι τρόποι απορροής του σφαιρόμυλου είναι δύο:

- α) απορροή υπερχειλίσεως
- β) απορροή εσχάρας και η τροφοδοσία τους είναι συνήθως 10-20mm.

6.2 Τρόπος λειτουργίας της επίπλευσης

Η επίπλευση είναι μία φυσικοχημική μέθοδος εμπλουτισμού η οποία χρησιμοποιείτε από τις αρχές του αιώνα μας. Στην επίπλευση έχουμε την εκλεκτική συγκέντρωση μεταλλεύματος μέσα σ' ένα υγρό και τον διαχωρισμό του από το στείρο με τη βοήθεια φυσαλίδων αέρα.

Η λειτουργία της μεθόδου είναι η εξής και περιγράφεται από το ακόλουθο σχήμα (σχήμα 6.1). Αρχικά λειοτριβούμε το δείγμα μας, έτσι ώστε να φτάσει στο επιθυμητό μέγεθος, δηλαδή μικρότερο από 0,3 mm. Η λειοτρίβηση είναι συνήθως υγρή. Στη συνέχεια ο πολφός με τα κατάλληλα αντιδραστήρια εισέρχεται στη κυψέλη της επίπλευσης μέσα στην οποία υπάρχει ένας αναδευτήρας, έτσι ώστε να κρατάει τα στερεά σε αιώρηση. Έπειτα ο αναδευτήρας αναρροφάει ατμοσφαιρικό αέρα από το περιβάλλον και αυτός με τη σειρά του διοχετεύεται υπό μορφή φυσαλίδων μέσα στον πολφό.



Σχήμα 6.1: Κελί επίπλευσης

Έστερα, οι κόκκοι του ορυκτού που η επιφάνειά τους έχει καταστεί υδρόφοβη, προσκολλώνται στις δημιουργηθείσες φυσαλίδες και ανέρχονται στην επιφάνεια λόγω της επίδρασης της άνωσης. Κατόπιν, στην επιφάνεια βρίσκουμε το επιπλεύσαν ορυκτό υπό μορφή αφρού, το οποίο απομακρύνουμε με υπερχειλίση, με τη βοήθεια κατάλληλων πτερυγίων.

Έτσι με την επίπλευση το στείρο υλικό παραμένει στη κυψέλη και μπορούμε να το διαχωρίσουμε από το χρήσιμο υλικό. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή το χρήσιμο ορυκτό παραμένει στη κυψέλη. Αυτή η επίπλευση

ονομάζεται ανάστροφη. Ανάστροφη επίπλευση έχουμε και στη παρούσα διπλωματική όπου το χρήσιμο ορυκτό (μαγνησίτης) καταβυθίζεται.

6.3 Αντιδραστήρια επίπλευσης

Τα αντιδραστήρια της επίπλευσης κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- α) Συλλεκτικά αντιδραστήρια – Συλλέκτες
- β) Αφριστικά αντιδραστήρια
- γ) Μετατροποποιητικά και ρυθμιστικά αντιδραστήρια

6.3.1 Συλλέκτες

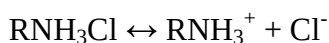
Οι συλλέκτες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επίπλευση και είναι επιφανειακές ενεργές ουσίες. Χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν σε υδρόφοβες τις επιφάνειες των ορυκτών που θέλουμε να επιπλεύσουν. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες συλλεκτών και αυτές είναι:

1) Μη ιονιζόμενοι συλλέκτες: Πρόκειται για υγρούς υδρογονάνθρακες, όπως το πετρέλαιο diesel ή διάφορα έλαια που δεν διασπώνται στο νερό. Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση υδρόφοβων ορυκτών, όπως το θείο, ο γραφίτης, ο άνθρακας, ο μολυβδαινίτης κ.α.

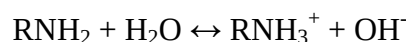
2) Ιονιζόμενοι συλλέκτες: Αποτελούν τον πιο συνήθη τύπο συλλεκτών και πρόκειται για ενεργές ουσίες. Περιέχουν ένα πολικό τμήμα και ένα οργανικό.

2.α) Κατιοντικοί: Πρόκειται για τους συλλέκτες οι οποίοι όταν βρεθούν σ' ένα διάλυμα παίρνουν το θετικό φορτίο. Κατιοντικοί συλλέκτες είναι οι αμίνες, που προέρχονται από την αμμωνία μέσω αντικαταστάσεως του ενός ή δύο ή τριών ατόμων υδρογόνου (H). Διατίθενται υπό μορφή αλάτων. Ανάλογα με τον αριθμό των αλκυλίων του μορίου του υδρογόνου κατατάσσονται σε: i) πρωτοταγείς αμίνες οι οποίες περιέχουν 10 άτομα άνθρακα και είναι σχεδόν αδιάλυτες στο νερό ii) δευτεροταγείς και iii) τριτοταγείς που είναι πιο διαλυτές iv) ανώτερες αμίνες που αντιδρούν με τα οξέα και σχηματίζουν αντίστοιχα άλατα v) άλατα αμμωνίου.

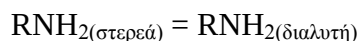
Τα άλατα αμμωνίου είναι διαλυτά μέσα στο νερό και δίστανται:



Η συγκέντρωση του κατιόντος στις τεταρτογενείς αμίνες είναι ανεξάρτητη από το pH, ενώ για τις υπόλοιπες η συγκέντρωση του κατιόντος εξαρτάται από το pH, λόγω της αντίδρασης ιονισμού της αμίνης



η οποία δίνει αμίνη εν διαλύσει στο νερό. Η διαλυτότητα όμως της αμίνης στο νερό είναι περιορισμένη και η περίσσεια δίνει στερεά αμίνη αδιάλυτη στο νερό:



Η σταθερά ισορροπίας της εξίσωσης ιονισμού για την πρωτοταγή αμίνη με 12 άνθρακες δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$K = \frac{[\text{RNH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{RNH}_2]} = 4,3 \cdot 10^{-4}$$

και η διαλυτότητα από την εξίσωση:

$$C_s = [\text{RNH}_2] = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mole / l}$$

Έτσι, με βάση τις σταθερές αυτές μπορεί κανείς να υπολογίσει τη συγκέντρωση των διαφόρων μορφών της αμίνης στο νερό συναρτήσει του pH.

6.3.2 Αφριστικά αντιδραστήρια

Ο ρόλος των αφριστικών αντιδραστηρίων στην επίπλευση είναι η δημιουργία αφρού. Πρόκειται για επιφανειακώς ενεργές ουσίες και σκοπός τους είναι να συγκρατούνται οι ανερχόμενες, φορτωμένες φουσκάλες και να μη σκάσουν μόλις ανέβουν στην επιφάνεια.

Μεγάλη διεπιφάνεια του νερού με τον αέρα συνεπάγεται διατήρηση του αφρού. Η δημιουργία της διεπιφάνειας βοηθείται από την επιφανειακή δράση του αφριστικού στην διεπιφάνεια αυτή. Η επιλογή του κατάλληλου αφριστικού είναι μάλλον εμπειρική και είναι συνάρτηση και των υπόλοιπων αντιδραστηρίων.

6.3.3 Ρυθμιστικά αντιδραστήρια

Τα ρυθμιστικά αντιδραστήρια είναι κυρίως ανόργανες, αλλά και οργανικές ουσίες που βοηθούν στην καλύτερη επίπλευση και χωρίζονται στα εξής:

α) Ενεργοποιητικά. Βοηθούν στη καλύτερη προσρόφηση του συλλέκτη στην επιφάνεια του ορυκτού, καθώς και την ενίσχυση της υδροφοβίας της επιφάνειας.

Ορισμένα παραδείγματα αυτών είναι ο θεϊκός χαλκός και το θειούχο νάτριο Na_2S και το υδροσουλφίδιο NaSH .

β) Καταβυθιστικά ή ανασταλτικά. Τα οποία βοηθούν στη διατήρηση της υδροφιλίας της επιφάνειας των ορυκτών που θέλουμε να επιπλεύσουν. Επίσης, βοηθούν και στη διασπορά των κόκκων του πολφού και δεν παρατηρείται προσκόλληση των κόκκων του στείρου στις επιφάνειες των προς επίπλευση ορυκτών. Όλο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας του επιπλέοντος ορυκτού. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένα αντιδραστήρια: i) Το κυανιούχο νάτριο NaCN ii) Τα χρωμικά και διχρωμικά άλατα iii) Πυριτικό νάτριο iv) Θειώδες νάτριο v) Διάφορα άλατα ανθρακικά, φθοριούχα, φωσφορικά και θεϊκά vi) Οργανικά καταβυθιστικά όπως πολυγλυκοαιθέρες, πολυφαινόλες, πολυσακχαρίτες.

γ) Ρυθμιστικά του pH. Τα κυριότερα αντιδραστήρια για τη ρύθμιση του pH είναι ανόργανες ενώσεις βάσεις ή οξέα όπως: Υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ανθρακικό νάτριο Na_2CO_3 , καυστικό νάτριο NaOH , θεϊκό οξύ H_2SO_4 .

7. ΤΡΙΒΟ-ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

7.1 Επαφή και τριβο-ηλεκτροστατική φόρτιση

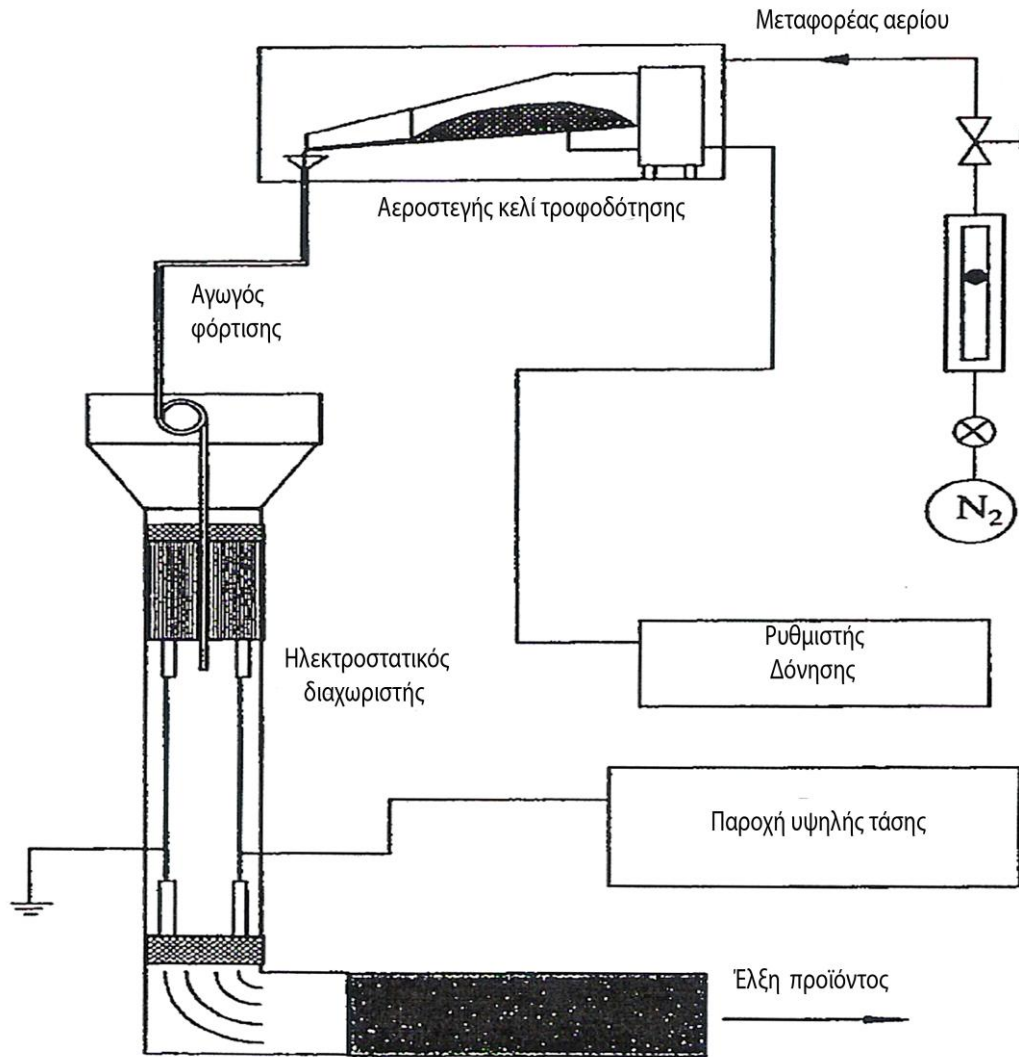
Κατ' ομολογία είναι γνωστό, ότι όταν δύο διαφορετικά μέταλλα βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους τότε μεταφέρονται ηλεκτρόνια μέσα σ' αυτή τη περιοχή επαφής. Ακόμη δημιουργείται μια διαφορά φόρτισης μεταξύ τους που είναι γνωστή ως φόρτιση επαφής.

Αυτή η μεταφορά των ηλεκτρονίων οφείλεται στη διαφορά επιφάνειας που υπάρχει μεταξύ των δύο υλικών και θα συνεχίζεται μέχρι να εξισορροπηθούν τα ηλεκτρόνια. Τα υλικά που έχουν υψηλές στάθμες ενέργειας χάνουν τα ηλεκτρόνια τους και φέρουν θετικό φορτίο, ενώ τα υλικά που έχουν χαμηλές στάθμες ενέργειας δεσμεύουν ηλεκτρόνια και φέρουν αρνητικό φορτίο. Σύμφωνα με κάποιες αναφορές η φόρτιση των υλικών εξαρτάται από την εσωτερική τους δομή, αλλά και από τις συνθήκες της επιφάνειας. Αυτές οι συνθήκες μπορεί να είναι είτε η παρουσία οξειδωμένου στρώματος είτε η μόλυνση της επιφάνειας.

Η διαφορά φόρτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και σε δύο μη-αγώγιμα υλικά με τη βοήθεια της τριβής. Στη παρούσα διπλωματική το SiO_2 , καθώς και οι άλλες προσμίξεις του υλικού μας φορτίστηκαν αρνητικά.

7.2 Σύστημα τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωριστή

Στο παρακάτω σχήμα (7.1) αποτυπώνεται ένας εργαστηριακός τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωριστής.



Σχήμα 7.1: Σχέδιο Τριβο-ηλεκτροστατικού συστήματος

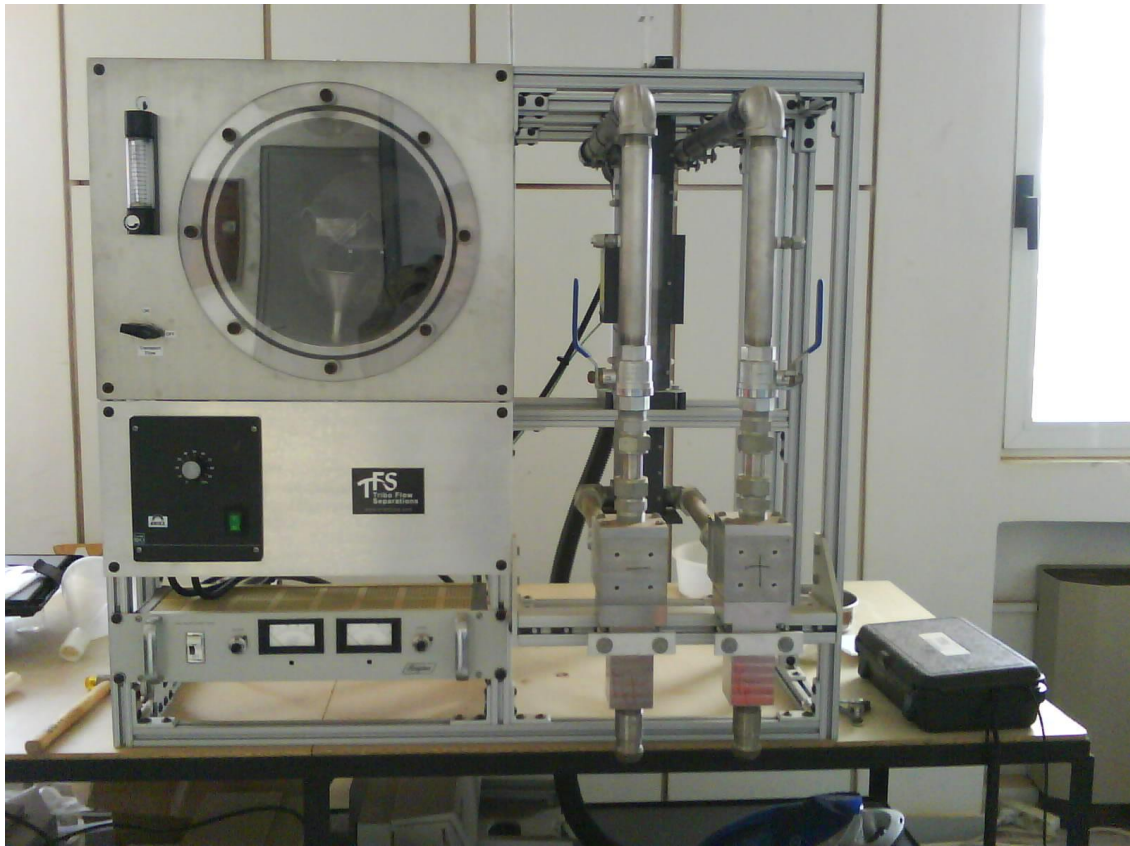
Οι κύριες μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωριστής είναι οι ακόλουθες: i) το δονούμενο κελί παροχής τροφοδοσίας ii) ο αγωγός τριβο-ηλεκτρικής φόρτισης iii) ο θάλαμος ηλεκτροστατικού διαχωριστή iv) η μονάδα παροχής αέρα v) και η μονάδα υψηλής τάσης.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος το δείγμα τοποθετείται αρχικά στο δονούμενο κελί το οποίο είναι στεγανοποιημένο. Με τη βοήθεια του αέρα μεταφέρεται σ' έναν αγωγό διαμέτρου 0,63cm. Εκεί τα σωματίδια φορτίζονται με τη βοήθεια των τοιχωμάτων που μπορεί να αποτελούνται από διάφορα υλικά όπως: ατσάλι, γυαλί, κεραμικά, νάilon και πλαστική ύλη. Για να συμβεί η ηλεκτροστατική φόρτιση πρέπει να υπάρχει μεγάλη αναταραχή μέσα στον αγωγό, έτσι ώστε να γίνεται

συχνή επαφή με τα τοιχώματα. Ο αγωγός περιλαμβάνει αρκετούς βρόχους οι οποίοι αυξάνουν τη πιθανότητα επαφής μεταξύ των κόκκων αλλά και μεταξύ των κόκκων και του τοιχώματος.

Εφόσον το δείγμα μας έχει πλέον αποκτήσει φορτίο διαχωρίζεται στον ηλεκτροστατικό διαχωριστή με τη βοήθεια της τάσης και μ' αυτόν τον τρόπο παίρνουμε το απαλλαγμένο από προσμείξεις υλικό μας (Tianxiang Li 1999)

Στη παρακάτω εικόνα (σχήμα 7.2) διακρίνεται ο διαχωριστής που χρησιμοποιήσαμε στη παρούσα εργασία:

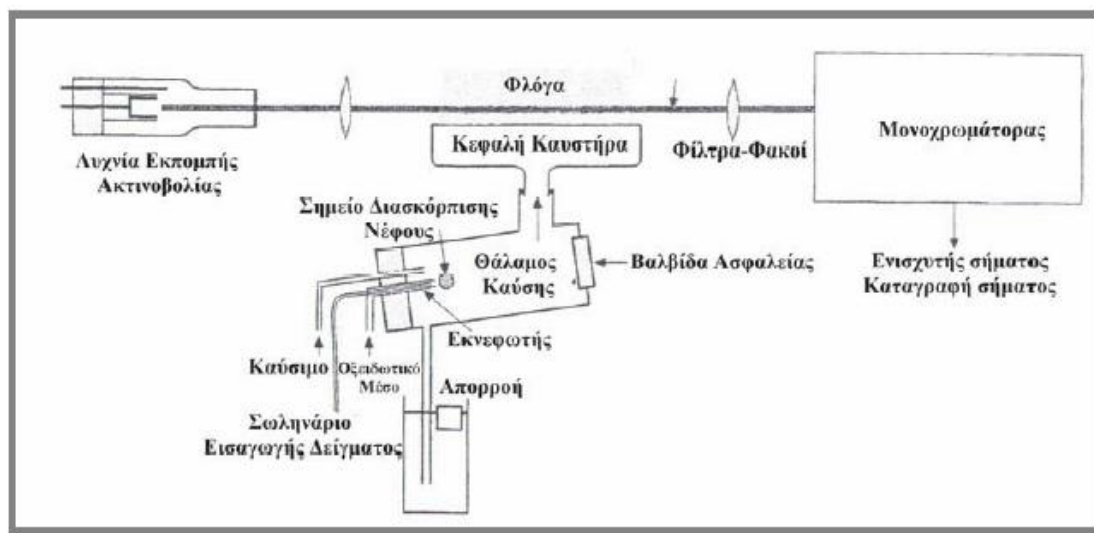


Σχήμα 7.2: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωριστής
εργαστηρίου εμπλουτισμού

8. ΜΕΘΟΔΟΓΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

8.1 Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης

Η μέθοδος της φασματομετρίας θεμελιώθηκε το 1955 και βρίσκει χρήση στον ποσοτικό προσδιορισμό πολλών μεταλλοϊόντων. Συγκαταλέγεται στις οπτικές μεθόδους ανάλυσης και η συσκευή του εργαστηρίου είναι Elmer A Analyst 100. 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 μονοχρώματα (Σχήμα 8.1).



Σχήμα 8.1: Διάταξη φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης

Η μέθοδος περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες. Αρχικά ατομοποιείται το υπό εξέταση στοιχείο. Στη συνέχεια γίνεται διέγερση των παραγόμενων ατόμων με απορρόφηση ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ενέργεια για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ατόμων του προς ανίχνευση στοιχείου και ακολουθεί το νόμο του Lambert-Beer.

$$A = \log \frac{P_o}{P} = -\log T = \varepsilon \cdot b \cdot c \quad (3.5)$$

Όπου,

A: απορρόφηση της ακτινοβολίας από το δείγμα

P₀: ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας

T: διαπερατότητα

B: απόσταση που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

ε: μοριακή απορροφητικότητα

c: συγκέντρωση

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 εκνεφωτή στο θάλαμο καύσης μαζί με το καύσιμο (ακετυλένιο) και το οξειδωτικό μέσο (αέρας ή N₂O). Οι μεγαλύτερες σταγόνες δείγματος (πάνω από 5μm) πέφτουν στην απορροή, ενώ για την καλύτερη μέτρηση χρειάζονται το δυνατόν λεπτότερες σταγόνες. Τη ροή του καυσίμου και του οξειδωτικού τη ρυθμίζουμε ανάλογα με 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 (N₂O). Με τη χρήση μίγματος ακετυλενίου-N₂O 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-N₂O 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 πρωτοξειδίου 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 το προς εξέταση δείγμα, ή αραιώνοντας τα δείγματά μας ή προσθέτοντας άλλα πρότυπα ώστε να πλησιάσουμε στις φυσικές ιδιότητες του δείγματος που εξετάζουμε.

8.1.1 Διαλυτοποίηση δειγμάτων

Στη παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκαν δύο είδη διαλυτοποιήσεων: με σύντηξη και με την επίδραση οξέων.

Συγκεκριμένα για τον μαγνητικό διαχωρισμό επιτελέστηκε διαλυτοποίηση με σύντηξη, ενώ για τα βαρέα υγρά, τον τριβο-ηλεκτροστατικό διαχωρισμό και την επίπλευση πραγματοποιήθηκε διαλυτοποίηση με την επίδραση οξέων.

Διαλυτοποίηση με σύντηξη:

Στο παρών πείραμα χρησιμοποιούνται αντιδραστήρια (συντηκτικά μέσα). Αυτά έχουν την ιδιότητα όταν θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες με το προς ανάλυση δείγμα, να σχηματίζουν μαζί του ενώσεις που είναι ευδιάλυτες σε αραιά διαλύματα οξέων.

Συντηκτικά μέσα είναι τα ανθρακικά, βορικά άλατα και τα υδροξείδια των αλκαλίων. Ακόμη απαραίτητα είναι και τα χωνευτήρια από διάφορα υλικά όπως σίδηρος, νικέλιο, λευκόχρυσος και κράματα λευκόχρυσου. Ο κατάλληλος συνδυασμός συντηκτικού, χωνευτηρίου και θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντικός ώστε να μη προσβληθούν τα χωνευτήρια. Τέλος λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν πτητικά στοιχεία.

Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε ως συντηκτικό μέσο LiCO_3 και H_3BO_3 και έπειτα έγινε διαλυτοποίηση του τήγματος HNO_3 . Συγκεκριμένα, για τη παρασκευή του συντηκτικού 123,66gr H_3BO_3 αναμιγνύονται με 73,89 gr Li_2CO_3 . Τοποθετείται στο φούρνο στους 110°C για 2-3h και έπειτα συνθλίβεται.

- Στη συνέχεια 100mg λεπτόκοκκου δείγματος μαγνησίτη μαζί με 500mg συντηκτικού μέσου εναποτίθενται μέσα σε χωνευτήριο Pt.
- Τοποθετείτε στο φούρνο στους 980°C για 15-20 λεπτά
- Απομακρύνεται από το φούρνο και ψύχεται το υαλώδες τήγμα
- Μεταφέρεται σε ποτήρι ζέσεως και προστίθενται 10ml HNO_3 1M

- Το ποτήρι με το χωνευτήριο τοποθετείται σε οριζόντιο αναταράχτη μέχρι να διαλυθεί τελείως το τήγμα
- Τέλος το δείγμα μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 100ml

Διαλυτοποίηση με επίδραση οξέων:

Στο συγκεκριμένο πείραμα ως αντιδραστήριο χρησιμοποιήθηκαν 5ml HCl και 5ml HNO₃. Ποσότητα 800mg λεπτόκοκκου δείγματος μεταφέρονται σε ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας άνω των 200ml. Προστίθενται τα παραπάνω οξέα με αποτέλεσμα το περιεχόμενο να εξατμίζεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το περιεχόμενο να εξατμιστεί εντελώς και προστίθενται άλλα 10ml οξέων. Έπειτα προσθέτουμε απιονισμένο νερό και διηθούμε το δείγμα σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ή 50ml.

Όμως οι ενώσεις του Si διασπώνται με την επίδραση HF και έτσι το Si μετατρέπεται σε πτητική ένωση και δε μπορεί να προσδιοριστεί. Γι αυτό το λόγο μετράμε το βάρος του στερεού υπολείμματος το οποίο παραμένει μέσα στο διάλυμα. Αυτό το στερεό υπόλειμμα είναι το παραμένον πυρίτιο και μπορούμε να το πάρουμε μέσω της διήθησης.

8.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδραση τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων, που έχει σαν αποτέλεσμα την σκέδαση των ακτίνων-X. Η ικανότητα ενός ατόμου να σκεδάζει ακτίνες-X είναι, μεταξύ άλλων, ανάλογη προς τον αριθμό των ηλεκτρονίων του.

Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας 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 περιθλασίμετρου 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:

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

όπου, n: τάξη ανάκλασης

λ: μήκος κύματος φασματικής γραμμής

θ: γωνία αναλυτή κρυστάλλου σε μοίρες

2d: πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

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

9.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

9.1 Προέλευση υλικού

Το δείγμα στο οποίο αναφέρεται η παρούσα εργασία, προέρχεται από τα κοιτάσματα μαγνησίτη του νομού Χαλκιδικής και χρησιμοποιείται από την εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΙ. Το δείγμα αυτό είναι μέρος από το υλικό τροφοδοσίας του εργοστασίου και στάλθηκε από την εταιρεία με σκοπό την μελέτη διαφόρων μεθόδων εμπλουτισμού και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με αυτό. Συγκεκριμένα το δείγμα χρησιμοποιήθηκε για την διεκπεραίωση του μαγνητικού διαχωρισμού, των βαρέων υγρών, της επίπλευσης και του τριβο- ηλεκτροστατικού διαχωρισμού.

9.2 Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος από Χαλκιδική

Στόχος της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η μέτρηση της υγρασίας του δείγματος αλλά και η μελέτη απαιτήσεων του δείγματος σε νερό. Για όλες τις πειραματικές διαδικασίες χρησιμοποιήθηκε μαγνησίτης, ο οποίος είχε υποστεί κατάρτιση σε κοκκομετρικά κλάσματα 4-10mm και 0-4mm.

Από το κλάσμα 0-4mm χρησιμοποιήθηκαν 2kg δείγματος, για ανάλυση σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα, καθώς και 100 gr για τη μέτρηση της υγρασίας του υλικού. Απ' την άλλη μεριά, από το κλάσμα 4-10mm ελήφθησαν 500 gr για κοκκομετρική κατανομή και 100gr για τη μέτρηση της υγρασίας. Η κοσκίνιση στο κλάσμα 0-4mm ήταν υγρή, ενώ στο κλάσμα 4-10mm πραγματοποιήθηκε ξηρή κοσκίνιση. Η ξήρανση για την μέτρηση της υγρασίας έγινε στους 100°C για περίπου δύο ώρες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων διακρίνονται παρακάτω (πίνακες 9.1, 9.2):

Υγρή κοσκίνιση	ΚΛΑΣΜΑ 0-4mm Βάρος= 2kg							
Μέγεθος κοσκίνου	Βάρος βρεγμένο σε (gr)	Βάρος ξηρού σε (gr)	Βάρος ξηρού (%)	Υγρασία (%)	Αραίωση	Νερό/Στερεά, ανα 100gr	Αθροιστικώς διερχόμενο Βάρος(%)	Αθροιστικώς παραμένον Βάρος(%)
+10mm		0	0		0		100	0
4 - 10mm	417,5	330,8	20,8	20,8	0,26	5.45	79,2	20,8
1 - 4mm	668,3	477,1	30,0	28,6	0,40	12.02	49,2	50,8
0.105 - 1mm	565,4	351,9	22,2	37,8	0,61	13.47	27,0	73,0
0 -0.105mm	1755,0	427,4	26,9	75,6	3,11	83.56	0,0	100,0
Σύνολο:	3406,2	1587,2	100,0	53,4		114.50		
Αρχική Υγρασία	100,0	82,6		17,4				

Πίνακας 9.1: Κοσκίνιση κλάσματος 0-4mm

Ξηρή κοσκίνιση	ΚΛΑΣΜΑ 4-10mm Βάρος= 500kg			
Μέγεθος Κοσκίνου	Βάρος ξηρού σε (gr)	Βάρος ξηρού (%)	Αθροιστικώς διερχόμενο Βάρος(%)	Αθροιστικώς παραμένον Βάρος(%)
+10mm	0	0,0	100	0
10 - 4mm	130,9	31,0	69	31
4 - 1mm	179,6	42,5	26,6	73,4
1 - 0.105mm	59,3	14,0	12,5	87,5
0-0.105mm	53	12,5	0	100,0
Σύνολο:	422,8	100,0		
Αρχική Υγρασία	15,1%			

Πίνακας 9.2: Κοσκίνιση κλάσματος 4-10mm

Έπειτα, πήραμε 16,3 kg από το κλάσμα 0-4mm. Αυτό το υλικό θα χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό προκειμένου να πάρουμε το καθαρό μετάλλευμα, δηλαδή τον μαγνησίτη. Η κοσκίνιση έγινε εν υγρώ έτσι ώστε να απαλλαγεί το υλικό από την ανεπιθύμητη παιπάλη που μπορεί να έχει προσκολληθεί πάνω στους κόκκους του λευκόλιθου. Στη συνέχεια ξηράναμε το δείγμα μας και απομείνανε 13,7kg και έτσι έχουμε τη παρακάτω κοκκομετρική ανάλυση (πίνακας 9.3):

ΚΛΑΣΜΑ	Βάρος σε (gr)	Βάρος (%)	Αθροιστικώς διερχόμενο βάρος(%)	Αθροιστικώς παραμένων βάρος(%)
4-10 mm	1441	10,5	89,5	10,5
1-4 mm	4452	32,4	57,0	42,9
0,106-1 mm	3746	27,3	29,7	70,3
-0,106 mm	4081	29,7	0,0	100,0
ΣΥΝΟΛΟ:	13720	100		

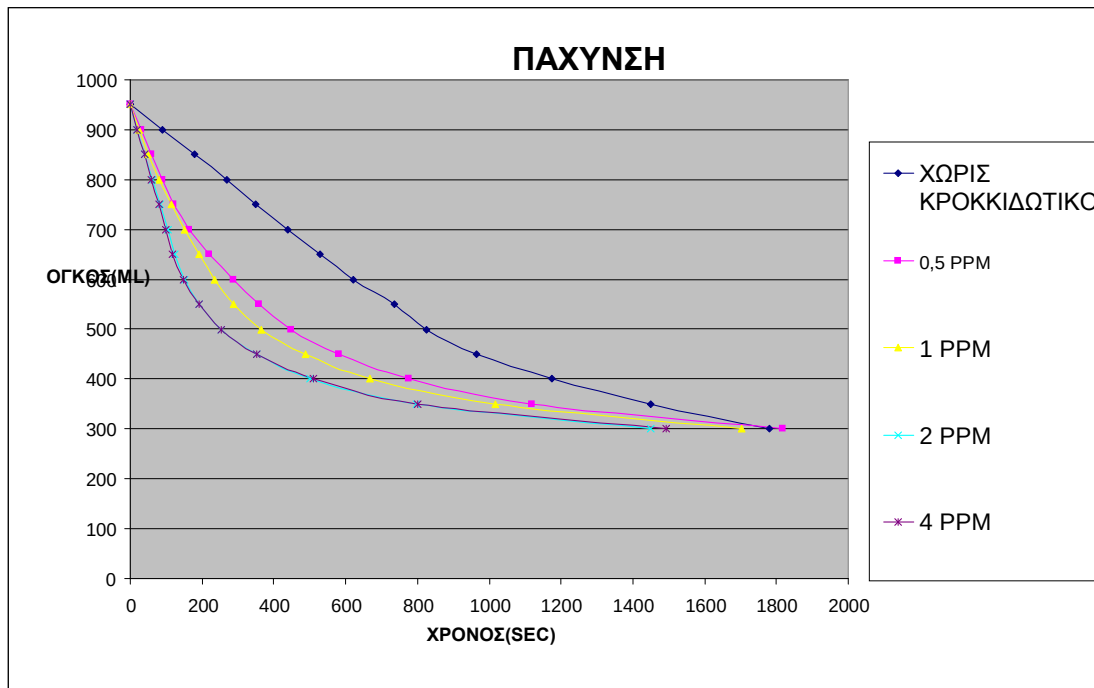
Πίνακας 9.3: Κοκκομετρική ανάλυση συνολικού δείγματος

9.3 Πάχυνση

Στη συνέχεια επεξεργαστήκαμε το κλάσμα 0-0,106mm. Τοποθετήσαμε 100gr υλικού σε ογκομετρικό κύλινδρο 1lt, αναδεύσαμε το υλικό μας και το αφήσαμε να καθιζάνει. Έπειτα με ένα χρονόμετρο μετρήσαμε την αναλογία χρόνου – όγκου. Σε κάθε ανάδευση τοποθετήσαμε συγκεκριμένες ποσότητες κροκκιδωτικού, με σκοπό να βοηθήσει περαιτέρω την καθίζηση. Ο στόχος αυτού του πειράματος ήταν η μέτρηση της ταχύτητας καθίζησης. Τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους αναφέρονται παρακάτω (πίνακας 9.4, σχήμα 9.1):

ΧΩΡΙΣ ΚΡΟΚΚΙΔΩΤΙΚΟ		0,5 ppm		1 ppm		2 ppm		4ppm	
ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ΥΨΟΣ (ml)	ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ΥΨΟΣ (ml)	ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ΥΨΟΣ (ml)	ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ΥΨΟΣ (ml)	ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ΥΨΟΣ (ml)
0	950	0	950	0	950	0	950	0	950
90	900	31	900	25	900	20	900	18	900
178	850	60	850	51	850	41	850	39	850
268	800	89	800	80	800	62	800	59	800
350	750	121	750	115	750	83	750	79	750
438	700	163	700	152	700	104	700	98	700
529	650	221	650	192	650	123	650	119	650
620	600	286	600	236	600	152	600	148	600
737	550	360	550	289	550	192	550	192	550
826	500	448	500	366	500	255	500	255	500
965	450	580	450	488	450	352	450	352	450
1175	400	776	400	668	400	502	400	510	400
1450	350	1120	350	1016	350	796	350	800	350
1779	300	1818	300	1704	300	1449	300	1494	300
Ταχύτητα καθίζησης σε (cm/s)	0,0145	Ταχύτητα καθίζησης σε (cm/s)	0,0293	Ταχύτητα καθίζησης σε (cm/s)	0,0425	Ταχύτητα καθίζησης σε (cm/s)	0,0586	Ταχύτητα καθίζησης σε (cm/s)	0,0586

Πίνακας 9.4: Πάχυνση



Σχήμα 9.1: Αναπαράσταση πάχυνσης

9.4 Ορυκτολογική ανάλυση

Από το ακτινοδιάγραμμα που ελήφθη με το περιθλασίμετρο και αντιστοιχεί στην εξέταση του μη μαγνητικού δείγματος κοκκομετρίας 1-4mm προκύπτει ότι περιέχονται τα εξής ορυκτά: i) Μαγνησίτης [$\text{Mg}(\text{CO}_3)$] ii) Χαλαζίας (SiO_2) iii) Δολομίτης [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]

Από το δείγμα μαγνητικό 1, κοκκομετρίας 1-4mm προκύπτουν τα εξής ορυκτά: i) Χαλαζίας (SiO_2) ii) Μαγνησίτης [$\text{Mg}(\text{CO}_3)$] iii) Σερπεντίνης και επί το πλείστον εμφανίζεται με τη μορφή του Λιζαρδίτη με τύπο $[1\text{T} - \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ iv) Τάλκης [$\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$] v) Ακτινόλιθος ($\text{Ca-Mg-Fe}^{+2}\text{-SiO}_2\text{-OH}$) vi) Δολομίτης [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].

Από το δείγμα μαγνητικό 2 της ίδιας κοκκομετρίας με τα προηγούμενα προκύπτουν τα εξής ορυκτά: i) Χαλαζίας (SiO_2) ii) Μαγνησίτης [$\text{Mg}(\text{CO}_3)$] iii) Σερπεντίνης και επί το πλείστον εμφανίζεται με τη μορφή του Λιζαρδίτη με τύπο $[1\text{T} - \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ iv) Τάλκης [$\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$] v) Ακτινόλιθος ($\text{Ca-Mg-Fe}^{+2}\text{-SiO}_2\text{-OH}$) vi) Δολομίτης [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].

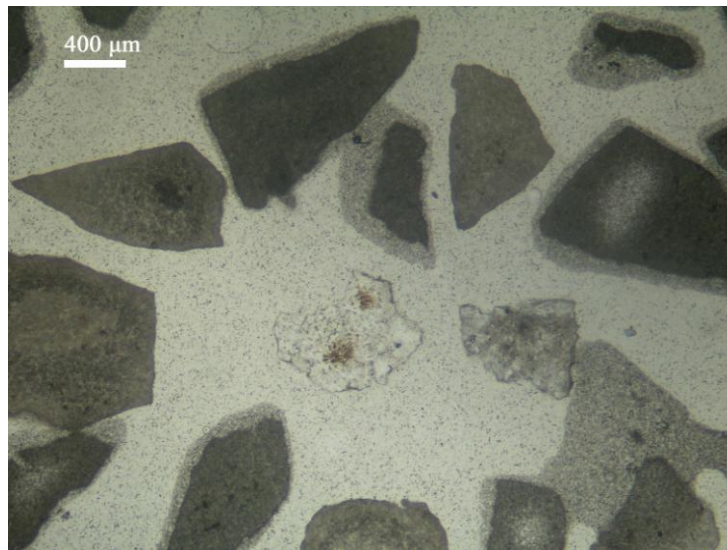
Από το δείγμα κοκκομετρίας 0-1mm, το οποίο είναι το αρχικό μας δείγμα και δεν έχει υποστεί κανέναν εμπλουτισμό υπάρχουν τα ακόλουθα ορυκτά: i) Χαλαζίας (SiO_2) ii) Μαγνησίτης [$\text{Mg}(\text{CO}_3)$] iii) Σερπεντίνης και επί το πλείστον εμφανίζεται με

τη μορφή του Λιζαρδίτη με τύπο $[1T - Mg_3Si_2O_5(OH)_4]$ iv) Τάλκης $[Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}]$ v) Ακτινόλιθος $(Ca-Mg-Fe^{+2}-SiO_2-OH)$ vi) Δολομίτης $[CaMg(CO_3)_2]$ vii) Γκαιτίτης $[FeO(OH)]$ viii) Κλινόχλωρο $[Mg_3(Mg_2Al)((Si_3Al)O_{10})(OH)_2O_3]$

9.4.1 Παρατηρήσεις στιλπνών τομών με χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου

Η ορυκτολογική ανάλυση του μεταλλεύματος της Χαλκιδικής έγινε με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Το κλάσμα που εξετάστηκε ήταν το 1-4mm από τον μαγνητικό διαχωρισμό, δηλαδή τα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού που είναι το μη μαγνητικό, το μαγνητικό 1 και το μαγνητικό 2. Ακόμη έγινε περαιτέρω εξέταση στα κλάσματα 0,5-1mm, 0,250-0,5mm του μαγνησίτη ο οποίος περιέχει κάποιες βλαπτικές προσμείξεις.

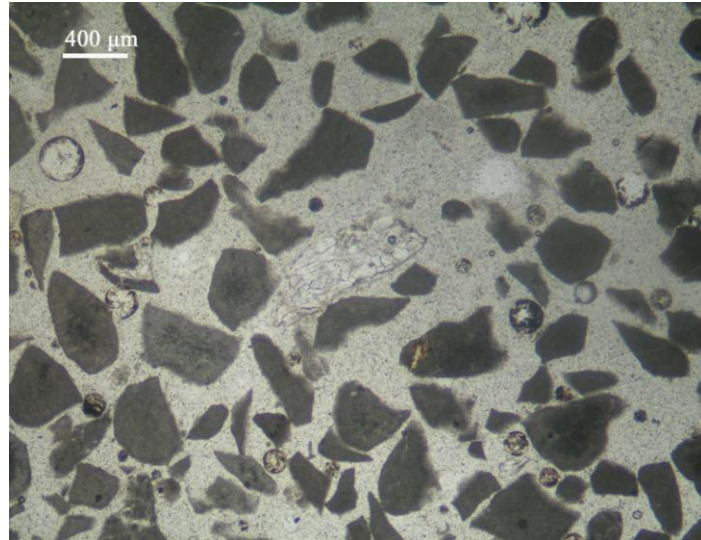
Στην εικόνα (σχήμα 9.2) παρατηρούμε πολλούς ελεύθερους κόκκους μαγνησίτη με χρώμα γκρί αλλά και σύμφυση χαλαζία με μαγνησίτη σ' έναν μεγαλύτερο κόκκο, ο οποίος δεν έχει αποδεσμευτεί καλά. Στη μέση της εικόνας υπάρχει ένας ελεύθερος κόκκος χαλαζία ο οποίος φαίνεται άσπρος φωτεινός.



Σχήμα 9.2: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,5-1mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

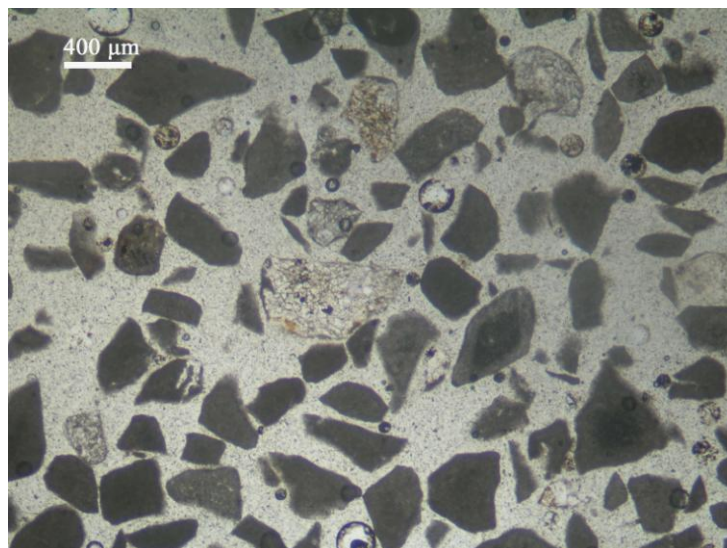
Η παρακάτω φωτογραφία (σχήμα 9.3) απεικονίζει πολλούς ελεύθερους κόκκους μαγνησίτη και μπορούμε να διακρίνουμε και ελάχιστους κόκκους χαλαζία στη μέση. Η συγκεκριμένη εικόνα απεικονίζει το ίδιο υλικό αλλά σε μικρότερη κοκκομετρία.



Σχήμα 9.3: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,25-0,5mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

Η επόμενη (σχήμα 9.4) προέρχεται από το ίδιο υλικό και κλάσμα αλλά με τη διαφορά ότι παρατηρούνται και διάφορες οξειδώσεις στον σερπεντίνη



Σχήμα 9.4: Μαγνησίτης, κλάσμα 0,25mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

9.4.2 Συμπεράσματα από την ορυκτολογική εξέταση

Από την ορυκτολογική εξέταση παρατηρούμε ότι στο μικρότερο κλάσμα δηλαδή στο 0,25-0,5mm ο μαγνησίτης έχει αποδεσμευτεί καλύτερα από ότι στο 0,5-1mm αλλά πάλι η διαφορά δεν είναι τόσο εμφανής διότι η διαφορά στη κοκκομετρία μεταξύ τους είναι πολύ μικρή.

Ακόμη οι διάφορες οξειδώσεις Fe είναι του σερπεντίνη ο οποίος θα μετατραπεί σε μαγνησίτη και χαλαζία.

10. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

10.1 Επεξεργασία του υλικού με μαγνητικούς διαχωριστές

Ο διαχωρισμός του υλικού από τη Χαλκιδική έγινε σε δύο διαφορετικούς μαγνητικούς διαχωριστές ανάλογα με τη κοκκομετρία του δείγματος. Τα δείγματα 1 – 10mm επεξεργάστηκαν στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή του εργαστηρίου εμπλουτισμού (Perm-Roll). Ενώ το δείγμα με κοκκομετρία 0,106 – 1 mm επεξεργάστηκε στον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης, ο οποίος δέχεται ψιλότερα κλάσματα κόκκων (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH (13 Carpco).

Στη συσκευή του ταινιοφόρου μαγνητικού διαχωριστή αρχικά ρυθμίσαμε το ρυθμό τροφοδοσίας και τη θέση της λεπίδας. Με βάση τον ακόλουθο τύπο βρήκαμε την κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου, όπου $R=0.035\text{m}$ και $g=9.81\text{m/s}^2$. Έτσι η κρίσιμη ταχύτητα υπολογίστηκε στα 160 rpm.

Το υλικό με κοκκομετρία 4 – 10mm και βάρους 1,44kg, τοποθετήθηκε στον ταινιοφόρο διαχωριστή, με την κατάλληλη ρύθμιση της λεπίδας. Πραγματοποιήθηκαν δύο διαδοχικά περάσματα του υλικού σε δύο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής: 160rpm και 120rpm. Στο πρώτο πέρασμα (160rpm) συλλέχθηκε το πολύ μαγνητικό κλάσμα (μαγνητικό 1), ενώ το μη μαγνητικό συλλέχθηκε για να αποτελέσει την τροφοδοσία του επόμενου. Το μαγνητικό του δεύτερου περάσματος (120rpm) αποτέλεσε το ενδιάμεσο μαγνητικό (μαγνητικό 2) και το μη μαγνητικό αποτέλεσε το τελικό μη μαγνητικό προϊόν.

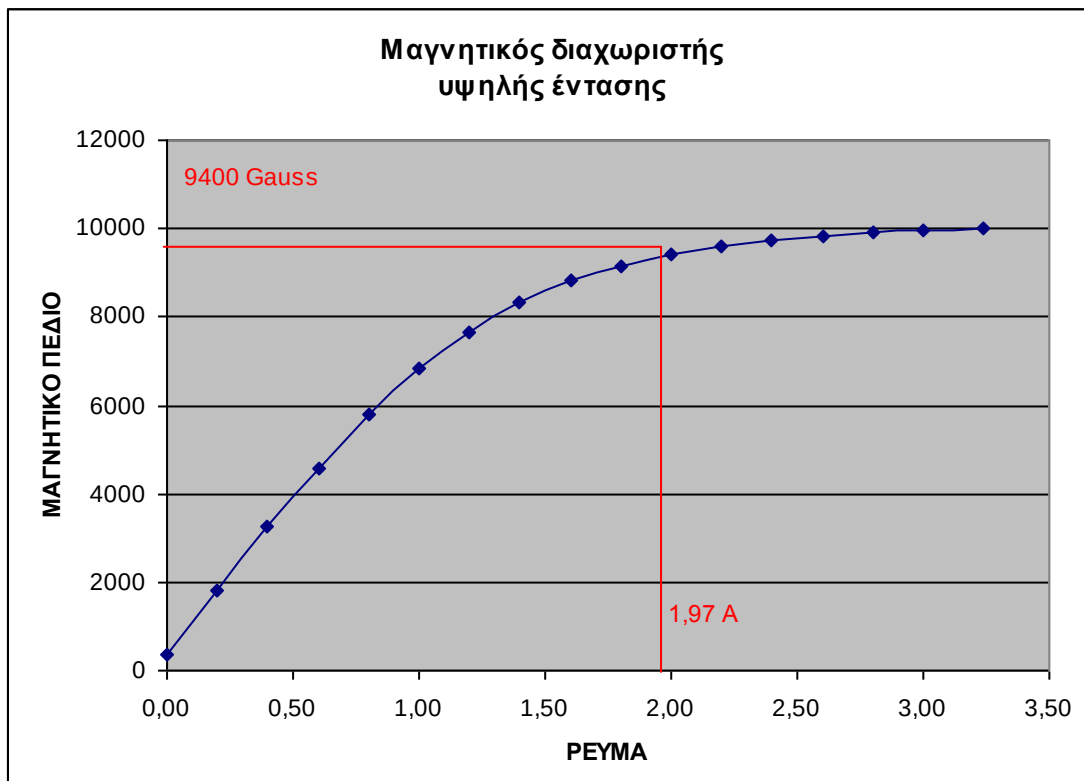
Το ίδιο ακριβώς πείραμα πραγματοποιήθηκε και για το κλάσμα 1 – 4mm, βάρους 4,45kg. Οι συνθήκες διαχωρισμού ήταν ίδιες καθώς και οι ταχύτητες περιστροφής.

Το κλάσμα με κοκκομετρία 0,106 – 1mm, βάρους 3,75kg, διαχωρίστηκε στον μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH 111-5 μας Carpco). Στο συγκεκριμένο μαγνητικό διαχωριστή μετρήσαμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μ' ένα αμπερόμετρο, σε σχέση με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Από τον παρακάτω πίνακα, καταφέραμε να βρούμε την κατάλληλη ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την οποία πρέπει να έχουμε στο πείραμα μας (πίνακας 10.1, σχήμα 10.1).

I (AMPERE)	B (GAUSS)
0,00	370
0,20	1808
0,40	3240
0,60	4594
0,80	5809
1,00	6858
1,20	7638
1,40	8318
1,60	8827
1,80	9167
2,00	9407
2,20	9598
2,40	9739
2,60	9832
2,80	9909
3,00	9965
3,24	10015

Πίνακας 10.1:

Αναλογία ηλ. ρεύματος – μαγνητικού πεδίου



Σχήμα 10.1: Αναπαράσταση ηλ. ρεύματος – μαγνητικού πεδίου

Ακολουθώντας, ρυθμίσαμε τη δόνηση στο 40% και ορίσαμε τη θέση της λεπίδας διαχωρισμού. Η κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής υπολογίστηκε από τον τύπο (9.3) για ακτίνα τυμπάνου $R=0.06\text{m}$ και επιτάχυνση της βαρύτητας $g=9.81\text{m/s}^2$.

Πραγματοποιήθηκαν δύο διαδοχικά περάσματα του υλικού σε δύο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής: 120rpm και 100rpm. Από το πρώτο πέρασμα (120rpm) συλλέχθηκε το πολύ μαγνητικό προϊόν (μαγνητικό 1), ενώ το μη μαγνητικό αποτέλεσε την τροφοδοσία του δεύτερου περάσματος (100rpm). Από το δεύτερο πέρασμα συλλέχθηκε το ενδιάμεσο μαγνητικό (μαγνητικό 2) και το τελικό μη μαγνητικό προϊόν.

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού (πίνακες 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7):

				Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες κλάσματος				Κατανομή επί κλάσματος(%)			
ΚΛΑ-ΣΜΑ	Κρίσιμη ταχύτητα σε (rpm)	Θέση λεπίδας	Περιγραφή	Κλάσμα-τος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	160	3	Μαγνητικό 1	35,4	3,7	12,87	33,62	0,98	0,33	4,56	11,91	0,35	0,12	68,55	58,70	22,02	50,47
	120	4	Μαγνητικό 2	10,8	1,1	10,29	32,46	1,88	0,27	1,11	3,50	0,20	0,03	16,65	17,23	12,88	12,66
			Μη μαγνητικό	53,8	5,6	1,83	9,08	1,90	0,16	0,98	4,88	1,02	0,09	14,80	24,08	65,10	36,88
			ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	6,65	20,29	1,57	0,23	100	100	100	100
1-4 mm	160	3	Μαγνητικό 1	62,3	20,2	12,94	31,33	1,17	0,35	8,07	19,53	0,73	0,22	94,97	80,10	59,30	80,32
	120	4	Μαγνητικό 2	6,5	2,1	3,99	30,62	1,66	0,16	0,26	1,98	0,11	0,01	3,04	8,14	8,80	3,77
			Μη μαγνητικό	31,2	10,1	0,54	9,19	1,25	0,14	0,17	2,87	0,39	0,04	1,99	11,77	31,90	15,91
			ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	8,49	24,38	1,22	0,27	100	100	100	100
0,106-1 mm	160	3	Μαγνητικό 1	63,8	17,3	15,04	27,56	1,41	0,40	9,60	17,59	0,90	0,26	90,72	70,86	37,30	82,21
	120	4	Μαγνητικό 2	5,7	1,5	7,56	28,07	3,29	0,24	0,43	1,59	0,19	0,01	4,04	6,40	7,73	4,29
			Μη μαγνητικό	30,5	8,3	1,81	18,49	4,34	0,14	0,55	5,64	1,32	0,04	5,23	22,74	54,98	13,50
			ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	10,58	24,82	2,41	0,31	100	100	100	100
0-0,106 mm			Μαγνητικό - Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	16,37	22,33	1,67	0,46	100	100	100	100
			ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0	11,22	23,46	1,72	0,34								

Πίνακας 10.2: Μαγνητικός διαχωρισμός κλάσματος

ΚΛΑ- ΣΜΑ	Κρίσιμη ταχύτητα σε (rpm)	Θέση λεπίδας	Περιγραφή	Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες αρχικού				Κατανομή επί αρχικού (%)			
				Κλάσμα- τος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	160	3	Μαγνητικό 1	35,4	3,7	12,87	33,62	0,98	0,33	0,48	1,24	0,04	0,01	4,24	5,30	2,10	3,65
	120	4	Μαγνητικό 2	10,8	1,1	10,29	32,46	1,88	0,27	0,12	0,37	0,02	0,00	1,03	1,56	1,23	0,92
			Μη μαγνητικό	53,8	5,6	1,83	9,08	1,90	0,16	0,10	0,51	0,11	0,01	0,92	2,18	6,22	2,67
			ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	0,69	2,12	0,16	0,02	6,19	9,04	9,55	7,24
1-4 mm	160	3	Μαγνητικό 1	62,3	20,2	12,94	31,33	1,17	0,35	2,62	6,34	0,24	0,07	23,33	27,02	13,75	21,27
	120	4	Μαγνητικό 2	6,5	2,1	3,99	30,62	1,66	0,16	0,08	0,64	0,03	0,00	0,75	2,75	2,04	1,00
			Μη μαγνητικό	31,2	10,1	0,54	9,19	1,25	0,14	0,05	0,93	0,13	0,01	0,49	3,97	7,40	4,21
			ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	2,76	7,91	0,40	0,09	24,57	33,74	23,18	26,48
0,106 -1 mm	160	3	Μαγνητικό 1	63,8	17,3	15,04	27,56	1,41	0,40	2,61	4,78	0,24	0,07	23,25	20,38	14,23	20,83
	120	4	Μαγνητικό 2	5,7	1,5	7,56	28,07	3,29	0,24	0,12	0,43	0,05	0,00	1,04	1,84	2,95	1,09
			Μη μαγνητικό	30,5	8,3	1,81	18,49	4,34	0,14	0,15	1,53	0,36	0,01	1,34	6,54	20,97	3,42
			ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	2,88	6,75	0,65	0,09	25,62	28,76	38,15	25,33
0- 0,106 mm			Μαγνητικό – Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	4,90	6,68	0,50	0,14	43,62	28,47	29,12	40,95
			ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0	11,22	23,46	1,72	0,34	11,22	23,46	1,72	0,34	100	100	100	100

Πίνακας 10.3: Μαγνητικός διαχωρισμός επί αρχικού

ΚΛΑΣΜΑ	Περιγραφή	Αθροιστικώς μαγνητικά													
		Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες κλάσματος				Κατανομή επί κλάσματος (%)			
		Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	46,2	4,8	12,27	33,35	1,19	0,32	5,67	15,40	0,55	0,15	85,20	75,92	34,90	63,12
	Μη μαγνητικό	53,8	5,6	1,83	9,08	1,90	0,16	0,98	4,88	1,02	0,09	14,80	24,08	65,10	36,88
	ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	6,65	20,29	1,57	0,23	100,00	100,00	100,00	100,00
1-4 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	68,8	22,3	12,10	31,26	1,21	0,33	8,32	21,51	0,83	0,23	98,01	88,23	68,10	84,09
	Μη μαγνητικό	31,2	10,1	0,54	9,19	1,25	0,14	0,17	2,87	0,39	0,04	1,99	11,77	31,90	15,91
	ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	8,49	24,38	1,22	0,27	100,00	100,00	100,00	100,00
0,106-1 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	69,5	18,9	14,43	27,60	1,56	0,39	10,03	19,18	1,08	0,27	94,77	77,26	45,02	86,50
	Μη μαγνητικό	30,5	8,3	1,81	18,49	4,34	0,14	0,55	5,64	1,32	0,04	5,23	22,74	54,98	13,50
	ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	10,58	24,82	2,41	0,31	100,00	100,00	100,00	100,00
0-0,106 mm	Μαγνητικό – Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	16,37	22,33	1,67	0,46	100,00	100,00	100,00	100,00
	ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0												

Πίνακας 10.4: Αθροιστικώς μαγνητικά κλάσματα

ΚΛΑΣΜΑ	Περιγραφή	Αθροιστικώς μαγνητικά													
		Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες επί αρχικού				Κατανομή επί αρχικού (%)			
		Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	46,2	4,8	12,27	33,35	1,19	0,32	0,59	1,61	0,06	0,02	5,27	6,86	3,33	4,57
	Μη μαγνητικό 2	53,8	5,6	1,83	9,08	1,90	0,16	0,10	0,51	0,11	0,01	0,92	2,18	6,22	2,67
	ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	0,69	2,12	0,16	0,02	6,19	9,04	9,55	7,24
1-4 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	68,8	22,3	12,10	31,26	1,21	0,33	2,70	6,98	0,27	0,07	24,08	29,77	15,79	22,27
	Μη μαγνητικό 2	31,2	10,1	0,54	9,19	1,25	0,14	0,05	0,93	0,13	0,01	0,49	3,97	7,40	4,21
	ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	2,76	7,91	0,40	0,09	24,57	33,74	23,18	26,48
0,106-1 mm	Αθροιστικώς μαγνητικά	69,5	18,9	14,43	27,60	1,56	0,39	2,73	5,21	0,29	0,07	24,28	22,22	17,17	21,91
	Μη μαγνητικό 2	30,5	8,3	1,81	18,49	4,34	0,14	0,15	1,53	0,36	0,01	1,34	6,54	20,97	3,42
	ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	2,88	6,75	0,65	0,09	25,62	28,76	38,15	25,33
0-0,106 mm	Μαγνητικό – Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	4,90	6,68	0,50	0,14	43,62	28,47	29,12	40,95
	ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0	11,22	23,46	1,72	0,34	11,22	23,46	1,72	0,34	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 10.5: Αθροιστικώς μαγνητικά επί αρχικού

		Αθροιστικώς μη μαγνητικά													
		Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες κλάσματος				Κατανομή επί κλάσματος (%)			
ΚΛΑΣΜΑ	Περιγραφή	Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	Μαγνητικό 1	35,4	3,7	12,87	33,62	0,98	0,33	4,56	11,91	0,35	0,12	68,55	58,70	22,02	50,47
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	64,6	6,7	3,24	12,98	1,89	0,18	2,09	8,38	1,22	0,12	31,45	41,30	77,98	49,53
	ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	6,65	20,29	1,57	0,23	100,00	100,00	100,00	100,00
1-4 mm	Μαγνητικό 1	62,3	20,2	12,94	31,33	1,17	0,35	8,07	19,53	0,73	0,22	94,97	80,10	59,30	80,32
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	37,7	12,2	1,13	12,88	1,32	0,14	0,43	4,85	0,50	0,05	5,03	19,90	40,70	19,68
	ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	8,49	24,38	1,22	0,27	100,00	100,00	100,00	100,00
0,106-1 mm	Μαγνητικό 1	63,8	17,3	15,04	27,56	1,41	0,40	9,60	17,59	0,90	0,26	90,72	70,86	37,30	82,21
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	36,2	9,8	2,71	19,99	4,17	0,15	0,98	7,23	1,51	0,06	9,28	29,14	62,70	17,79
	ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	10,58	24,82	2,41	0,31	100,00	100,00	100,00	100,00
0-0,106 mm	Μαγνητικό - Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	16,37	22,33	1,67	0,46	100,00	100,00	100,00	100,00
	ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0												

Πίνακας 10.6: Αθροιστικώς μη μαγνητικά επί του κλάσματος

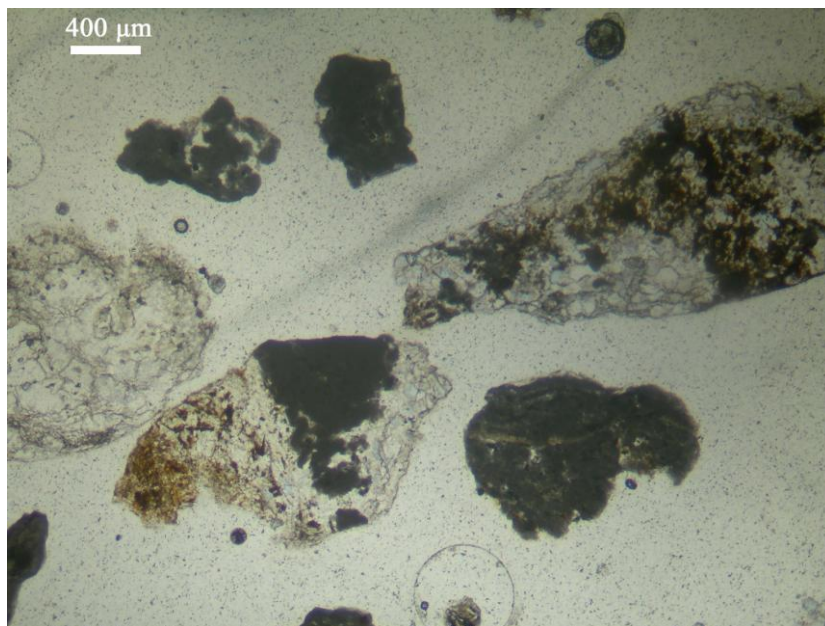
ΚΛΑΣΜΑ	Περιγραφή	Αθροιστικώς μη μαγνητικά													
		Βάρος (%)		Χημικές αναλύσεις wt(%)				Μεταλλομονάδες επί αρχικού				Κατανομή επί αρχικού (%)			
		Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Ni
4-10 mm	Μαγνητικό 1	35,4	3,7	12,87	33,62	0,98	0,33	0,48	1,24	0,04	0,01	68,55	58,70	22,02	50,47
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	64,6	6,7	3,24	12,98	1,89	0,18	0,22	0,88	0,13	0,01	31,45	41,30	77,98	49,53
	ΣΥΝΟΛΟ	100	10,4	6,65	20,29	1,57	0,23	0,69	2,12	0,16	0,02	100,00	100,00	100,00	100,00
1-4 mm	Μαγνητικό 1	62,3	20,2	12,94	31,33	1,17	0,35	2,62	6,34	0,24	0,07	94,97	80,10	59,30	80,32
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	37,7	12,2	1,13	12,88	1,32	0,14	0,14	1,58	0,16	0,02	5,03	19,90	40,70	19,68
	ΣΥΝΟΛΟ	100	32,5	8,49	24,38	1,22	0,27	2,76	7,91	0,40	0,09	100,00	100,00	100,00	100,00
0,106-1 mm	Μαγνητικό 1	63,8	17,3	15,04	27,56	1,41	0,40	2,61	4,78	0,24	0,07	90,72	70,86	37,30	82,21
	Αθροιστικώς μη μαγνητικά	36,2	9,8	2,71	19,99	4,17	0,15	0,27	1,97	0,41	0,02	9,28	29,14	62,70	17,79
	ΣΥΝΟΛΟ	100	27,2	10,58	24,82	2,41	0,31	2,88	6,75	0,65	0,09	100,00	100,00	100,00	100,00
0-0,106 mm	Μαγνητικό - Μη μαγνητικό	100,0	29,9	16,37	22,33	1,67	0,46	16,37	22,33	1,67	0,46	100,00	100,00	100,00	100,00
	ΣΥΝΟΛΟ:	100	100,0												

Πίνακας 10.7: Αθροιστικώς μη μαγνητικά επί του αρχικού

10.1.1 Ορυκτολογικές αναλύσεις μαγνητικού διαχωρισμού

Από το μαγνητικό διαχωρισμό του κλάσματος 1 - 4mm ελήφθησαν οι ακόλουθες φωτογραφίες:

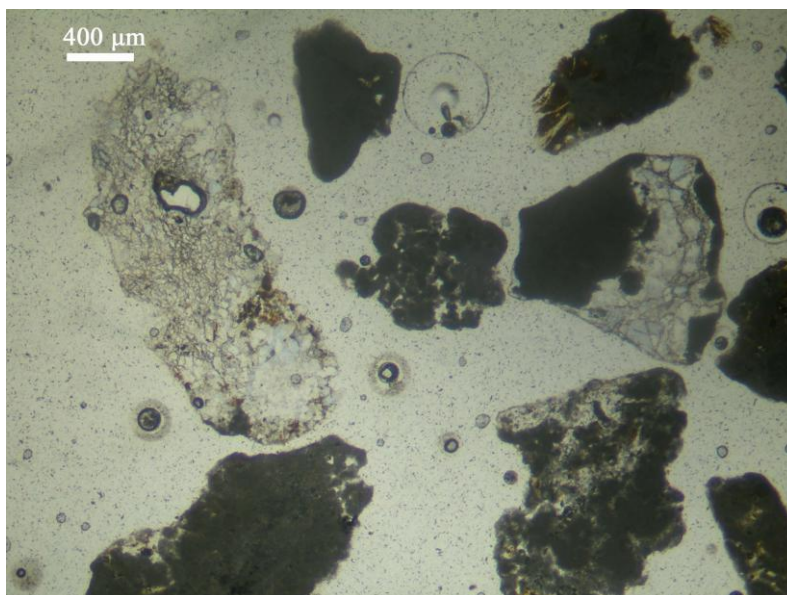
Στην παρακάτω φωτογραφία σχήμα (10.2) διακρίνονται σύμμεικτοι κόκκοι χαλαζία – σερπεντίνη. Επίσης αξίζει να σημειώσουμε ότι παρατηρούνται και οξειδώσεις Fe πάνω στον χαλαζία.



Σχήμα 10.2: Μαγνητικό 1, κλάσμα 1-4mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

Σ' αυτή τη φωτογραφία (σχήμα 10.3) παρατηρούμε και σύμμεικτους κόκκους χαλαζία- σερπεντίνη, που δεν έχουν αποδεσμευτεί ακόμα, αλλά και μεμονωμένους κόκκους σερπεντίνη, ο οποίος διακρίνεται με το μαύρο χρώμα..



Σχήμα 10.3: Μαγνητικό 1, κλάσμα 1-4mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

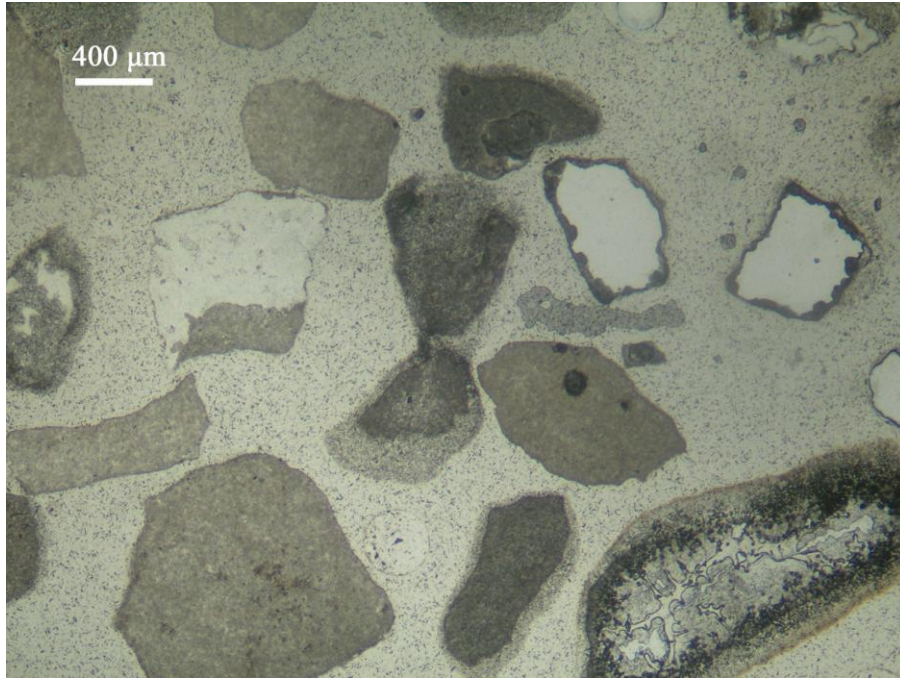
Στο σχήμα 10.4 μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά τις οξειδώσεις Fe που υπάρχουν με το καφέ χρώμα, καθώς και σύμμεικτους κόκκους χαλαζία-σερπεντίνη που δεν έχουν αποδεσμευτεί ακόμα..



Σχήμα 10.4: Μαγνητικό προϊόν 2, κλάσμα 1-4mm.

Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

Στην εικόνα (σχήμα 10.5) έχουμε το μη μαγνητικό υλικό το οποίο είναι ο μαγνησίτης και διακρίνεται με το γκρι χρώμα, ενώ παρατηρούμε και σύμμεικτους κόκκους μαγνησίτη-χαλαζία. Ο χαλαζίας έχει λευκό χρώμα.



Σχήμα 10.5: Μη μαγνητικό προϊόν, κλάσμα 1-4mm
Ανακλώμενο φως, παράλληλα Nickols

10.1.2 Συμπεράσματα μαγνητικού διαχωρισμού

Μέσω του μαγνητικού διαχωρισμού μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα περισσότερα ορυκτά του αρχικού υλικού μας (σερπεντίνης, δολομίτης και χαλαζίας), καθώς και οι προσμίξεις τους μειώνονται δραστικά. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι στα κλάσματα 1-10mm ο μαγνητικός διαχωρισμός έχει εμφανή αποτελέσματα λόγω της μείωσης του SiO_2 αλλά και του Fe_2O_3 .

Μέσα από τις φωτογραφίες των ορυκτολογικών αναλύσεων (σχήμα 10.2, 10.3, 10.4), διακρίνεται ξεκάθαρα πως ο σερπεντίνης είναι μαγνητικός και παρέσυρε μαζί του και το χαλαζία. Όμως ο χαλαζίας δεν είναι μαγνητικό ορυκτό. Επίσης ο δολομίτης ο οποίος εκφράζεται από την ανάλυση του CaO εμπλουτίζει το μη μαγνητικό υλικό αντί να πηγαίνει στο μαγνητικό υλικό.

Ακόμη συμπεραίνουμε ότι είναι απαραίτητο το υλικό μας να περάσει δύο φορές από το μαγνητικό διαχωριστή και σε μικρότερη ταχύτητα. Αυτό γίνεται διότι παίρνουμε πολύ καθαρότερο υλικό, απαλλαγμένο από ξένες προσμίξεις.

Παρόλα αυτά, πιστεύω ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός είναι ένας πολύ καλός προεμπλουτισμός, όμως είναι σημαντικό το δείγμα μας να εμπλουτιστεί περαιτέρω διότι δεν είναι πλήρως καθαρό και γι αυτό το λόγο δεν είναι έτοιμο για χρήση.

10.2 Εμπλουτισμός με βαρέα υγρά

Η τροφοδοσία του πειράματος είναι το μη μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά εκτελέστηκε σε τρία διαφορετικά κλάσματα: 4-10mm, 1-4mm, 0.106-1mm.

Για το κλάσμα 4-10mm χρησιμοποιήθηκαν βαρέα υγρά με πυκνότητα 2,4, 2,5, 2,65 gr/cm³ ενώ για το κλάσμα 1-4mm βαρέα των 2,4, 2,5 gr/cm³ και τέλος για το μέγεθος 0,106-1mm υγρά με πυκνότητα 2,5, 2,65, 2,75 gr/cm³.

Στους πίνακες (10.8, 10.9, 10.10) και στα σχήματα (10.6, 10.7, 10.8, 10.9, 10.10, 10.11) φαίνονται οι χημικές αναλύσεις των οξειδίων Fe₂O₃, SiO₂, CaO:

Μέγεθος κόκκων	Βαρυτομετρικά κλάσματα	Βάρος(%)		Χημικές αναλύσεις(%)			Μονάδες κλάσματος			Κατανομή κλάσματος (%)		
		Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
4 - 10 mm	Καταβυθισθέν 2,65	17,07	4,51	0,21	4,69	0,51	0,035	0,801	0,087	3,5	7,1	11,6
	Καταβυθισθέν 2,5	30,41	8,03	0,10	4,40	0,44	0,030	1,338	0,134	3,0	11,8	17,8
	Καταβυθισθέν 2,4	45,92	12,13	0,80	14,76	1,09	0,369	6,778	0,499	36,7	59,9	66,3
	Επιπλευσάν 2,4	6,60	1,74	8,66	36,44	0,48	0,571	2,404	0,032	56,8	21,2	4,2
	Σύνολο:	100,00	26,41	1,01	11,32	0,75	1,005	11,320	0,752	100,0	100,0	100,0
1 - 4mm	Καταβυθισθέν 2,5	14,85	6,56	0,05	6,42	0,461	0,008	0,953	0,068	4,9	8,9	14,5
	Καταβυθισθέν 2,4	81,22	35,91	0,15	11,06	0,478	0,124	8,983	0,388	79,1	84,3	82,6
	Επιπλεύσαν 2,4	3,93	1,74	0,64	18,16	0,345	0,025	0,714	0,014	16,0	6,7	2,9
	Σύνολο:	100,00	44,21	0,16	10,65	0,47	0,156	10,650	0,470	100,0	100,0	100,0
0,1 - 1mm	Καταβυθισθέν 2,75	81,14	23,84	0,14	4,31	0,528	0,112	3,497	0,428	45,1	26,9	75,4
	Καταβυθισθέν 2,65	10,72	3,15	0,70	56,20	1,136	0,075	6,027	0,122	30,3	46,3	21,5
	Καταβυθισθέν 2,5	6,65	1,95	0,59	42,30	0,212	0,039	2,815	0,014	15,8	21,6	2,5
	Επιπλεύσαν 2,5	1,49	0,44	1,47	44,84	0,229	0,022	0,666	0,003	8,8	5,1	0,6
	Σύνολο:	100,00	29,38	0,25	13,00	0,57	0,248	13,004	0,567	100,0	100,0	100,0
	Σύνολο:		100,00	0,41	11,52	0,57	1,41	34,98	1,79			

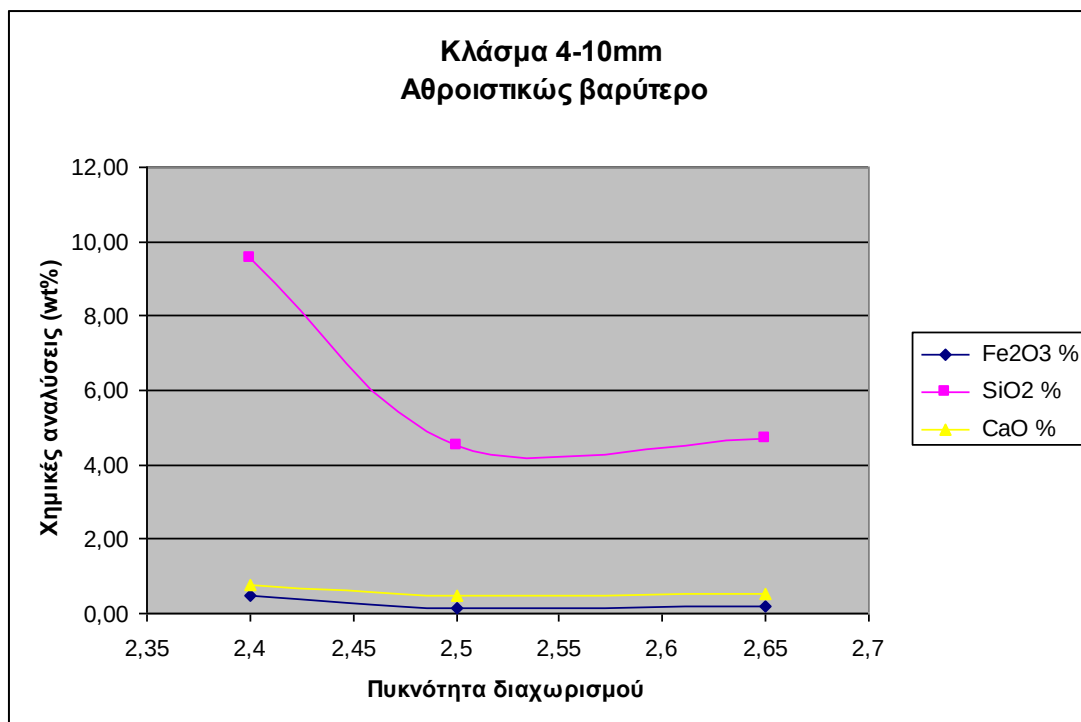
Πίνακας 10.8: Χημικές αναλύσεις βαρυτομετρικών κλασμάτων

Μέγεθος κόκκων	Βαρυτομετρικά κλάσματα	Αθροιστικώς βαρύτερο										
		Βάρος(%)		Χημικές αναλύσεις(%)			Μονάδες κλάσματος			Κατανομή κλάσματος (%)		
		Κλάσματος	Αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
4 – 10 mm	Καταβυθισθέν 2,65	17,07	4,51	0,21	4,69	0,51	0,035	0,801	0,087	3,5	7,1	11,6
	Καταβυθισθέν 2,5	47,48	12,54	0,14	4,50	0,47	0,065	2,139	0,222	6,5	18,9	29,5
	Καταβυθισθέν 2,4	93,40	24,67	0,46	9,55	0,77	0,434	8,916	0,720	43,2	78,8	95,8
	Σύνολο:	100	26,41	1,01	11,32	0,75	1,005	11,320	0,752	100,0	100,0	100,0
1 – 4mm	Καταβυθισθέν 2,5	14,85	6,56	0,05	6,42	0,461	0,008	0,953	0,068	4,9	8,9	14,5
	Καταβυθισθέν 2,4	96,07	42,47	0,14	10,34	0,48	0,131	9,936	0,457	84,0	93,3	97,1
	Σύνολο:	100,00	44,21	0,16	10,65	0,47	0,156	10,650	0,470	100,0	100,0	100,0
0,1 – 1mm	Καταβυθισθέν 2,75	81,14	23,84	0,14	4,31	0,528	0,112	3,497	0,428	45,1	26,9	75,4
	Καταβυθισθέν 2,65	91,86	26,99	0,20	10,37	0,60	0,187	9,524	0,550	75,4	73,2	96,9
	Καταβυθισθέν 2,5	98,51	28,94	0,23	12,52	0,57	0,226	12,338	0,564	91,2	94,9	99,4
	Σύνολο:	100,00	29,38	0,25	13,00	0,57	0,248	13,004	0,567	100,0	100,0	100,0
	Σύνολο:		100,00	0,41	11,52	0,57	1,41	34,98	1,79			

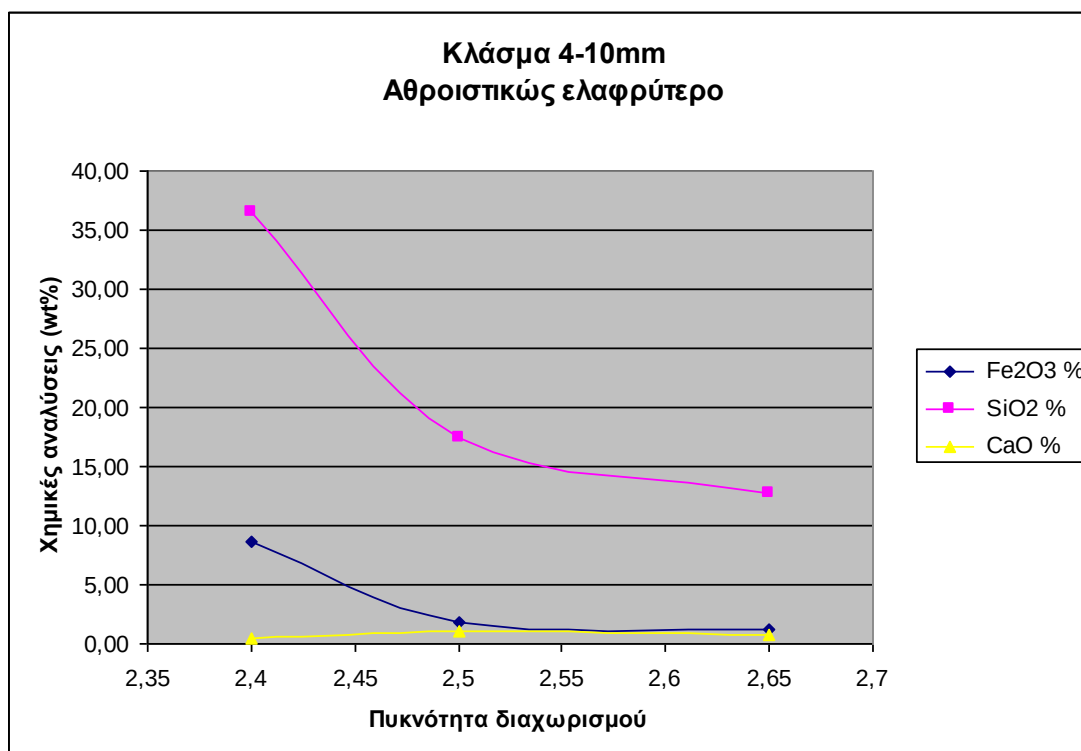
Πίνακας 10.9: Αθροιστικώς βαρύτερα βαρυτομετρικά κλάσματα

		Αθροιστικώς Ελαφρύτερο										
		Βάρος(%)		Χημικές αναλύσεις(%)			Μονάδες κλάσματος			Κατανομή κλάσματος (%)		
Μέγεθος κόκκων	Βαρυτομετρικά κλάσματα	Βάρος κλάσματος	Βάρος επί αρχικού	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
4 - 10 mm	Σύνολο:	100,00	26,41	1,01	11,32	0,75	1,005	11,320	0,752	100,0	100,0	100,0
	Επιπλεύσαν 2,65	82,93	21,90	1,17	12,69	0,80	0,970	10,519	0,664	96,5	92,9	88,4
	Επιπλεύσαν 2,5	52,52	13,87	1,79	17,48	1,01	0,940	9,181	0,530	93,5	81,1	70,5
	Επιπλεύσαν 2,4	6,60	1,74	8,66	36,44	0,48	0,571	2,404	0,032	56,8	21,2	4,2
1 - 4mm	Σύνολο:	100,00	44,21	0,16	10,65	0,47	0,156	10,650	0,470	100,0	100,0	100,0
	Επιπλεύσαν 2,5	85,15	37,65	0,36	11,39	0,47	0,305	9,697	0,402	195,1	91,1	85,5
	Επιπλεύσαν 2,4	3,93	1,74	0,64	18,16	0,345	0,025	0,714	0,014	16,0	6,7	2,9
0,1 - 1mm	Σύνολο:	100,00	29,38	0,25	13,00	0,57	0,248	13,004	0,567	100,0	100,0	100,0
	Επιπλεύσαν 2,75	18,86	5,54	0,72	50,40	0,74	0,136	9,507	0,139	54,9	73,1	24,6
	Επιπλεύσαν 2,65	8,14	2,39	0,75	42,76	0,22	0,061	3,481	0,018	24,6	26,8	3,1
	Επιπλεύσαν 2,5	1,49	0,44	1,47	44,84	0,229	0,022	0,666	0,003	8,8	5,1	0,6
	Σύνολο:		100,00	0,41	11,52	0,57	1,41	34,98	1,79			

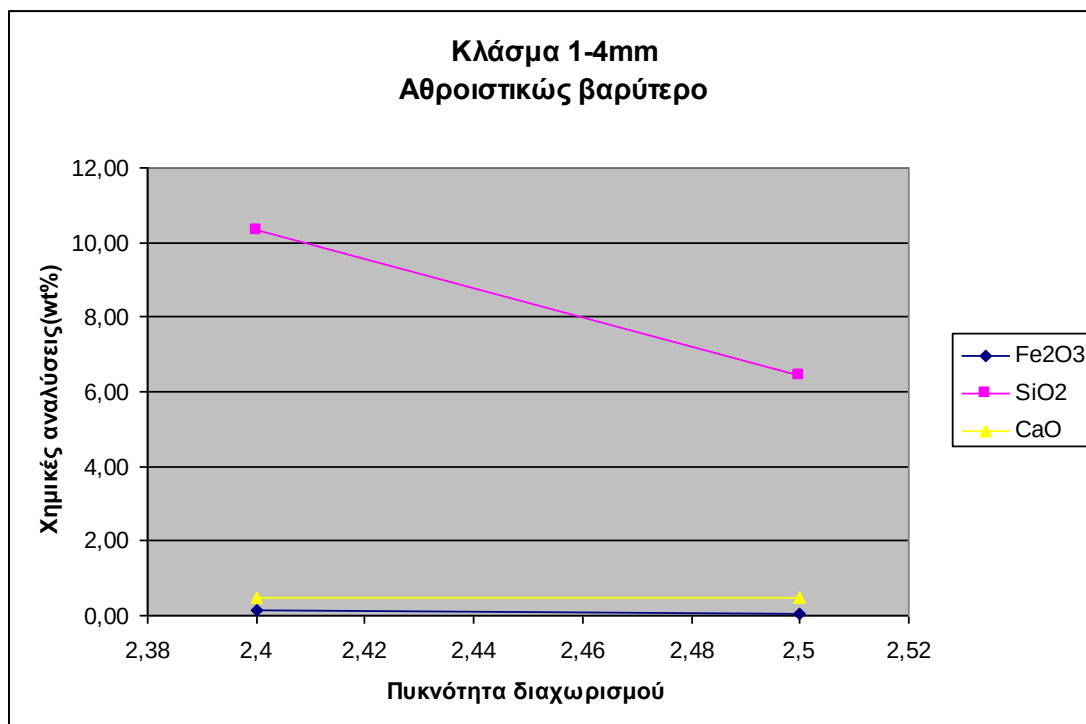
Πίνακας 10.10: Αθροιστικώς ελαφρύτερα Βαρυτομετρικά κλάσματα



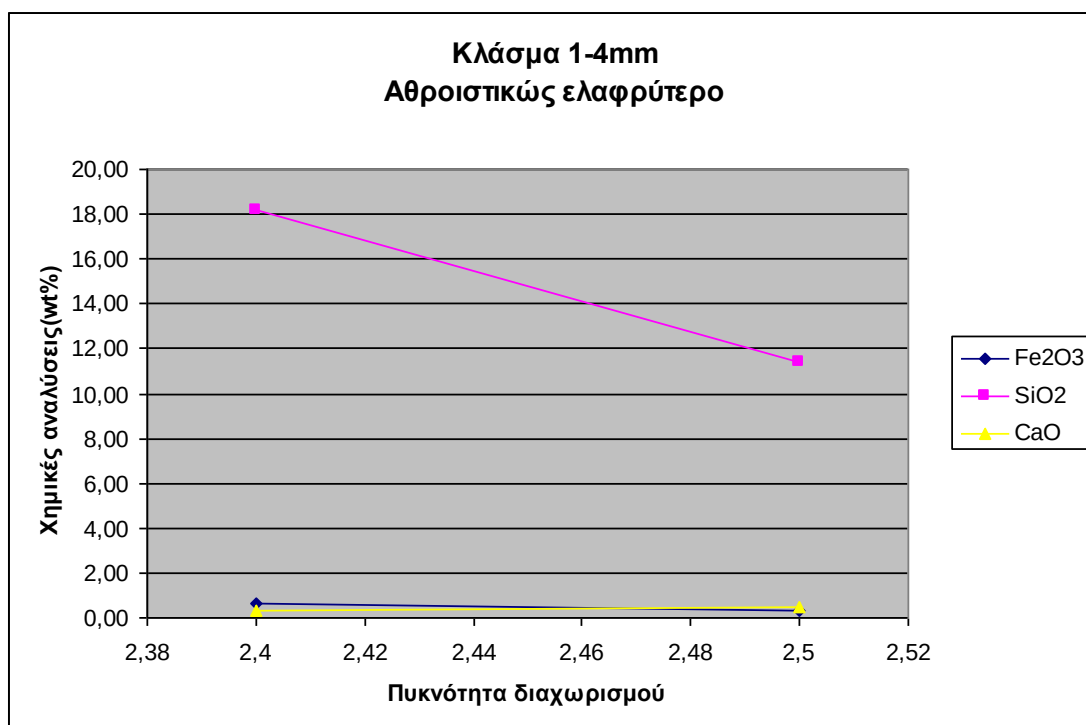
Σχήμα 10.6: Κλάσμα 4-10mm. Αθροιστικώς βαρύτερο



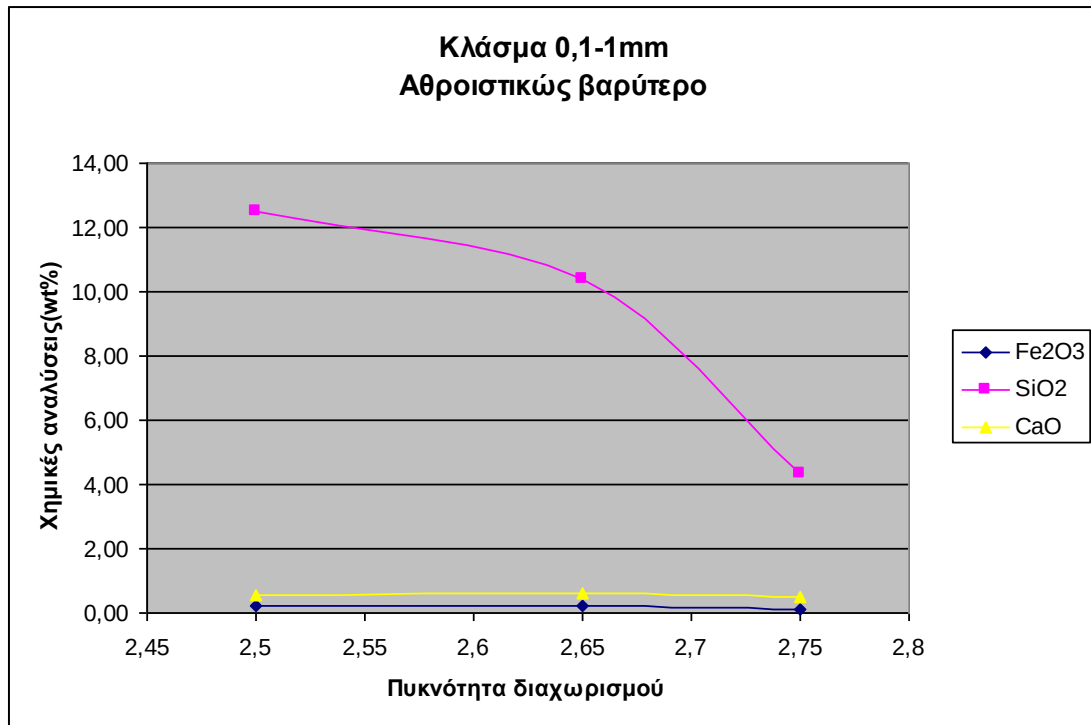
Σχήμα 10.7: Κλάσμα 4-10mm. Αθροιστικώς ελαφρύτερο



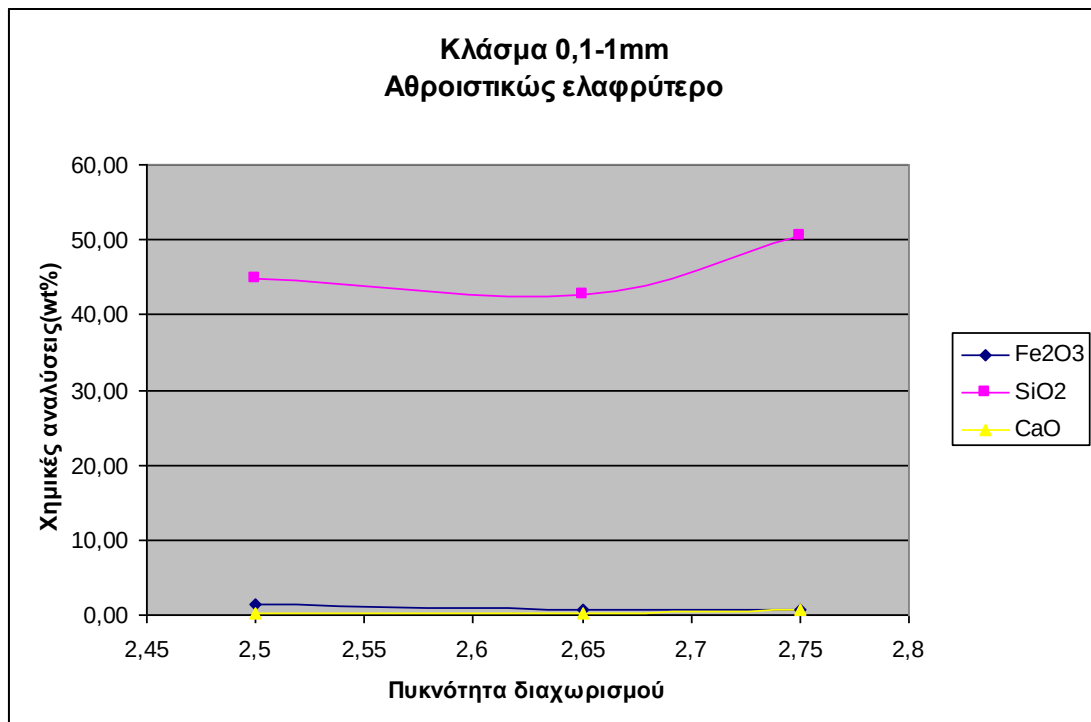
Σχήμα 10.8: Κλάσμα 1-4mm. Αθροιστικώς βαρύτερο



Σχήμα 10.9: Κλάσμα 1-4mm. Αθροιστικώς ελαφρύτερο



Σχήμα 10.10: Κλάσμα 0,1-1mm. Αθροιστικώς βαρύτερο



Σχήμα 10.11 : Κλάσμα 0,1-1mm. Αθροιστικώς ελαφρύτερο

Βαθμός διαχωρισμού n				
Μέγεθος κόκκων	Βαρυτομετρικά κλάσματα	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
4 – 10mm	Καταβυθισθέν 2,65	13,7	11,3	5,5
	Καταβυθισθέν 2,5	41,4	32,2	18,2
	Καταβυθισθέν 2,4	50,7	16,5	-2,4
1 – 4mm	Καταβυθισθέν 2,5	44,2	6,6	0,3
	Καταβυθισθέν 2,4	12,1	3,1	-1,1
0,1 – 1mm	Καταβυθισθέν 2,75	36,1	62,4	5,7
	Καταβυθισθέν 2,65	16,5	21,4	-5,1
	Καταβυθισθέν 2,5	7,4	4,2	-0,9

Πίνακας 10.11: Βαθμός διαχωρισμού αθροιστικώς ελαφρύτερων σε σχέση με τα αθροιστικώς βαρύτερα

10.2.1 Συμπεράσματα βαρέων υγρών

Από τη δοκιμή των βαρέων υγρών μπορούμε να συμπεράνουμε ότι επιτυγχάνεται ένας καλός διαχωρισμός αλλά περισσότερο στα κλάσματα 1-10mm, ενώ στο κλάσμα 0,1-1mm δεν έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Επίσης, πρέπει να σημειώσουμε ότι το καλύτερο διαχωρισμό επιτυγχάνει το κλάσμα 4-10mm από ότι το 1-4mm και έτσι έχουμε καθαρότερο μαγνησίτη.

Τα τελευταία ίχνη του Fe₂O₃ έχουν πλέον απομακρυνθεί όμως το SiO₂ εξακολουθεί να παραμένει. Επίσης συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη πυκνότητα των βαρέων υγρών είναι η 2,50 gr/cm³.

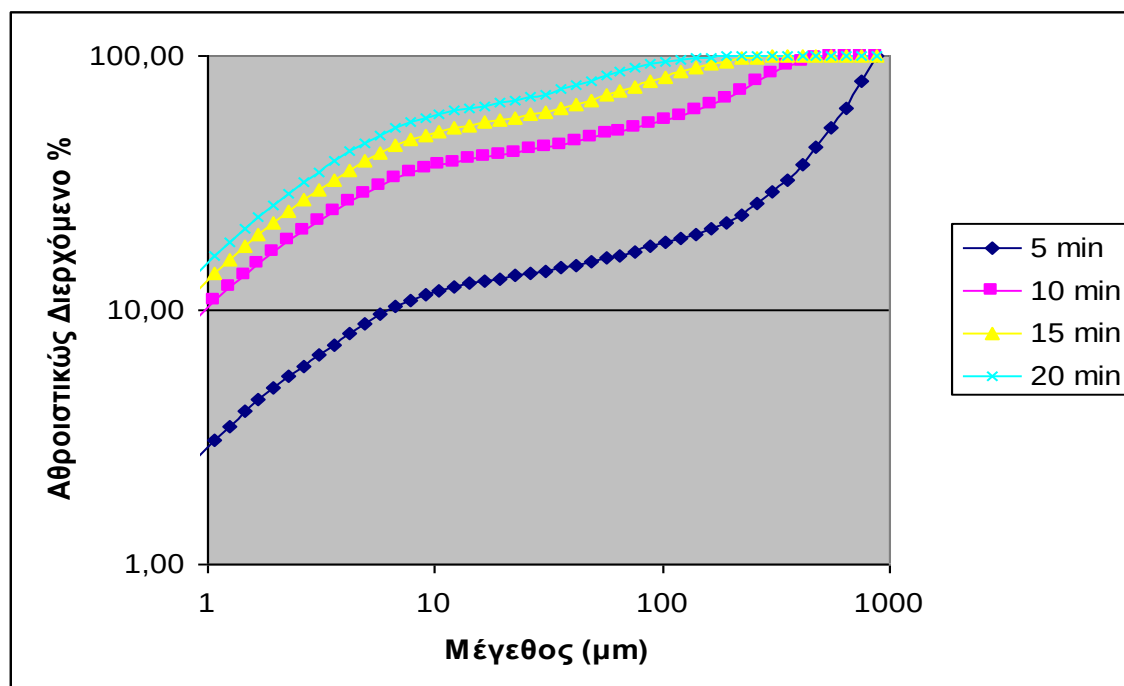
Ακόμη μία άλλη παρατήρηση είναι ότι το απόρριμμα έχει πολύ μικρότερο βάρος από ότι το καταβυθισθέν κλάσμα.

10.3 Εμπλουτισμός με λειοτρίβηση δείγματος και επίπλευση

Η τροφοδοσία του εμπλουτισμού αυτού είναι το μη μαγνητικό προϊόν από το κλάσμα 1-4mm και πήραμε 1kg. Όπως είναι γνωστό, στην επίπλευση το μέγεθος των κόκκων πρέπει να είναι κάτω από 300μm. Γι αυτό το λόγο μεταφέραμε 1kg υλικού για υγρή λειοτρίβηση στον ραβδόμυλο και εξετάσαμε το μέγεθος των κόκκων για κάθε 5, 10, 15 και 20 λεπτά. Δηλαδή κάθε 5 λεπτά παίρναμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από το ραβδόμυλο.

Οι μύλοι περιστρέφονται με ταχύτητα 60%-80% της κρίσιμης. Η ταχύτητα του ραβδόμυλου ήταν 70rpm, ενώ η κρίσιμη στην οποία δεν γίνεται λειοτρίβηση λόγω του γεγονότος ότι οι ράβδοι δεν πέφτουν, αλλά παραμένουν κολλημένοι στο κέλυφος, ήταν 90rpm..

Ο προσδιορισμός του μεγέθους των τεμαχίων έγινε με τη βοήθεια του κοκκομετρικού αναλυτή Laser (Mastersizer S της Malvern). Τα αποτελέσματα του αναλυτή παρατίθενται στο παρακάτω σχήμα 10.12:



Σχήμα 10.12: Μέγεθος κόκκων αναλυτή laser

Μέσω των αποτελεσμάτων του αναλυτή laser συμπεραίνουμε ότι ο καλύτερος χρόνος για τη λειοτρίβηση του δείγματος είναι τα 15 λεπτά διότι όλο το υλικό μας είναι κάτω από 300μm.

Έτσι μεταφέραμε ξανά 1 kg δείγματος για υγρή λειοτρίβηση στον ραβδόμυλο. Το αντιδραστήριο που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 10gr αμίνης, 70ml Diesel και 3ml πευκέλαιου. Σε κάθε επίπλευση τοποθετήσαμε μία δόση αντιδραστηρίου 7,3ml, εκτός από τη πρώτη στην οποία παρείχαμε διπλή δόση.

Μεταφέραμε το δείγμα μας στο κελί επίπλευσης το οποίο γεμίσαμε με νερό. Ο πολφός με τα κατάλληλα αντιδραστήρια εισήρθε στη κυψέλη της επίπλευσης μέσα στην οποία υπάρχει ένας αναδευτήρας, έτσι ώστε να κρατάει τα στερεά σε αιώρηση. Έπειτα ο αναδευτήρας απορρόφησε ατμοσφαιρικό αέρα από το περιβάλλον και αυτός με τη σειρά του τον διοχέτευσε υπό μορφή φυσαλίδων μέσα στον πολφό.

Όλη αυτή η διαδικασία είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία επιπλεύσαντος δείγματος το οποίο είναι το απόρριμμα και παραμένοντος που είναι ο καθαρός μαγνησίτης. Ο χρόνος του κάθε εμπλουτισμού αναφέρεται παρακάτω (πίνακας 10.12):

Περιγραφή	Χρόνος αναμονής (sec)
Επίπλευση 1	360
Επίπλευση 2	221
Επίπλευση 3	300
Επίπλευση 4	205
Επίπλευση 5	180

Πίνακας 10.12: χρόνος επίπλευσης

Οι επιπλέψεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν πέντε και εκατέρωθεν διακρίνουμε τις χημικές αναλύσεις τους (πίνακες 10.13, 10.14, 10.15) και σχήματα (10.13, 10.14):

Αντιδραστήριο σε kg/ton			Χημικές αναλύσεις (%)			Μονάδες			Κατανομή (%)		
	Περιγραφή	Βαρος %	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
	0	0									
2	Επιπλεύσαν 1	17,7	0,81	36,37	0,75	0,144	6,432	0,132	70,44	70,11	18,62
1	Επιπλεύσαν 2	7,6	0,41	19,99	0,59	0,031	1,519	0,045	15,14	16,56	6,29
1	Επιπλεύσαν 3	6,6	0,23	4,28	1,54	0,015	0,282	0,101	7,29	3,08	14,31
1	Επιπλεύσαν 4	5,4	0,06	3,28	1,42	0,003	0,178	0,077	1,51	1,94	10,92
1	Επιπλεύσαν 5	4,6	0,03	1,90	0,94	0,002	0,088	0,043	0,75	0,96	6,13
	Παραμένον	58,0	0,02	1,16	0,53	0,010	0,675	0,310	4,88	7,35	43,72
	Σύνολο:	100,0	0,20	9,17	0,71	0,204	9,174	0,709	100,00	100	100

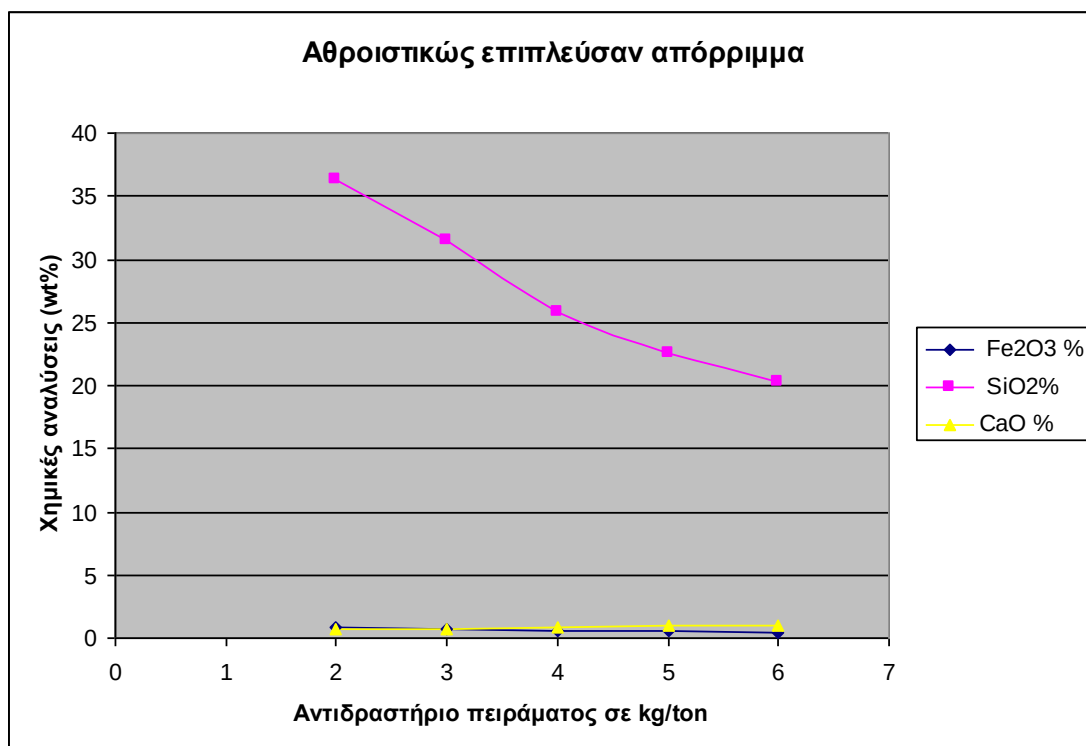
Πίνακας 10.13: Χημικές αναλύσεις επίπλευσης

Αντιδραστήριο σε kg/ton	Περιγραφή	Αθροιστικώς Επιπλεύσαν									
		Βαρος %	Χημικές αναλύσεις(%)			Μονάδες			Κατανομή (%)		
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Επιπλεύσαν 1	17,7	0,81	36,37	0,75	0,144	6,432	0,132	70,44	70,11	18,62
3	Επιπλεύσαν 2	25,3	0,69	31,45	0,70	0,175	7,951	0,177	85,58	86,67	24,92
4	Επιπλεύσαν 3	31,9	0,59	25,82	0,87	0,189	8,234	0,278	92,87	89,75	39,23
5	Επιπλεύσαν 4	37,3	0,52	22,53	0,95	0,193	8,412	0,356	94,38	91,69	50,15
6	Επιπλεύσαν 5	42,0	0,46	20,26	0,95	0,194	8,500	0,399	95,12	92,65	56,28
	Σύνολο	100,0	0,20	9,17	0,71	0,204	9,174	0,709	100,00	100,00	100,00

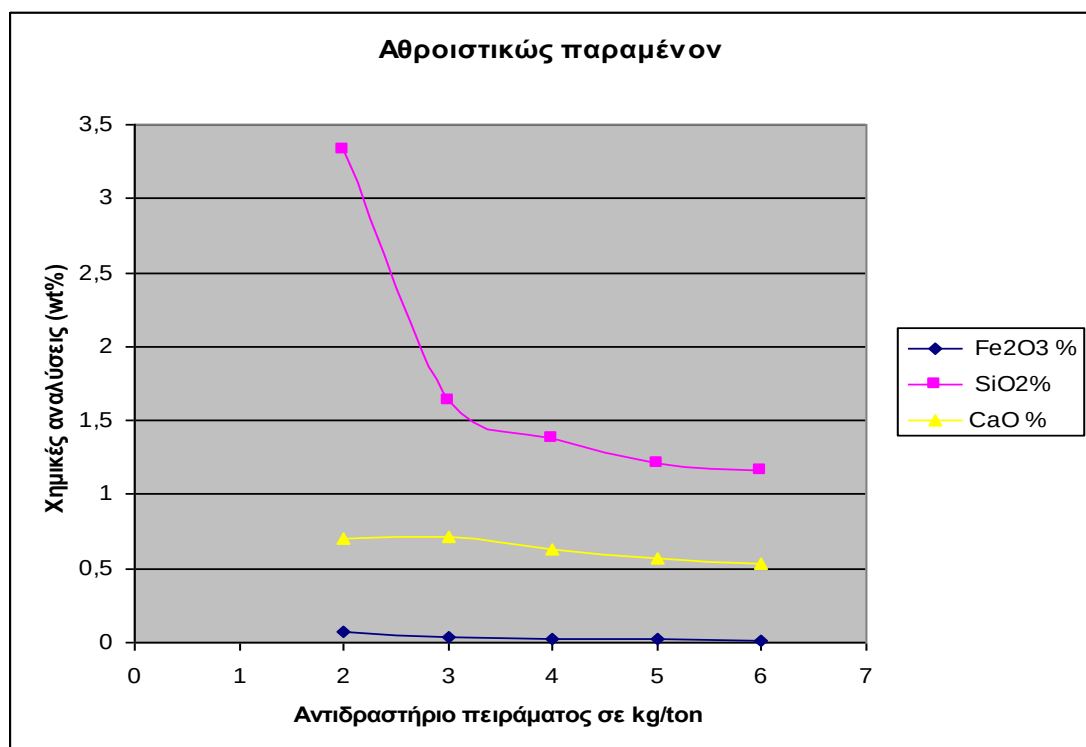
Πίνακας 10.14: Χημικές αναλύσεις αθροιστικώς επιπλεύσαν

Αντιδραστήριο σε kg/ton	Περιγραφή	Αθροιστικώς Παραμένον										Βαθμός διαχωρισμού n		
		Βαρος %	Χημικές αναλύσεις (%)			Μονάδες			Κατανομή (%)			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
			Fe ₂ O ₃	SiO	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO			
0	Σύνολο	100	0,20	9,17	0,71	0,204	9,174	0,709	100,00	100,00	100,00	0	0	0
2	Παραμένον 1	82,3	0,07	3,33	0,70	0,060	2,742	0,577	29,56	29,89	81,38	52,86079	57,72102	0,945414
3	Παραμένον 2	74,7	0,04	1,64	0,71	0,029	1,223	0,532	14,42	13,33	75,08	60,41612	67,58376	-0,36939
4	Παραμένον 3	68,1	0,02	1,38	0,63	0,015	0,941	0,431	7,13	10,25	60,77	61,10321	63,70008	7,393157
5	Παραμένον 4	62,7	0,02	1,22	0,56	0,011	0,763	0,353	5,62	8,31	49,85	57,16629	59,85024	12,91713
6	Παραμένον 5	58,0	0,02	1,16	0,53	0,010	0,675	0,310	4,88	7,35	43,72	53,2751	55,80935	14,43044
	Παραμένον 6	0,0				0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00			

Πίνακας 10.15: Χημικές αναλύσεις αθροιστικώς παραμένον



Σχήμα 10.13: Αθροιστικώς επιπλεύσαν απόρριμμα



Σχήμα 10.14: Αθροιστικώς παραμένον επίπλευσης

10.3.1 Συμπεράσματα επίπλευσης

Για 6gr αμίνης έχουμε 580gr προϊόντος, άρα για 1kg προϊόντος έχουμε 10,34 gr αμίνης. Επομένως βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η κατανάλωση αμίνης είναι 10,34gr ανά kg υλικού. Η επίπλευση είναι μεν η καλύτερη μέθοδος από όλες τις υπόλοιπες, όμως έχει μεγάλη κατανάλωση αντιδραστηρίου, που την κάνει να υστερεί σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Από τη δοκιμή του πειράματος μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία της επίπλευσης επιφέρει πολύ θετικά αποτελέσματα, διότι οι προσμίξεις του SiO_2 και του Fe_2O_3 είναι σχεδόν ανύπαρκτες στο τελικό παραμένον προϊόν.

Από την παρατήρηση του παραπάνω διαγράμματος είναι φανερό, ότι από την τρίτη κιόλας επίπλευση ο μαγνησίτης είναι πολύ καθαρότερος. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα προσοδοφόρα για λεπτόκοκκο κλάσμα και χάρις τη βοήθεια του αντιδραστηρίου έχουμε βέλτιστα αποτελέσματα.

Παρόλα αυτά, η επίπλευση μπορεί να είναι πολύ καλύτερη μέθοδος από τις υπόλοιπες όμως σε βιομηχανικό επίπεδο υστερεί αφού στη πράξη επιτυγχάνεται εμπλουτισμός SiO_2 κάτω από 1%.

10.4 Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός

Το υλικό για τη δοκιμή του τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωρισμού το πήραμε από το μη μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού από το κλάσμα 1-4mm. Το μη μαγνητικό προϊόν μεταφέρθηκε στο ραβδόμυλο και λειοτριβήθηκε για 10 λεπτά σε ταχύτητα 70rpm.

Στη συνέχεια χωρίστηκε με κόσκινα σε τρία κλάσματα των: 212-500μm, 63-212μm και 0-63μm. Ο εμπλουτισμός έγινε σε ωμό δείγμα, καθώς και σε πυρωμένο το οποίο τοποθετήθηκε για 3 ώρες στο φούρνο σε θερμοκρασία 950°C. Η απώλεια πύρωσης φαίνεται στους παρακάτω πίνακες. Η τάση η οποία εξασκήθηκε ήταν 25KV κατά το μέγιστο και 12,5KV κατά το ελάχιστο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται παρακάτω (πίνακες 10.16, 10.17, 10.18, 10.19):

Ωμός μαγνησίτης			Βάρος %		Περιεκτικότητα %			Μεταλλο-μονάδες			Κατανομή μαγνησίτη(%)			Βαθμός διαχωρισμού n		
Μέγεθος κόκκων	Τάση (KV)	Φορτίο	Κλάσμα-τος	Αρχικού	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
212-500 μm	25	+ φορτισμένο	42,2	16,0	6,65	0,90	0,11	2,805	0,378	0,046	32,5	43,1	29,7	10,62	-0,96	12,50
		- φορτισμένο	57,8	22,0	10,09	0,86	0,19	5,833	0,499	0,110	67,5	56,9	70,3			
		Σύνολο:	100,0	38,0	8,64	0,88	0,16	8,638	0,877	0,156	100,0	100,0	100,0			
63-212 μm	25	+ φορτισμένο	47,3	18,9	5,55	0,71	0,13	2,626	0,337	0,062	37,6	34,0	43,8	10,45	13,40	3,55
		- φορτισμένο	52,7	21,1	8,28	1,24	0,15	4,360	0,653	0,079	62,4	66,0	56,2			
		Σύνολο:	100,0	40,1	6,99	0,99	0,14	6,986	0,990	0,141	100,0	100,0	100,0			
0- 63 μm	25	+ φορτισμένο	47,1	10,3	7,53	0,93	0,23	3,541	0,436	0,108	47,4	48,0	46,0	-0,41	-0,93	1,06
		- φορτισμένο	52,9	11,6	7,41	0,89	0,24	3,924	0,473	0,127	52,6	52,0	54,0			
		Σύνολο:	100,0	22,0	7,47	0,91	0,24	7,465	0,909	0,235	100,0	100,0	100,0			
		Σύνολο:		100												

Πίνακας 10.16: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός ωμού δείγματος με τάση 25KV

Ωμός μαγνησίτης			Βάρος %		Περιεκτικότητα %			Μεταλλο-μονάδες			Κατανομή μαγνησίτη(%)			Βαθμός διαχωρισμού n		
Μέγεθος κόκκων	Τάση (KV)	Φορτίο	Κλάσματος	Αρχικού	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
212-500 μm	12,5	+ φορτισμένο	39,0	15,2	3,61	0,67	0,08	1,407	0,260	0,031	18,8	37,2	25,4	21,84	1,74	13,58
		- φορτισμένο	61,0	23,8	9,99	0,72	0,15	6,096	0,438	0,092	81,2	62,8	74,6			
		Σύνολο:	100,0	39,1	7,50	0,70	0,12	7,504	0,698	0,123	100,0	100,0	100,0			
63-212 μm	12,5	+ φορτισμένο	41,4	16,5	3,04	0,70	0,09	1,258	0,289	0,037	15,1	38,9	25,1	28,72	2,47	16,35
		- φορτισμένο	58,6	23,3	12,09	0,77	0,19	7,083	0,453	0,111	84,9	61,1	74,9			
		Σύνολο:	100,0	39,8	8,34	0,74	0,15	8,341	0,742	0,149	100,0	100,0	100,0			
0- 63 μm	12,5	+ φορτισμένο	46,4	9,8	7,58	0,81	0,23	3,515	0,376	0,107	47,9	46,0	46,4	-	0,44	0
		- φορτισμένο	53,6	11,3	7,13	0,83	0,23	3,819	0,442	0,123	52,1	54,0	53,6			
		Σύνολο:	100,0	21,1	7,33	0,82	0,23	7,334	0,819	0,230	100,0	100,0	100,0			
		Σύνολο:		100,0												

Πίνακας 10.17: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός ωμού δείγματος με τάση 12,5KV

Πυρωμένος μαγνησίτης				Βάρος %		Περιεκτικότητα %			Μεταλλο-μονάδες			Κατανομή μαγνησίτη(%)			Βαθμός διαχωρισμού n		
Μέγεθος κόκκων	Τάση (KV)	Φορτίο	Απώλεια πύρωσης (%)	Κλάσμα-τος	Αρχικού	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
212-500 μm	25	+ φορτισμένο	36	52,2	21,0	9,46	0,77	0,13	4,940	0,400	0,068	30,2	50,3	40,3	26,31	1,91	11,88
		- φορτισμένο		47,8	19,2	23,89	0,83	0,21	11,417	0,395	0,100	69,8	49,7	59,7			
		Σύνολο:		100,0	40,2	16,36	0,80	0,17	16,357	0,795	0,168	100,0	100,0	100,0			
63-212 μm	25	+ φορτισμένο	36,5	54,7	23,2	13,91	1,42	0,14	7,608	0,775	0,077	45,2	63,1	43,0	11,40	-8,53	11,72
		- φορτισμένο		45,3	19,2	20,35	1,00	0,22	9,222	0,453	0,102	54,8	36,9	57,0			
		Σύνολο:		100,0	42,4	16,83	1,23	0,18	16,830	1,228	0,178	100,0	100,0	100,0			
0- 63 μm	25	+ φορτισμένο	37,8	44,7	7,8	26,38	1,06	0,28	11,794	0,475	0,125	64,9	41,3	41,4	-24,61	3,46	3,28
		- φορτισμένο		55,3	9,6	11,56	1,22	0,32	6,392	0,675	0,177	35,1	58,7	58,6			
		Σύνολο:		100,0	17,4	18,19	1,15	0,30	18,186	1,151	0,302	100,0	100,0	100,0			
		Σύνολο:			100,0												

Πίνακας 10.18: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός πυρωμένου δείγματος με τάση 25KV

Πυρωμένος μαγνησίτης				Βάρος %		Περιεκτικότητα %			Μεταλλο-μονάδες			Κατανομή μαγνησίτη(%)			Βαθμός διαχωρισμού n		
Μέγεθος κόκκων	Τάση (KV)	Φορτίο	Απώλεια πύρωσης (%)	Κλάσμα -τος	Αρχικού	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
212-500 μm	12,5	+ φορτισμένο	38,7	54,24	31,22	18,00	1,72	0,17	9,76	0,93	0,09	46,44	61,27	47,68	9,87	-7,14	6,57
		- φορτισμένο		45,76	26,34	24,60	1,29	0,22	11,26	0,59	0,10	53,56	38,73	52,32			
		Σύνολο:		100,00	57,56	21,02	1,53	0,19	21,02	1,53	0,19	100	100	100,00			
63-212 μm	12,5	+ φορτισμένο	48,4	57,47	24,39	21,80	1,70	0,22	12,53	0,98	0,13	45,84	66,82	47,04	16,00	-9,48	10,46
		- φορτισμένο		42,53	18,05	34,80	1,14	0,34	14,80	0,48	0,14	54,16	33,18	52,96			
		Σύνολο:		100,00	42,44	27,33	1,46	0,27	27,33	1,46	0,27	100,00	100,00	100,00			
		Σύνολο:			100												

Πίνακας 10.19: Τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός πυρωμένου δείγματος με τάση 12,5KV

10.4.1 Συμπεράσματα τριβο-ηλεκτροστατικού διαχωρισμού

Από τους πίνακες 10.16, 10.17, 10.18, 10.19 συμπεραίνουμε ότι ο διαχωρισμός είναι αποδοτικός για τις κοκκομετρίες 63-500 μ m και ιδιαίτερα στο πυρωμένο κλάσμα κατά τη μέγιστη τάση.

Ακόμη στο ωμό δείγμα επιτυγχάνεται καλύτερος διαχωρισμός από τα βαρέα υγρά ειδικά στα κλάσματα 63-500 μ m. Όμως σε αυτή τη περίπτωση έχουμε μεγάλη απώλεια βάρους η οποία κάνει αυτή τη μέθοδο να υστερεί σε σχέση με τις άλλες.

Τέλος, πρέπει να σημειώσουμε ότι για το κλάσμα 0-63 μ m ο εμπλουτισμός είναι αδύνατος και μάλιστα επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το λεπτόκοκκο υλικό κολλάει πάνω στις πλάκες που φορτίζουν το δείγμα και έτσι δε μπορεί να γίνει διαχωρισμός. Όλος ο μαγνησίτης μένει μέσα στο μηχάνημα του ηλεκτροστατικού διαχωρισμού παρεμποδίζοντας τη λειτουργία του.

11. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη αξιοποίησης του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος Χαλκιδικής με διάφορους μεθόδους εμπλουτισμού. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: α)ο μαγνητικός διαχωρισμός β)τα βαρέα υγρά γ)η επίπλευση δ)ο τριβο-ηλεκτροστατικός διαχωρισμός.

Όσον αφορά τον μαγνητικό διαχωρισμό, σαν πρώτη μέθοδο, μπορούμε να πούμε ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός εμπλουτισμός αλλά το δείγμα μας θα πρέπει να επεξεργαστεί ξανά. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι στα κλάσματα 1-10mm ο μαγνητικός διαχωρισμός έχει εμφανή αποτελέσματα λόγω της μείωσης του SiO_2 αλλά και του Fe_2O_3 . Εν αντιθέσει στο κλάσμα 0,106-1mm δεν παρατηρείται τόσο καλός διαχωρισμός όσο στα προηγούμενα κλάσματα. Ακόμη, είναι απαραίτητο το υλικό μας να περάσει δύο φορές από τον μαγνητικό διαχωριστή και σε μικρότερη ταχύτητα για να πάρουμε πολύ καθαρότερο υλικό, απαλλαγμένο από ξένα ορυκτά. Μέσα από τις φωτογραφίες των ορυκτολογικών αναλύσεων (σχήμα 10.2, 10.3, 10.4), διακρίνεται ξεκάθαρα πως ο σερπεντίνης είναι μαγνητικός και παρέσυρε μαζί του και το χαλαζία . Όμως ο χαλαζίας δεν είναι μαγνητικό ορυκτό. Επίσης ο δολομίτης ο οποίος εκφράζεται από την ανάλυση του CaO εμπλουτίζει το μη μαγνητικό υλικό αντί να πηγαίνει στο μαγνητικό υλικό.

Σχετικά με τη μέθοδο των βαρέων υγρών είναι δυνατή η εφαρμογή τους γιατί υπάρχει σημαντική διαφορά ειδικών βαρών μεταξύ του μαγνησίτη και του στείρου υλικού. Ο διαχωρισμός είναι ικανοποιητικός αλλά κυρίως για το κλάσμα 4-10mm και 1-4mm. Όσον αφορά το κλάσμα 0,106-1mm δε προτείνεται ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά διότι δεν έχουμε καλά αποτελέσματα.

Η επίπλευση δίνει τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα και αυτό συμβαίνει διότι το υλικό μας είναι πλήρως αποδεσμευμένο εξαιτίας του μικρού μεγέθους που απαιτείται για την επίπλευση $<300\mu\text{m}$. Η επίπλευση μπορεί να είναι πολύ καλύτερη μέθοδος από τις υπόλοιπες, όμως σε βιομηχανικό επίπεδο υστερεί αφού στη πράξη επιτυγχάνεται εμπλουτισμός SiO_2 κάτω από 1%.

Στον τριβο-ηλεκτροστατικό διαχωρισμό μπορούμε να δούμε ότι επιτυγχάνεται καλύτερος διαχωρισμός από ότι τα βαρέα υγρά. Ο αποδοτικότερος εμπλουτισμός επιτυγχάνεται στη τάση 12,5KV και η περιεκτικότητα σε SiO_2 μπορεί να φτάσει μέχρι

3%. Όμως σε αυτή τη περίπτωση έχουμε μεγάλη απώλεια βάρους η οποία κάνει αυτή την μέθοδο να υστερεί σε σχέση με τις άλλες. Επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι στο πυρωμένο κλάσμα ο διαχωρισμός είναι πολύ καλός ειδικά όταν έχουμε μέγιστη τάση.

Για να προταθεί η καταλληλότερη μέθοδος αξιοποίησης του μεταλλεύματος πρέπει να συσχετισθεί με την απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

- Αν θέλουμε το δείγμα μας να έχει περιεκτικότητα SiO_2 περίπου 4% τότε είναι απαραίτητο να περάσει από το μαγνητικό διαχωριστή και έπειτα να οδηγηθεί στα βαρέα υγρά. Όσον αφορά τις υπόλοιπες προσμίξεις του Fe_2O_3 και CaO έχουν πολύ μικρό ποσοστό σε σχέση με το πυρίτιο και πιστεύω ότι πρέπει να δώσουμε βάση σε αυτό..
- Σε περίπτωση που χρειάζεται ποσοστό πυριτίου γύρω στο 1% τότε το δείγμα μας θα περάσει πάλι από τον μαγνητικό διαχωριστή, θα λειοτριβηθεί και θα το μεταφέρουμε στο κελί επίπλευσης.
- Όσον αφορά τον τριβο-ηλεκτροστατικό διαχωρισμό πιστεύω ότι έχει μεγάλη απώλεια βάρους αλλά επιτυγχάνει καλή απομάκρυνση των ξένων προσμίξεων, ειδικά στο πυρωμένο κλάσμα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το δείγμα μας δεν χρειάζεται να οδηγηθεί για ξήρανση.

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

1. Χρηστίδης Γ. (2002) “Κοιτασματολογία II”, Πολυτεχνείο Κρήτης.
2. Κωστάκης Γ. (2003) “Εισαγωγή στην αξιολόγηση των βιομηχανικών ορυκτών”, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Κοντόπουλος Α. (1983) «Εισαγωγή στα πυρίμαχα υλικά », Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα
4. Σταμπολιάδης, Η. (2004). “ Μηχανική των τεμαχιδίων ”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. Σταμπολιάδης, Η. (2006). “ Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων ”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. Φραγκίσκος Α., Κατράκης Σ. (1979). “ Εισαγωγή εις τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών ”, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
7. Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης, (1993), “ Σημειώσεις Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας ”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. Κωστάκης, Γ. (1988). “ Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων ”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

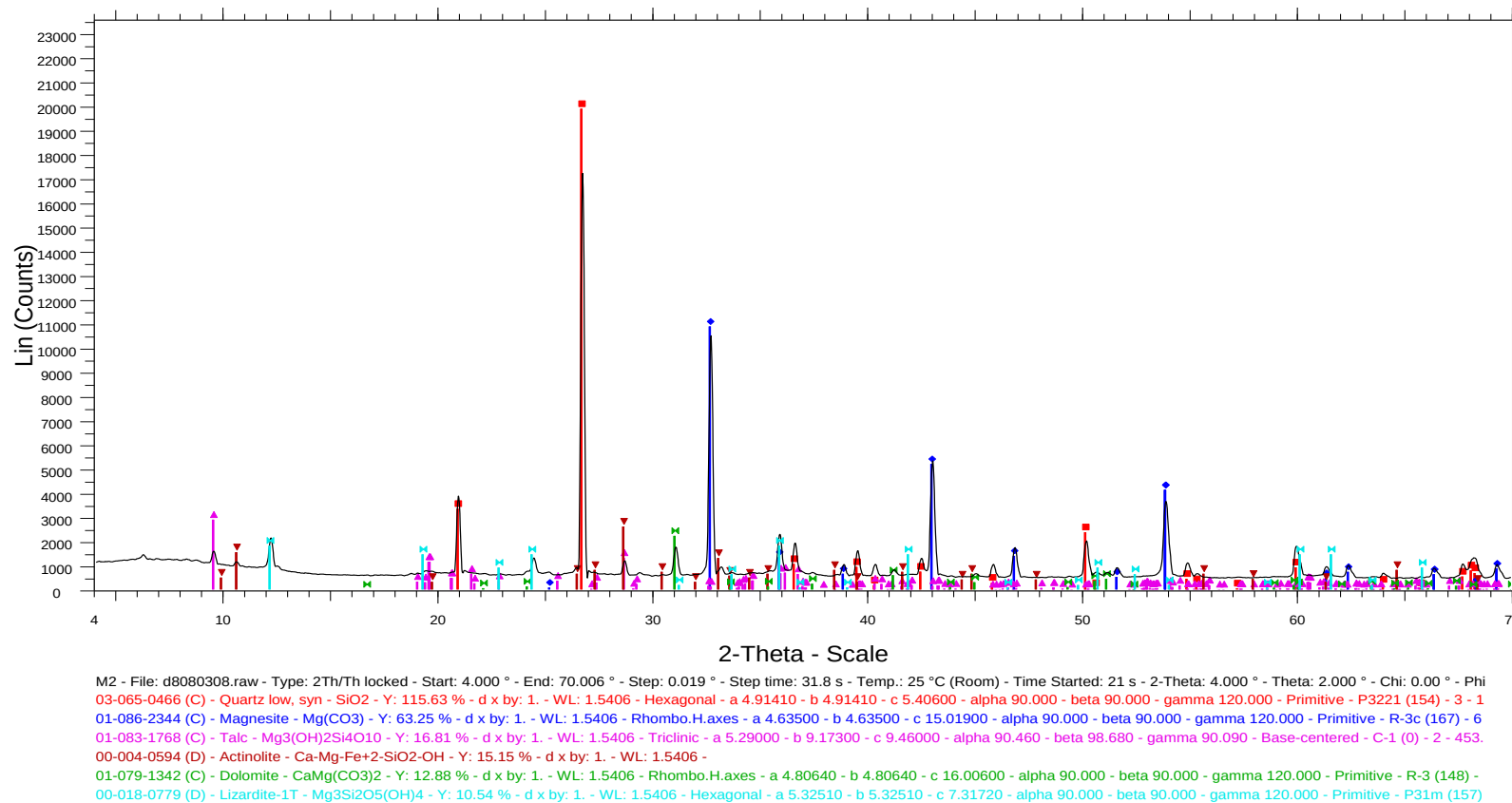
Διεθνής

9. Tianxiang Li (1999). “An experimental study of particle charge and charge exchange related to triboelectrostatic beneficiation”, Lexington, Kentucky.

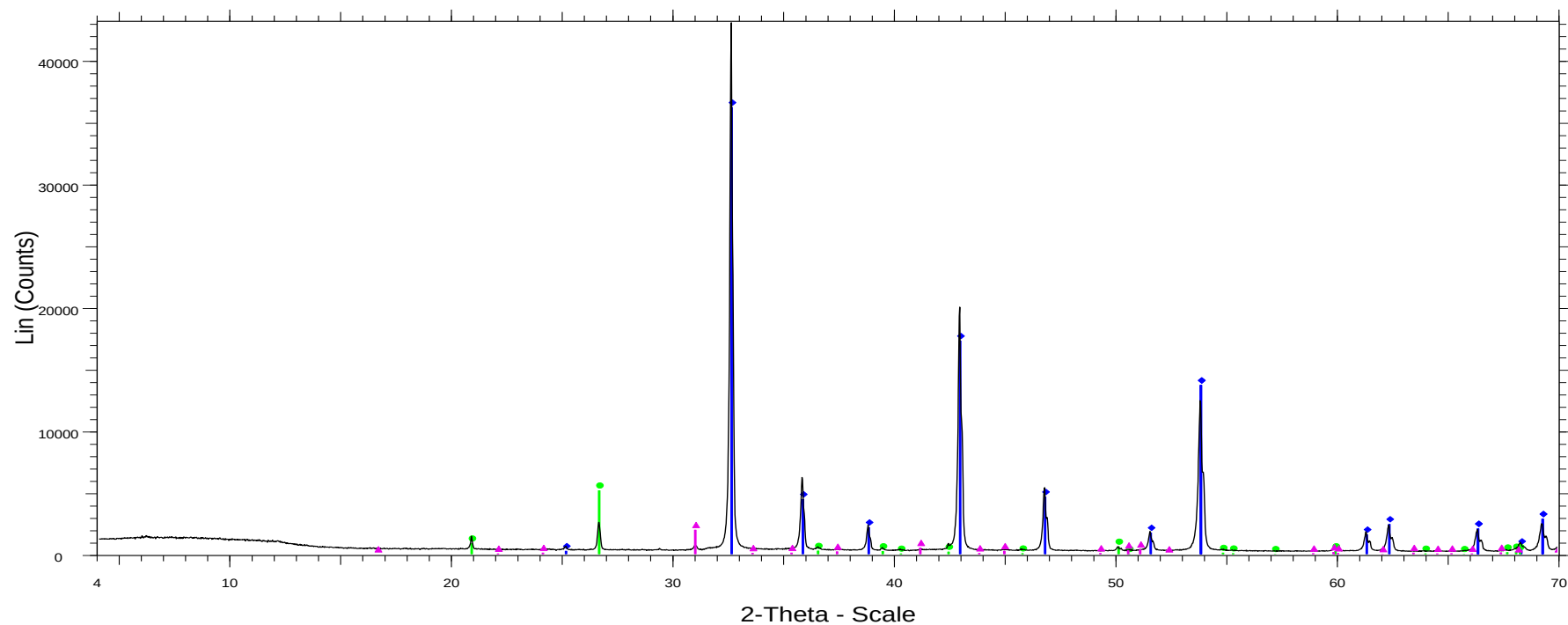
Ιστοσελίδες

10. www.grecianmagnesite.com
11. Danilo Mário Behrens Correia, www.dnpm.com
12. Περράκης Θ., www.metalntua.gr

13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

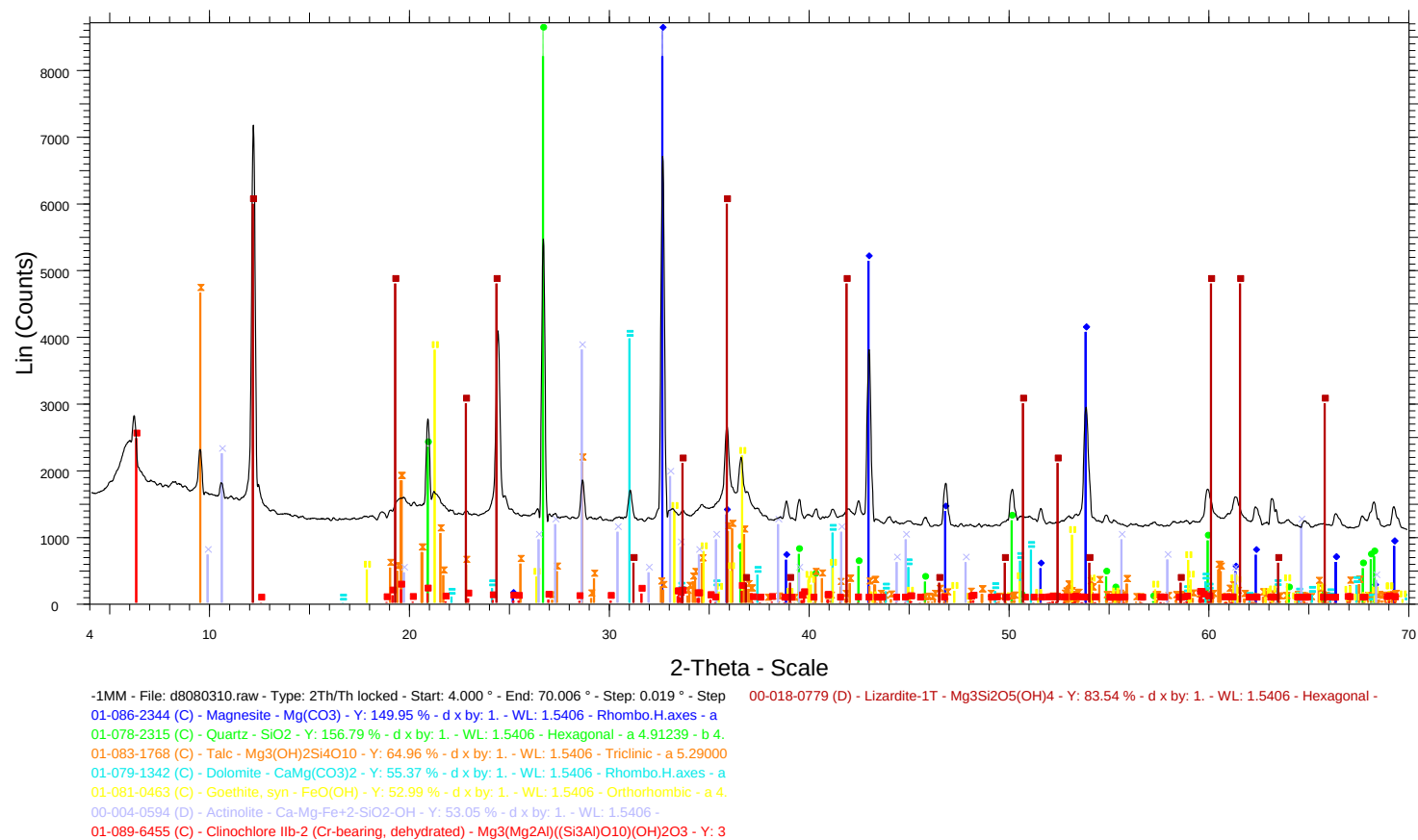


Μαγνητικό 2, κλάσμα 1-4mm

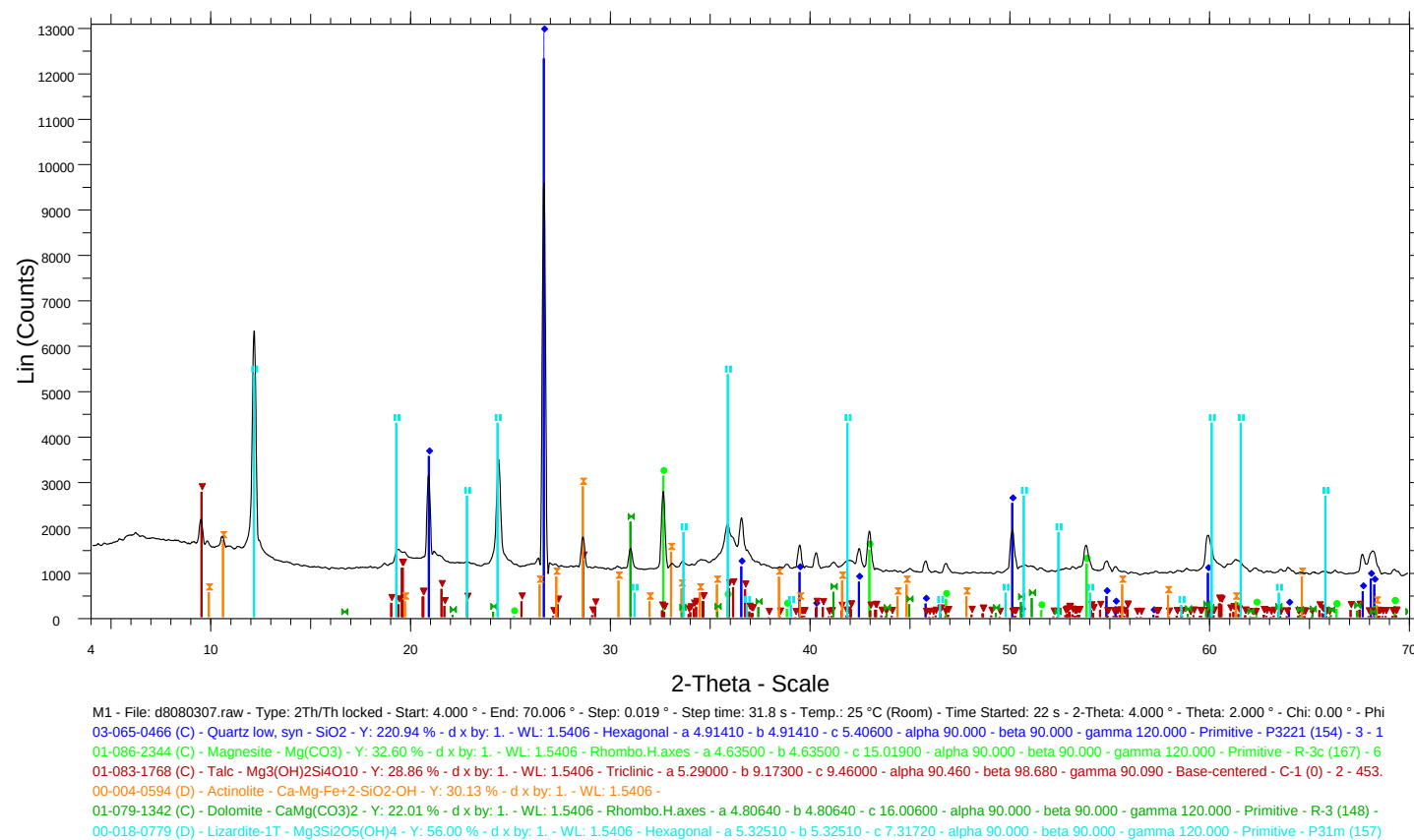


L - File: d8080309.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi:
 01-086-2344 (C) - Magnesite - $\text{Mg}(\text{CO}_3)$ - Y: 84.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.63500 - b 4.63500 - c 15.01900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6
 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO_2 - Y: 11.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 11
 01-079-1342 (C) - Dolomite - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - Y: 4.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80640 - b 4.80640 - c 16.00600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 3

Μη Μαγνητικό 2, κλάσμα 1-4mm



Αρχικό δείγμα χωρίς επεξεργασία



Μαγνητικό 1, κλάσμα 1-4mm