



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

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΕΡΕΥΝΑ ΑΠΟΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ  
ΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΕΥΒΟΙΑΣ»**

**ΣΟΦΙΑ Ν. ΜΑΡΤΙΝΗ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

<b>ΗΛΙΑΣ ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ,</b>	<b>Αναπληρωτής καθηγητής (επιβλέπων)</b>
<b>ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΛΕΒΙΖΟΣ</b>	<b>Λέκτορας</b>
<b>ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ</b>	<b>Αναπληρωτής Καθηγητής</b>

**ΧΑΝΙΑ**  
**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ερευνά τη δυνατότητα εμπλουτισμού του λατεριτικού κοιτάσματος της περιοχής Τριάδας Ευβοίας. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι οι ακόλουθοι:

- Θραύση
- Υγρή λειοτρίβηση (αυτογενής, σε σφαιρόμυλο, σε ραβδόμυλο)
- Κοσκίνιση (υγρή, ξηρή)
- Υδροταξινόμηση
- Διαχωρισμός με Βαρέα Υγρά
- Μαγνητικός διαχωρισμός
- Επίπλευση (με αμίνη, με ορθοφωσφορικό άλας)
- Βαρυτομετρικός διαχωρισμός με φυγοκεντρικό διαχωριστή

Θεωρώντας την αυτολειοτρίβηση μέθοδο διαχωρισμού του υλικού και, θεωρώντας επίσης το ψιλό κλάσμα σαν συμπύκνωμα και το χονδρό απόρριμα, η αυτολειοτρίβηση έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα ψιλά κλάσματα της αυτολειοτρίβησης είναι πλουσιότερα σε νικέλιο σε σχέση με τα χονδρά.

Ο εμπλουτισμός με Βαρέα Υγρά έδωσε γενικά επαρκή αποτελέσματα, αλλά, λόγω του μεγάλου μεγέθους των κόκκων, δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική αποδέσμευση. Αποτέλεσμα τούτου είναι να αποβάλλεται μικρή, αλλά σημαντική ποσότητα νικελίου στο απόρριμα (~4%).

Ο μαγνητικός διαχωρισμός στα μεγέθη (+1-4) mm και (+0,25-1) mm έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντίθετα, στο κλάσμα +10 -100  $\mu\text{m}$ , λόγω του μικρού μεγέθους κόκκων ο μαγνήτης δεν απέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Οι επιπλεύσεις και ο βαρυτομετρικός διαχωριστής με φυγοκεντρικό διαχωριστή δεν επέφεραν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η αιτία για την αποτυχία και των τριών αυτών διαδικασιών είναι η μη επαρκής αποδέσμευση, παρά το μικρό μέγεθος κόκκων (+10 -100  $\mu\text{m}$ ) και η προσκόλληση της συνδετικής ύλης εξωτερικά των κόκκων αιματίτη και χαλαζία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, και ο αιματίτης και ο χαλαζίας όταν περιβάλλονται από συνδετική ύλη να συμπεριφέρονται το ίδιο.

Από τις διαδικασίες κατάτμησης ελήφθη ένα ψιλό κλάσμα (-10  $\mu\text{m}$ ) πλούσιο σε Ni. Το κλάσμα αυτό, μπορεί μετά από συσσωμάτωσή του να αποτελέσει ένα πολύ καλό συμπύκνωμα με περιεκτικότητα σε νικέλιο περίπου διπλάσια από αυτήν της αρχικής τροφής.

Σε γενικές γραμμές για επαρκή εμπλουτισμό απαιτείται η απομάκρυνση της συνδετικής ύλης με εκχύλιση ή άλλους τρόπους. Με αυτήν την προϋπόθεση, οι μέθοδοι που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία μπορούν να επιφέρουν επαρκή αποτελέσματα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής λάμβαναν χώρα εργαστηριακές δοκιμές στο εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων, στο εργαστήριο Γεωχημείας και βεβαίως πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική μελέτη με τη βοήθεια μικροσκοπίου.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, το πειραματικό τμήμα της Διπλωματικής αυτής εργασίας είναι αρκετά ποικιλόμορφο. Κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών και βεβαίως κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους, η διπλωματική ετούτη έρχεται να προσφέρει στον φοιτητή σημαντική εμπειρία και ποικίλες επιστημονικές και τεχνικές γνώσεις. Η διπλωματική αυτή εργασία είναι βιομηχανικά εφαρμόσιμη και αναφέρεται στον εμπλουτισμό ενός σημαντικού μεταλλεύματος, από το οποίο ανακτάται νικέλιο. Η ελληνική βιομηχανία νικελίου αποτελεί έναν από τους βασικότερους τομείς της ελληνικής βαριάς βιομηχανίας και συγχρόνως μια από τις πιο σημαντικές πλουτοπαραγωγικές μονάδες της εθνικής οικονομίας. Δεν υπάρχει λοιπόν αμφιβολία ότι πρόκειται για ένα δελεαστικό θέμα διπλωματικής εργασίας.

Μια τέτοια όμως διπλωματική είχε και τις δυσκολίες της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου, κ. Ηλία Σταμπολιάδη για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής, καθώς επίσης και για τις γνώσεις που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια, μέσα από τα μαθήματά του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την κ. Όλγα Παντελάκη και τον κ. Βαγγέλη Πετράκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Ευχαριστώ ακόμη τον κ. Γ. Αλεβίζο και την κ. Δέσποινα Πεντάρη, για τη βοήθειά τους στην μικροσκοπική εξέταση δειγμάτων και στις χημικές αναλύσεις αντίστοιχα. Επίσης, τον Γ. Αποστολάκη για την προπαρασκευή των δειγμάτων, η οποία έγινε στο παρασκευαστήριο του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ευχαριστώ οφείλω και στην εξεταστική επιτροπή που απαρτίζεται – εκτός από τον Η. Σταμπολιάδη (Αναπληρωτής Καθηγητής και επιβλέπων εργασίας) – από

τους Γ. Αλεβίζο (Λέκτορας) και Κ. Κομνίτσα, (Αναπληρωτής Καθηγητής) οι οποίοι συνέβαλαν στην τελική διαμόρφωση της εργασίας.

Δε θα μπορούσα τέλος να αμελήσω την οικογένειά μου και να την ευχαριστήσω για όλη τη συμπαράσταση που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια, και τα μαθητικά αλλά και τα φοιτητικά. Μαζί με αυτή ευχαριστώ και τους φίλους μου, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου σε όλη μου την προσπάθεια περάτωσης των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>X</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΙΚΕΛΙΟ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ.....	1
1.2 ΑΓΟΡΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ.....	2
1.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ.....	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>6</b>
2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ.....	6
2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ.....	6
2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ.....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥ ΑΠΟ ΛΑΤΕΡΙΤΗ.....</b>	<b>12</b>
3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΥΣΟΥΛΟΣ – LARCO.....	12
3.2 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΜΙΝΕΥΣΗ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ.....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>17</b>
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	17
4.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	19
4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	21
4.3.1 ΑΥΤΟΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ.....	21
4.3.2 ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ.....	23
4.3.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.....	24
4.3.4 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....	26
4.3.5 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ.....	27
4.3.6 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	28
4.4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΤΡΙΑΔΑΣ.....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΕΙΓΜΑ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΤΡΙΑΔΑΣ.....</b>	<b>32</b>
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ.....	32
5.2 ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	33
5.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	34

5.4	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ.....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ</b>	<b>6:</b>	<b>ΔΟΚΙΜΗ</b>
<b>ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....</b>		<b>ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ</b>
		<b>37</b>
6.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΓΡΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΛΑΤΕΡΙΤΗ.....	37
6.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	39
6.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	43
6.4	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:</b>	<b>ΔΟΚΙΜΗ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ.....</b>	<b>50</b>
7.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	50
7.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	50
7.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	52
7.4	ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:</b>	<b>ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>55</b>
8.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	55
8.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	56
8.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	58
8.4	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	62
8.5	ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	64
8.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ.....	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:</b>	<b>ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΥΛΟ.....</b>	<b>68</b>
9.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΟΣ.....	68
9.1.1	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ.....	69
9.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΥΛΟ.....	71
9.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	73
9.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	78
9.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ.....	79
9.6	ΣΧΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	82
9.7	ΚΑΤΑΝΟΜΗ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	83
9.8	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ Ni, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	88
9.9	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.....	90

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10°: ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>93</b>
10.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	93
10.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	93
10.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ Ni, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	95
10.4 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ..	98
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11°:ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΣΕ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟ.....</b>	<b>101</b>
11.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΣΤΟ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟ.....	101
11.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΥΛΙΚΟΥ.....	104
11.3 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟΥ.....	108
11.4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 9,10,11.....	109
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12°: ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....</b>	<b>111</b>
12.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	111
12.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ..	112
12.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	115
12.4 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	117
12.5 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....	119
12.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....	121
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13°: ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ.....</b>	<b>122</b>
13.1 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ.....	122
13.1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	122
13.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ.....	122
13.1.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ.....	124
13.1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ.....	127
13.1.5 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ NI, FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MGO, CAO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ.....	128
13.1.6 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ	
13.2 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	132
13.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	132



13.2.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	133
13.2.3	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	134
13.2.4	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ $\text{Ni}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{MgO}$ , $\text{CaO}$ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	137
13.2.5	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ $\text{Ni}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{MgO}$ , $\text{CaO}$ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	138
13.2.6	ΜΙΚΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ.....	140
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14°:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>		<b>141</b>
14.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	141
14.1.1	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	141
14.1.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ.....	143
14.2	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	145
14.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	145
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>146</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>		<b>148</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η εργαστηριακή διερεύνηση εμπλουτισμού λατεριτικού μεταλλεύματος σε μεγέθη (+10 -100)  $\mu\text{m}$ . Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα λατερίτη της περιοχής Τριάδας της Κεντρικής Ευβοίας.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάκτηση ενός ικανοποιητικού συμπυκνώματος πλούσιο σε νικέλιο, με την εφαρμογή φυσικών και φυσικοχημικών μεθόδων εμπλουτισμού.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι θραύση, αυτολειοτρίβηση, λειοτρίβηση σε ραβδόμυλο και λειοτρίβηση σε σφαιρόμυλο, κοσκίνιση (ξηρή, υγρή), υδροταξινόμηση, διαχωρισμός με Βαρέα υγρά, μαγνητικός διαχωρισμός, βαρυτομετρικός διαχωρισμός με φυγοκεντρικό διαχωριστή και επίπλευση (με τεταρτοταγή αμίνη και με ορθοφωσφορικό άλας).

Η θραύση και οι λειοτριβήσεις αποσκοπούν στην ελάττωση του μεταλλεύματος σε μεγέθη κατάλληλα προς εμπλουτισμό. Η διαδικασία της κατάτμησης εφαρμόζεται συνήθως σε όλες τις μεθόδους εμπλουτισμού και έχει σα σκοπό την επαρκή αποδέσμευση των κόκκων του χρήσιμου ορυκτού από τα στείρα.

Η κοσκίνιση έχει σα στόχο την κοκκομετρική ταξινόμηση του υλικού σε ομάδες ισοδιάστατων ή σχεδόν ισοδιάστατων κλασμάτων. Όταν η ταξινόμηση του υλικού αναφέρεται σε μικρά μεγέθη τότε η κοσκίνιση γίνεται εν υγρώ.

Η υδροταξινόμηση σε υδροκυκλώνα, αποσκοπεί στο διαχωρισμό του πολύ λεπτόκοκκου υλικού (στο συγκεκριμένο μηχάνημα του -10  $\mu\text{m}$ ) από το μετάλλευμα (+10  $\mu\text{m}$ ). Το λεπτόκοκκο αυτό υλικό είναι δύσκολο να εμπλουτισθεί περαιτέρω και στην περίπτωση μας είναι πλούσιο σε νικέλιο.

Τα Βαρέα Υγρά είναι βαρυτομετρική μέθοδος διαχωρισμού και διαχωρίζει τα ορυκτά του μεταλλεύματος σύμφωνα με τα ειδικά τους βάρη.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός διαχωρίζει ορυκτά ανάλογα με τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Έτσι, ανάλογα με τη συμπεριφορά των διαφόρων ορυκτών μέσα από το μαγνητικό πεδίο του μαγνητικού διαχωριστή, το υλικό χωρίζεται σε μαγνητικό και μη μαγνητικό.

Ο βαρυτομετρικός διαχωριστής με φυγοκεντρικό διαχωριστή διαχωρίζει τα ορυκτά ανάλογα με τα ειδικά τους βάρη. Κατακρατάται πάντα συγκεκριμένη

ποσότητα βαρέος υλικού (100 gr) σε ένα ειδικά διαμορφωμένο κύπελο εντός της συσκευής ενώ το υπόλοιπο υπερχειλίζει από αυτή ως ελαφρύ προϊόν.

Η μέθοδος της επίπλευσης επιλέχθηκε γιατί μπορεί να επεξεργασθεί υλικά με πολύ μικρή κοκκομετρία. Το υλικό θραύστηκε σε ψιλά μεγέθη σε μια προσπάθειά να αποδесμευθούν οι κόκκοι του χρήσιμου ορυκτού (αιματίτη) από τα άχρηστα (πυριτικά ορυκτά).

Στην εργασία περιγράφονται αρχικά διάφορα θεωρητικά στοιχεία, αρχικά για το νικέλιο και κατόπιν γενικά για τα λατεριτικά κοιτάσματα, τη μεταλλουργία του νικελίου και συγκεκριμένη αναφορά στα χαρακτηριστικά του δείγματος που μελετήθηκε.

Ακολούθως ακολουθεί περιγραφή της εργαστηριακής μελέτης, και παρουσιάζονται οι διάφορες εργαστηριακές δοκιμές με τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους, με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

## ΝΙΚΕΛΙΟ

### 1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Το νικέλιο (Ni) ανακαλύφθηκε στη Σουηδία το 1751 από τον Axel Fredrik Cronstedt. Είναι μέταλλο και η θέση του στον περιοδικό πίνακα είναι στην ομάδα VIII και στην περίοδο 4. Έχει ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,6934. Το χρώμα του έχει λαμπερή, μεταλλική, αργυροειδή χροιά. Έχει σημείο τήξης στους 1455 °C και σημείο βρασμού 2913 °C. Τέλος, έχει πυκνότητα (σε στερεή μορφή) 8908 kg/m<sup>3</sup> και μοριακό όγκο 6,59 cm<sup>3</sup>.

Ως μέταλλο, είναι ελατό, όλκιμο, σιδηρομαγνητικό και επιπλέον είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα, έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0,142 cal/cm/cm<sup>2</sup>/sec/°C και ηλεκτρική αγωγιμότητα 16 (Cu=100%). Μια ξεχωριστή ιδιότητα του νικελίου είναι αυτή της διατήρησης της εξαιρετης στίλβωσής του. Αντέχει αρκετά στη διάβρωση και επίσης αντιστέκεται στη θραύση υπό πίεση σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.

Το νικέλιο έχει παρόμοια σκληρότητα (7,12 κατά Mohs κλίμακα) και αντοχή με το σίδηρο. Διαφέρει όμως από αυτόν στο ότι είναι περισσότερο όλκιμο και, από τεχνική άποψη, είναι πιο εύπλαστο.

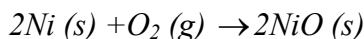
Από χημική άποψη, οι πιο συνήθεις ενώσεις που σχηματίζει το Ni στη φύση είναι οι ακόλουθες:

- Υδρίδια: Είναι ενώσεις με γενικό τύπο M<sub>x</sub>H<sub>y</sub>
- Φθορίδια: NiF<sub>2</sub>
- Χλωρίδια: 1) NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 2) NiCl<sub>2</sub>
- Βρωμίδια: NiBr<sub>2</sub>
- Ιωδίδια: NiI<sub>2</sub>
- Οξειδία: 1) NiO 2) Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- Σουλφίδια: 1) NiS 2) NiS<sub>2</sub> 3) Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>
- Σεληνίδια: NiSe
- Τελλουρίδια
- Νιτρίδια

Οι πιο συνηθισμένες αντιδράσεις του Ni στη φύση είναι οι ακόλουθες:

- Αντίδραση του Ni με τον αέρα:

Υπό συνήθεις συνθήκες το Ni δεν αντιδρά με τον αέρα. Όμως, λεπτά διαμερισμένο νικέλιο αντιδρά εύκολα με τον τελευταίο και σε αυτή τη μορφή μπορεί να είναι και αυτοαναφλέξιμο. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες το Ni αντιδρά με τον αέρα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:

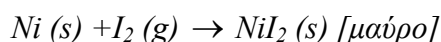
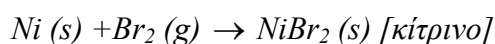
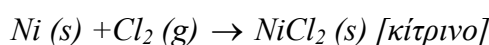


➤ Αντίδραση του Ni με το νερό:

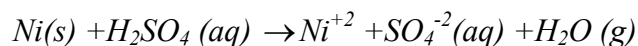
Υπό συνήθεις συνθήκες το Ni δεν αντιδρά με το νερό.

➤ Αντιδράσεις του Ni με αλογόνα:

Το Ni αντιδρά με το αέριο F<sub>2</sub>, αλλά πολύ αργά. Οι αντιδράσεις με τα υπόλοιπα αλογόνα είναι οι ακόλουθες:



➤ Αντιδράσεις του Ni με οξέα:

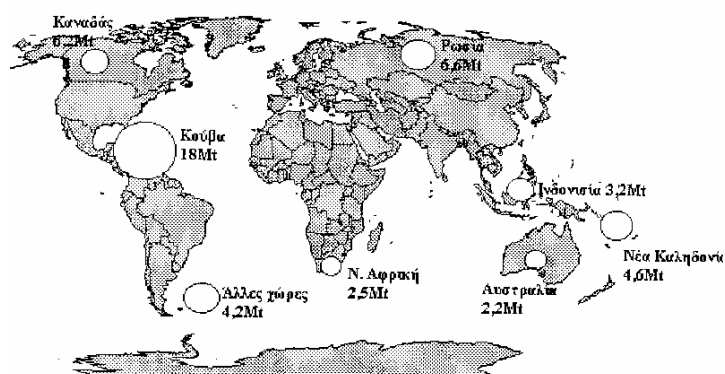


➤ Αντιδράσεις του Ni με βάσεις:

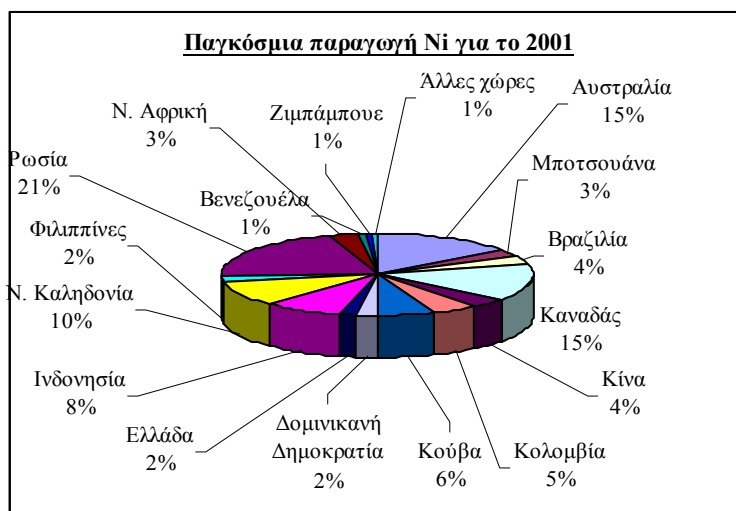
Το Ni δεν αντιδρά με βάσεις.

## 1.5 ΑΓΟΡΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής νικελίου λαμβάνει χώρα σε λίγες στον αριθμό χώρες: Ν. Καληδονία, Δυτική Αυστραλία, Ρωσία, Καναδάς και Ινδονησία. Στην Εικόνα 1.1 διακρίνονται οι τοποθεσίες με τα μεγαλύτερα κοιτάσματα στον κόσμο, ενώ στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η παγκόσμια παραγωγή Ni για το έτος 2001.



**Εικόνα 1.1:** Τα σημαντικότερα κοιτάσματα στον κόσμο (US Geological Survey)

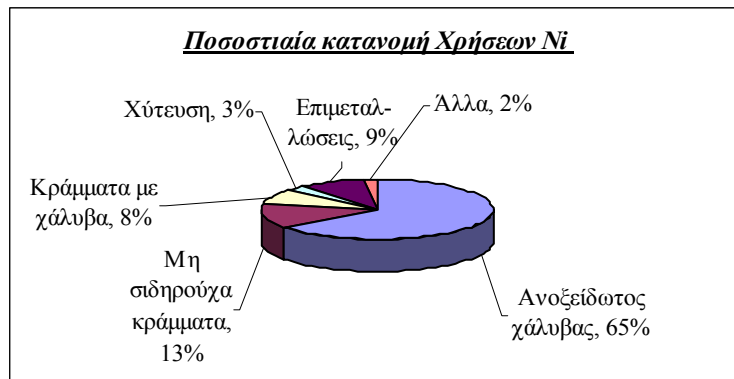


**Σχήμα 1.1:** Παγκόσμια παραγωγή Νικελίου για το έτος 2001 (US Geological Survey)

## 1.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Το νικέλιο αποτελεί ένα βιομηχανικά πολύ σημαντικό μέταλλο διότι είναι πολύ δύσκολο να αντικατασταθεί από άλλα στοιχεία. Αυτό γιατί, με πολύ λίγες εξαιρέσεις, υποκατάστατα αυτού θα δημιουργήσουν περαιτέρω κόστος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αλουμίνιο, ανθρακούχοι χάλυβες και πλαστικά μπορούν να αντικαταστήσουν τον ανοξείδωτο χάλυβα ως ένα βαθμό σε διάφορες αναλογίες σύνθεσης για συγκεκριμένες εφαρμογές. Ακόμη, μη νικελιούχοι χάλυβες ενδέχεται να αποτελέσουν υποκατάστατο του ανοξείδωτου χάλυβα στην πετροχημική βιομηχανία και στη βιομηχανία πετρελαίου. Τέλος, κράμματα τιτανίου ή ειδικά τα πλαστικά υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν το νικέλιο ή κράμματα αυτού όταν αυτά, στην τελική τους χρήση, σκοπεύεται να χρησιμοποιηθούν σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα. (US Geological Survey).

Οι χρήσεις του νικελίου προέρχονται από τις χαρακτηριστικές του ιδιότητες, όπως αντίσταση στη διάβρωση, ευπλαστότητα και αντοχή. Κατατάχθηκαν από τη βιομηχανία του Νικελίου σε έξι κατηγορίες. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των κατηγοριών αυτών (NiDI 1996)

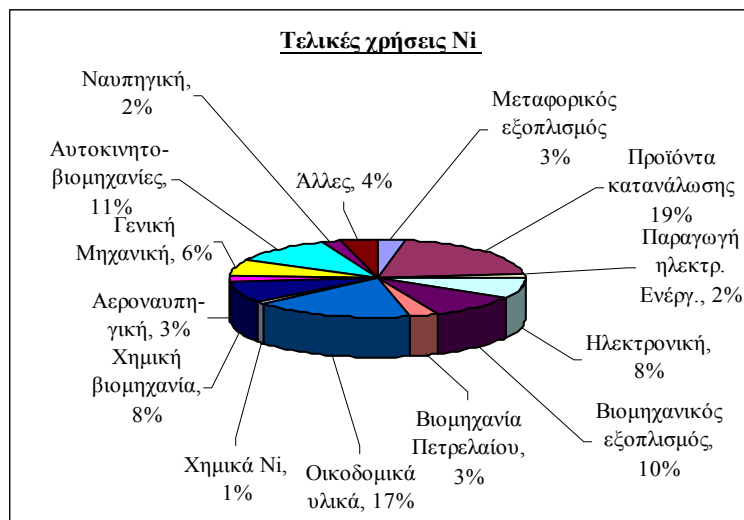


**Σχήμα 1.2:** Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων Ni (NiDI 1996)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η κυριότερη χρήση του Ni είναι η παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα και ότι το μεγαλύτερο κομμάτι της παραγωγής καταναλώνεται στη δημιουργία κραμμάτων. Τα σημαντικότερα κράμματα του Ni είναι τα ακόλουθα:

- *Ανοξείδωτος Χάλυβας:* Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες χρήσεις του Νικελίου. Η συνήθης περιεκτικότητά του σε Ni είναι 60% και χρησιμοποιείται στην κατασκευή αυτοκινήτων, εργαλείων, μαγειρικών σκευών, ανέγερση κτηρίων
- *Κράμματα Ni-Cu:* Κύρια χρήση αυτών των κραμμάτων είναι η κατασκευή ειδικών σωλήνων που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού.
- *Κράμματα Ni-Cr:* Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μηχανών αεροσκαφών καθώς επίσης και για κρυογόνους σκοπούς, όπως επί παραδείγματι αποθήκευση υγροποιημένων αερίων.
- *Υψηλής ποιότητας χάλυβες:* Περιέχουν νικέλιο σε περιεκτικότητες της τάξης των 20% και χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς, καθώς επίσης και στην αεροναυπηγική.

Συνήθως κατά τις εφαρμογές «Επιμεταλλώσεις» και «χύτευση», το παραγόμενο Ni χρησιμοποιείται απευθείας από τον καταναλωτή, χωρίς να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία. Οι χάλυβες όμως και άλλα κράμματα, αποτελούν «ενδιάμεσα» προϊόντα και πρέπει να επεξεργασθούν περαιτέρω, ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν πλέον ως βιομηχανικά προϊόντα σε διάφορες εφαρμογές, οι σημαντικότερες από τις οποίες συνοψίζονται στο Σχήμα 1.3:



**Σχήμα 1.3:** Τελικές χρήσεις κατεργασμένου Νικελίου

Το νικέλιο ακόμη χρησιμοποιείται στη βιομηχανία κεραμικών, στη κατασκευή νομισμάτων, ως χρωστική ουσία σε γυαλιά (πράσινο χρώμα), στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση και για επίστρωση σε άλλα μέταλλα για αντιδιαβρωτική προστασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

#### 2.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ



Τα παγκόσμια αποθέματα κοιτασμάτων νικελίου υπολογίζεται ότι περιέχουν τουλάχιστον 130 εκατομμύρια τόνους νικέλιο.

Το νικέλιο προέρχεται από δύο τύπους κοιτασμάτων:

- 1) Από *θειούχα κοιτάσματα*, τα οποία τυπικώς εμπεριέχουν σιδηρονικελιούχα σουλφίδια (κατά κύριο λόγο πεντλαντίτης  $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ ). Από αυτήν την κατηγορία κοιτασμάτων αντλείται το 40% της παγκόσμιας παραγωγής σε νικέλιο. Κοιτάσματα τέτοιου τύπου υπάρχουν στη Ρωσία, στον Καναδά και στη Δυτική Αυστραλία.
- 2) Από τους *λατερίτες*, από τους οποίους αντλείται το 60% της παγκόσμιας παραγωγής του Νικελίου. Για αυτή την κατηγορία των κοιτασμάτων γίνεται εκτεταμένη αναφορά στο παρόν κεφάλαιο. Το 35% των παγκοσμίων πόρων νικελίου υπολογίζεται ότι περιέχεται στα κοιτάσματα της Ν. Καληδονίας, της Ινδονησίας και των Φιλιππίνων.

(1. Department of Mines and Energy

2. US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries)

## 2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Τα λατεριτικά κοιτάσματα προέρχονται από αποσάρθρωση και διάλυση αργιλοπυριτικών ορυκτών (ιδίως αστρίων, αλλά και πυροξένων εφόσον περιέχουν Al) εκρηξιγενών πετρωμάτων βασικής και εν μέρει όξινης σύστασης - αλλά όχι υπερβασικών γιατί τα τελευταία δεν περιέχουν αστρίους – και μεταμορφωμένων παραγώγων αυτών λόγω επίδρασης ατμοσφαιρικών παραγόντων.

Οι λατερίτες σχηματίζονται σε τροπικά ή υποτροπικά κλίματα με εναλλαγές ξηρών και υγρών περιόδων. Σε κλίματα υγρά (τροπικά ή υποτροπικά) παρατηρείται διαλυτοποίηση και καταστροφή του μητρικού πετρώματος, ενώ οι εναλλαγές ξηρών και υγρών περιόδων προκαλούν καθίζηση των υλικών που παρέμειναν ως προϊόντα διαλυτοποίησης του πετρώματος. [2]

Τα διαλυμένα και αποσαθρωμένα υλικά μεταφέρθηκαν με τη βοήθεια του νερού, καταλήγοντας σε ωκεανούς. Το δε υπόλειμμα συνεχώς εμπλουτιζόταν σε μη διαλυόμενα υλικά. Με τον τρόπο αυτό λάμβανε χώρα συνεχής εμπλουτισμός *in situ* σε ορυκτά μεγάλου ειδικού βάρους με σκοπό τη δημιουργία *αυτόχθονων*

κοιτασμάτων. Η ένταση της λατεριτίωσης εδώ εξαρτάται από τη φύση του αρχικού πετρώματος και τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση που η μεταλλογένεση αυτού του τύπου διακοπεί από τυχόν καταβύθιση στεριάς, είτε τα αυτόχθονα κοιτάσματα θα καλυφθούν από νεότερα ιζήματα, τα οποία θα αποτελέσουν τον οροφή των αυτόχθονων λατεριτικών κοιτασμάτων, είτε θα προκληθεί μεταφορά και απόθεσή τους εκ νέου, μακριά από το μητρικό πέτρωμα, και στη συνέχεια θα καλυφθούν από νεότερα ιζήματα, με σκοπό τη δημιουργία *ετερόχθονων* κοιτασμάτων.

## 2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ

Υπάρχουν δύο τύποι ελληνικών κοιτασμάτων λατεριτικής γένεσης: Οι βωξίτες και τα σιδηρονικελιούχα. Αναλυτικότερα:

### ***Βωξίτες***

Οι βωξίτες είναι λατερίτες πλούσιοι σε  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και φτωχοί σε  $\text{SiO}_2$  και  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Αποτελούνται από μείγματα υδροξειδίων του αργιλίου. Τα υδροξείδια αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ *Βαιμίτης*:  $\gamma. \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- ✓ *Διάσπορο*:  $\alpha. \text{AlOOH}$
- ✓ *Γκιψίτης*:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Οι προσμείξεις που απαντούν στους βωξίτες είναι ο καολινίτης, αλλοϋσίτης, νοντρονίτης, διάφορα οξείδια του σιδήρου (γκαιίτης, λειμωνίτης), αιματίτης, οξείδια του τιτανίου κλπ.

Οι συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό των βωξιτών είναι οι ακόλουθες:

- Τα αρχικά πετρώματα περιέχουν ορυκτά του αργιλίου
- Απαιτείται διαπερατότητα των πετρωμάτων, για την απομάκρυνση του Si με τη βοήθεια του εδαφικού νερού
- Τροπικό – υποτροπικό κλίμα, με σωστό συνδυασμό Eh – pH και με εναλλαγές υγρών – ξηρών περιόδων
- Ήπιο τοπογραφικό ανάγλυφο, που επιτρέπει αφενός την αργή διήθηση του νερού στο έδαφος και αφετέρου τις διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα.
- Ύπαρξη βλάστησης
- Μακρά περίοδος τεκτονικής σταθερότητας

- Υψηλότερος ρυθμός χημικής αποσάρθρωσης από το ρυθμό της διάβρωσης για τη συσσώρευση των προϊόντων της αποσάρθρωσης.

Ακολουθώς αναφέρονται τα τρία στάδια δημιουργίας βωξίτη:

- 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Διάσπαση των αρχικών αργιλοπυριτικών ορυκτών και μετακίνηση αλκαλίων και μερικού πυριτίου και συγκέντρωση (εμπλουτισμό) αργιλίου
- 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Περαιτέρω απομάκρυνση πυριτίου και συγκέντρωση αργιλίου με τη μορφή βαιμίτη και γκιψίτη
- 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Απόθεση ανθρακικών, θειούχων και άλλων ορυκτών προς συμπλήρωση της αρχικής σύστασης του πετρώματος.

Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται οι λατεριτικοί βωξίτες αποτελούν οι: γρανίτες, νεφελινοί συηνίτες, ανορθωσίτες, φωνόλιθοι, βασάλτες, ανδεσίτες, δολερίτες, γάββροι, κερατίτες, σχιστόλιθοι, καολινικές άμμοι και αργιλοκοί σχιστόλιθοι.

Η σύσταση ενός τυπικού βωξίτη φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

*Πίνακας 2.1 (Μαράτος 1972)*

	$FeO$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	$TiO_2$	$H_2O+CO_2$
<b>Περ/τητα (%)</b>	1.10-3.50	50-61.6	15,7-30,0	1,40-4,70	2,30-3,0	9,0-14,6

Οι ελληνικοί βωξίτες έχουν χρώμα καστανέρυθρο λόγω της περιεκτικότητάς τους σε οξειδία του σιδήρου. Επιπλέον, συναντώνται και λευκοί βωξίτες, πλούσιοι σε Al και φτωχοί σε Fe. Οι δύο αυτοί τύποι βωξιτών ενδέχεται να συνυπάρχουν στο ίδιο κοίτασμα. Από άποψη υφής, έχουμε δύο κατηγορίες: τον πισσολιθικό και τον συμπαγή βωξίτη. Ο πισσολιθικός περιέχει περισσότερο σίδηρο.

Κοιτάσματα αυτού του τύπου βρίσκονται στην Αυστραλία, στη Γουϊνέα, στην Ινδία, στη Βραζιλία, στη Βόρειο Ιρλανδία και στις ΗΠΑ. Ελληνικά κοιτάσματα εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές Παρνασσού και Γκιώνας. Μικρότερου ενδιαφέροντος κοιτάσματα εντοπίζονται στο όρος «Κατσίκια» της Χαλκιδικής, στην Αμοργό, καθώς επίσης και στην Κύμη Ευβοίας.

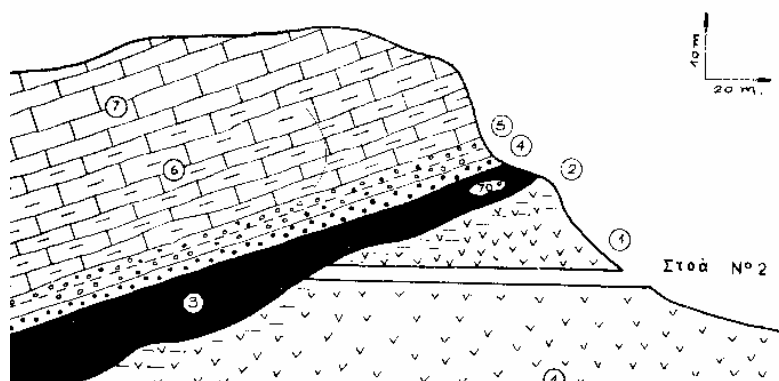
Οι βωξίτες αποτελούν την κύρια πηγή αλουμινίου. Το αργίλιο Al (αλουμίνιο) είναι μέταλλο ελαφρύ, που δε σκουριάζει εύκολα. Σχηματίζονται κράμματα

αλουμινίου με άλλα ελαφρά μέταλλα, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην αεροναυπηγική. Άλλες μη μεταλλουργικές εφαρμογές του Al είναι στη χημική βιομηχανία, στην παρασκευή όξινων πυριμάχων υλικών (δηλαδή πλούσιων σε  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) και στην παρασκευή λειαντικών υλικών.

### ***Σιδηρονικελιούχα***

Κοινό χαρακτηριστικό αυτών των κοιτασμάτων είναι η ταυτόχρονη παρουσία Fe, Ni, Cr και Co, πράγμα που εξηγείται από τον τρόπο γένεσής τους (αποσάρθρωση οφιολίθων). Η γένεσή τους έλαβε χώρα κατά το μηχανισμό της λατεριτίωσης. Σύμφωνα με αυτόν καταστράφηκε το κρυσταλλικό πλέγμα του ολιβίνη και των πυροξένων, των κύριων δηλαδή συστατικών του περιδοτίτη. Μετά τη διάσπαση του ολιβίνη, το πυρίτιο και το μαγνήσιο του τελευταίου απομακρύνθηκαν με τη βοήθεια των εδαφικών υδάτων και, με τον τρόπο αυτό, έλαβε χώρα εμπλουτισμός *in situ* κυρίως σε Fe, αλλά και σε Mg και Ni, στοιχεία τα οποία περιέχονται σε πολύ μικρές ποσότητες στο πλέγμα του ολιβίνη. Το δε Cr περιέχεται στον περιδοτίτη υπό μορφή χρωμίτη και κυρίως δουνίτη.

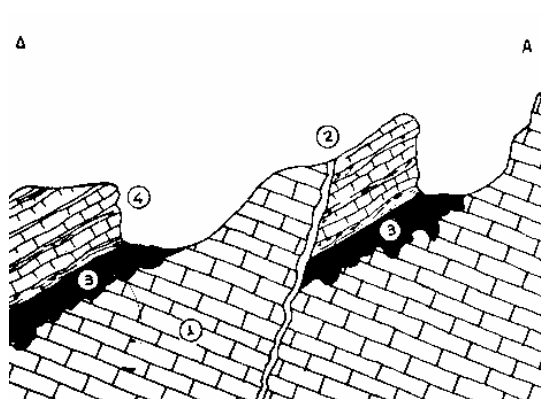
Η πορεία της λατεριτίωσης διακόπηκε από την καταβύθιση της στεριάς και την επίκλυσή της από τη θάλασσα, με αποτέλεσμα τα λατεριτικά κοιτάσματα να καλυφθούν από ασβεστολίθους. Όσα από τα λατεριτικά κοιτάσματα απλώς καλύφθηκαν και παρέμειναν στο αρχικό πέτρωμα χαρακτηρίζονται ως *αυτόχθονα* (Σχήμα 2.1). Ιδιομορφία των κοιτασμάτων αυτών είναι η παρουσία δύο οριζόντων διαφορετικής υφής και περιεκτικότητας σε μέταλλα. Ο ανώτερος ορίζοντας είναι πηλολιθικός, φτωχότερος σε Ni και πλουσιότερος σε Fe. Ο δέ κατώτερος, αντίθετα, είναι φτωχότερος σε Fe και πλουσιότερος σε Ni. Μεταξύ των δύο οριζόντων παρατηρείται σταδιακή μετάβαση, χωρίς ωστόσο να υπάρχει σαφές διαχωριστικό όριο. Αυτόχθονα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα στον Ελληνικό χώρο βρίσκονται σε περιοχές της Τσούκας και του Λουτσίου στη Λοκρίδα, καθώς επίσης στην Κεντρική Εύβοια και στη Σκύρο, ενώ μικρότερα κοιτάσματα συναντώνται στις περιοχές Έδεσσα, Πάρνηθα, Μυτιλήνη και Κοζάνη.



**Σχήμα 2.1 : Αυτόχθονο Σιδηρονικελιούχο Κοίτασμα (Μαράτος 1972)**

1. Σερπεντίνης 2. Λατεριωμένος Σερπεντίνης 3. Σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα (Συμπαγές) 4. Σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα (πισσολιθικό) 5. Κροκκαλοπαγής κατώτερος ορίζοντας κρητιδικού καλύμματος 6. Μαργαϊκός ασβεστόλιθος 7. Σιφρός ασβεστόλιθος (ανώτερος ορίζοντας κρητιδικού καλύμματος)

Άλλα πάλι λατεριτικά κοιτάσματα υπέστησαν μετακίνηση λόγω επίδρασης εξωτερικών παραγόντων και εκ νέου απόθεση πάνω σε ασβεστολίθους του ιουρασικού ή του τριαδικού μέσα σε παρακείμενες λεκάνες. Τα κοιτάσματα αυτά χαρακτηρίζονται ως *ετερόχθονα*. Τέτοια κοιτάσματα είναι εκείνα της Λάρυμνας, του Μαρμέικου κλπ στη Λοκρίδα. (Σχήμα 2.2)



**Σχήμα 2.2 : Ετερόχθονο Σιδηρονικελιούχο Κοίτασμα (Μαράτος 1972)**

1. Τριαδικοί ασβεστόλιθοι 2. Μετάπτωση 3. Χρωμονικελιούχο σιδηρομετάλλευμα 4. Ανωκρητιδική σειρά εναλλασσόμενων μαργών και ασβεστολίθων

Παράγοντες που επηρέασαν στη γένεση και στην κατανομή των κοιτασμάτων αυτών είναι οι ακόλουθοι:

- Πετρογραφικός παράγοντας (παρουσία οφιολίθων)
- Τεκτονικός παράγοντας (πτύχωση και δημιουργία χέρσου επί μεγάλες περιόδους)

- Παλαιογεωγραφικός παράγοντας (κατανομή στεριάς και θάλασσας κατά το Άνω Κρητιδικό).

Ο τελευταίος παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος, διότι αφενός έκλεισε τον κύκλο των μεταλλογενετικών φαινομένων και αφετέρου σήμερα αποτελεί καθοδηγητικό ρόλο για την αναζήτηση σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων. Έτσι, στις μέρες μας είναι γνωστό αφενός ότι εκτάσεις οι οποίες καλύπτονται στην οροφή τους από ανω-κρητιδικούς ασβεστολίθους στην Υποπελαγονική ζώνη είναι πιθανές εκτάσεις μεταλλοφορίας και αφετέρου ότι για την αναζήτηση σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων αποκλείονται οι περιοχές στη γεωλογική σύσταση των οποίων δε συμμετέχει στο πάνω μέρος ο ασβεστόλιθος.

Κύρια ορυκτολογικά συστατικά των σιδηρονικελιούχων είναι ο γκαιτίτης ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), ο λεπιδοκροκίτης ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) και σε μικρότερα ποσοστά ο χρωμίτης ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) και ο μαγνητίτης ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Τα δύο πρώτα ορυκτά προήλθαν από τη λατεριτίωση, ενώ τα δύο τελευταία υπήρχαν εντός του περιδοτίτη. Κατά κανόνα, λόγω δευτερογενούς μετακίνησης, το μέταλλευμα κοντά στο υποκείμενο στρώμα είναι πλούσιο σε Ni, το οποίο συναντάται ως πιμελίτης, γαρνιερίτης και κολλοειδές πυριτικό νικέλιο. Σε περίπτωση ελαφράς μεταμόρφωσης συναντάται και ο αιματίτης ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) και ο μαγγελμίτης ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζεται τα όρια διακυμάνσεως περιεκτικότητας στα χρήσιμα συστατικά των κοιτασμάτων της Λοκρίδας:

**Πίνακας 2.2 (Μαράτος 1972):** Όρια κυμάνσεως Περιεκτικότητας στα χρήσιμα στοιχεία των κοιτασμάτων της Λοκρίδας

Στοιχείο/ Ένωση	Περιεκτ/τα (%)
Fe	47.5-51.5
Ni	0.8-1.0
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	2.0-2.7
$\text{Al}_2\text{O}_3$	6.0-14.0
$\text{SiO}_2$	8.0-10.0

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥ ΑΠΟ ΛΑΤΕΡΙΤΗ

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ MOUSOULOS – LARCO

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στην Ελλάδα για λογαριασμό της ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ. Εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις της εν λόγω εταιρείας στην περιοχή της Λοκρίδας, με σκοπό την αξιοποίηση των Ελληνικών λατεριτικών κοιτασμάτων. Πρόκειται για πυρομεταλλουργική κατεργασία, βάση της οποίας αποτελεί η εκλεκτική αναγωγή του μεταλλεύματος.

Οι ελληνικοί λατερίτες διαφέρουν από τους υπόλοιπους στη σχετικά χαμηλότερη περιεκτικότητά τους σε νερό και στη σχετικά υψηλότερη σε  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Η μέθοδος LM εκτός από την αξιοποίηση των ιδιόρρυθμων ελληνικών κοιτασμάτων μπορεί να καλύψει όλους τους τύπους λατεριτικών μεταλλευμάτων.

Το μετάλλευμα, θραύεται και αναμειγνύεται με συγκεκριμένη ποσότητα στερεού καυσίμου (λιγνίτης, γαιάνθρακας). Οδηγείται σε περιστροφικό κλίβανο, όπου υποβάλλεται σε ελεγμένη ανθρακοθερμική αναγωγή, μια προαναγωγή ουσιαστικά των οξειδίων Ni καθώς επίσης και μέρος των οξειδίων του σιδήρου. Στην έξοδο του κλιβάνου υπάρχει καυστήρας μαζούτ, με σκοπό την υποβοήθηση της θέρμανσης του μεταλλεύματος, ενώ στα πλάγια της καμίνου υπάρχουν φυσητήρες, απ' όπου τροφοδοτείται αέρας. Η θερμοκρασία του μεταλλεύματος φτάνει τους 850-900°C.

Τα καυσαέρια της καμίνου παρασύρουν λεπτή σκόνη, η οποία συλλέγεται σε φίλτρα και κατόπιν μορφοποιείται σε pellets τα οποία ανακυκλώνονται στην περιστροφική κάμινο.

Το προϊόν των περιστροφικών καμίνων εν συνεχεία υποβάλλεται σε μία επιπλέον αναγωγή των οξειδίων του Fe σε ηλεκτρικές καμίνους αναγωγικής τήξης, όπου μεταφέρεται από την περιστροφική κάμινο μέσω κάδων γερανογεφύρων. Από εκεί παραλαμβάνεται σιδηρονικελιούχο προϊόν και σκωρία. Το σιδηρονικελιούχο προϊόν έχει θερμοκρασία 1500°C και περιεκτικότητα 14% σε Ni. Η σκωρία αποβάλλεται με θερμοκρασία 1400°C, ψύχεται και συγχρόνως σφαιροποιείται.

Το σιδηρονικελιούχο προϊόν στη συνέχεια οδηγείται σε μεταλλάκτες, όπου γίνεται εμλουτισμός του σιδηρονικελίου και ταυτόχρονα καθαρίζεται από θείο και

φώσφορο. Με εμφύσηση οξυγόνου – προπανίου, μέρος του σιδήρου φεύγει ως σκωρία, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του μείγματος σε Ni.

Η σκωρία που παράγεται εδώ από απόχυση και ψύξη θραύεται, με σκοπό την ανάκτηση του μηχανικώς παρασυρόμενου μετάλλου έπειτα από μαγνητικό διαχωρισμό. Η δε μεταλλική φάση που παράγεται στο στάδιο αυτό, αποτελεί και το τελικό προϊόν προς πώληση, με περιεκτικότητα σε Ni 20-25 %, ανάλογα με τις ζητούμενες προδιαγραφές.

Συνοψίζοντας, η μέθοδος αξιοποίησης λατεριτικών μεταλλευμάτων περιλαμβάνει τις εξής φάσεις (Σκλαβούνος 1999):

1. Ελεγχμένη αναγωγή του μεταλλεύματος.
2. Τήξη σε σιδηρονικέλιο (22-25% Ni)
3. Καθαρισμό και εμπλουτισμό του κράματος (25-30% Ni)

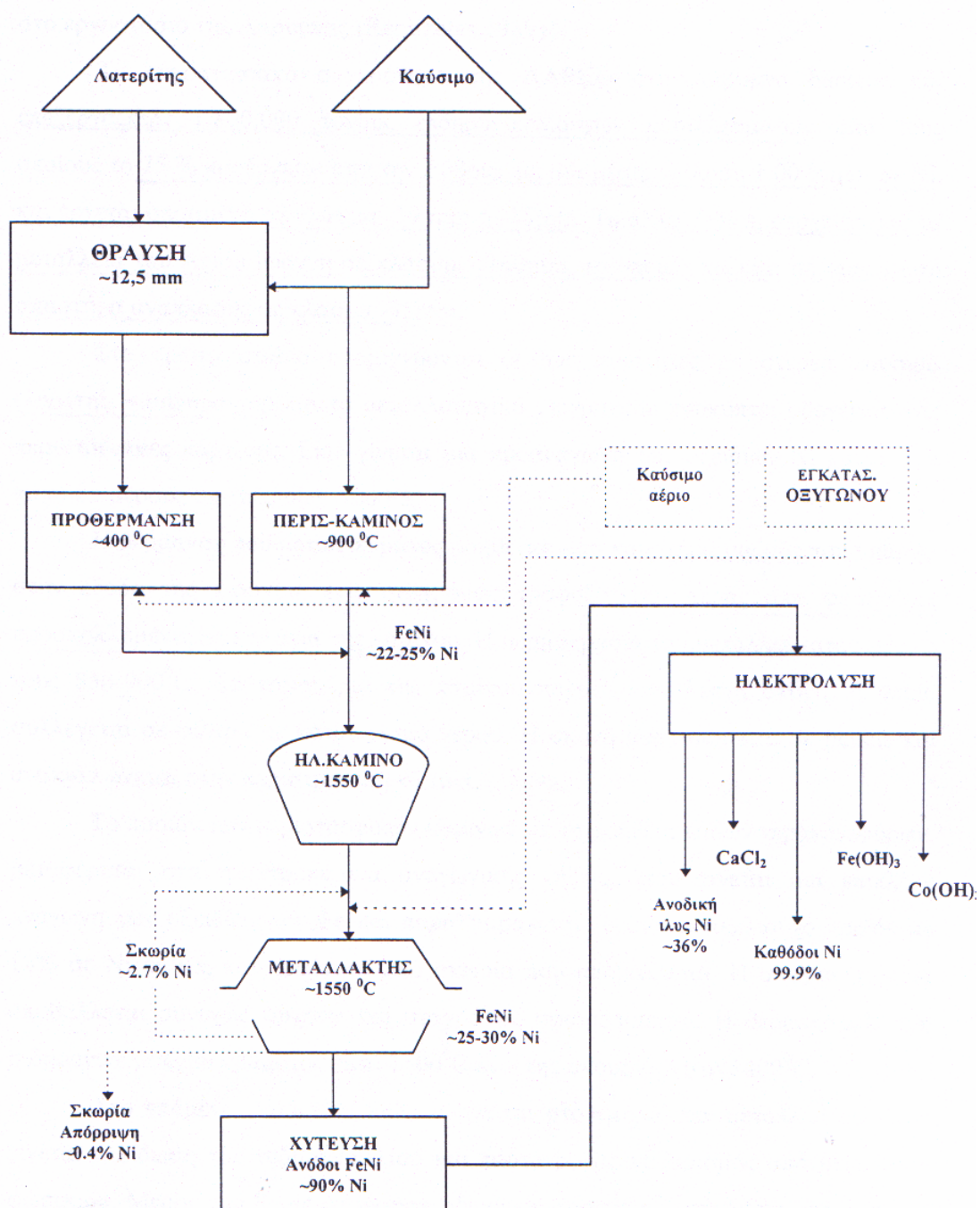
Εφόσον επιζητείται καθαρό νικέλιο:

4. Παρασκευή ανόδων (90% Ni)
5. Ηλεκτρόλυση

Στο Σχήμα 3.1 παριστάνεται διαγραμματικά η μεταλλουργική μέθοδος LM [11].



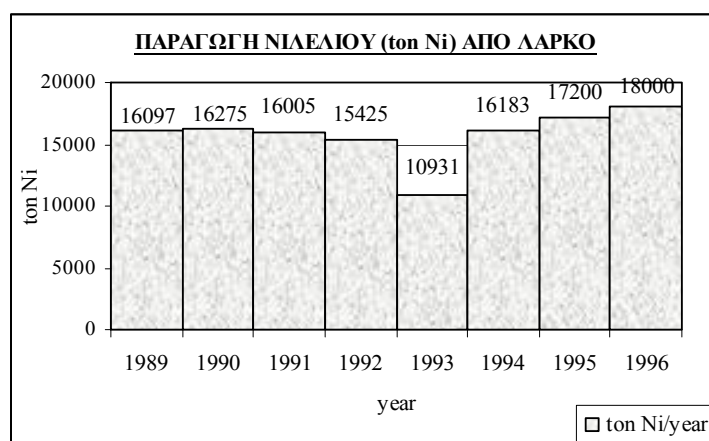
ΜΕΘΟΔΟΣ L. M.  
FeNi ( 90 % Ni + Co)



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα παραγωγής καθαρού Ni από λατερίτη – μέθοδος LM [11]

### 3.4 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΜΙΝΕΥΣΗ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

Η συνολική ετήσια παραγωγή της ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ ανέρχεται στους 17,000 τόνους Ni, οι οποίοι προέρχονται από 1,800,000 τόνους λατερίτη. Η παραγωγή αυτή αντιστοιχεί στο 2-3% της παραγωγής του Δυτικού κόσμου. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται η παραγωγή του νικελίου της ΛΑΡΚΟ για τα έτη 1989-1996 [3].



Σχήμα 3.2: Παραγωγή Ni της ΛΑΡΚΟ για τα έτη 1989-1996 (Δρακάκης 2000)

Τα προϊόντα που παράγει η ΛΑΡΚΟ μετά από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι τα ακόλουθα:

1. *Κονιοποιημένο σιδηρονικέλιο (FeNi) με 18-20% Ni*, το οποίο παράγεται από τους μεταλλάκτες οξυγόνου. Ακόμη, ελεύθερο άνθρακα, ο οποίος έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο. Το FeNi αποτελεί το τελικό προϊόν της ΛΑΡΚΟ. Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε C, S, P και της υψηλής περιεκτικότητάς του σε Fe (~80%) θεωρείται κατάλληλο για την παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα. Για το λόγο αυτό εξάγεται στις ευρωπαϊκές χαλυβουργίες ανοξειδωτου χάλυβα
2. *Σκωρία από τις ηλεκτρικές καμίνους παραγωγής*: Παράγεται σε ποσότητα 1,700,000 t/y. Χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία και αποτελεί άριστο προϊόν για αμμοβολή και επίστρωση δρόμων. Το 60% της ποσότητας αυτής εξάγεται, ενώ το υπόλοιπο 40% διατίθεται στο εσωτερικό.

3. Σκωρία από τους μεταλλάκτες: Παράγεται σε ποσότητα 70,000 t/y. Αποτελεί άριστο προϊόν για βαρύ σκυρόδεμα το οποίο χρησιμοποιείται στην πάκτωση αντλητικών νησίδων πετρελαίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

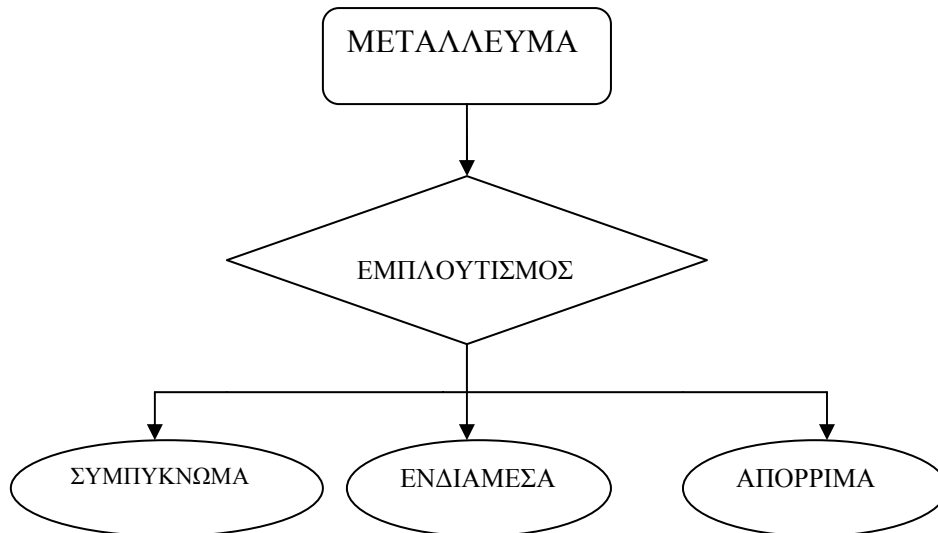
#### 4.5 ΓΕΝΙΚΑ

Εμπλουτισμός μεταλλεύματος ονομάζεται το σύνολο των διεργασιών που πρέπει να υποστεί ένα μετάλλευμα ώστε να διαχωριστεί το χρήσιμο ορυκτό από τα συνυπάρχοντα στείρα ορυκτά. [12].

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με διάφορες μεθόδους οι οποίες εκμεταλλεύονται τις διαφορές φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του χρήσιμου και των στείρων ορυκτών. Έτσι, με τη βοήθεια ειδικά σχεδιασμένων μηχανών παράγονται:

1. Το *συμπύκνωμα*, που είναι το προϊόν εμπλουτισμένο στο χρήσιμο ορυκτό.
2. Το *απόρριμμα*, που είναι το απορριπτόμενο στείρο υλικό της διεργασίας και περιέχει τις «βλαπτικές» ενώσεις.
3. Ένα *ενδιάμεσο* προϊόν, το οποίο δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε ως συμπύκνωμα ούτε ως απόρριμμα. Ανάλογα με την εφαρμοζόμενη διεργασία, είτε θα διαχωρισθεί στα δύο κύρια προϊόντα (συμπύκνωμα – απόρριμμα), είτε θα οδηγηθεί προς το ένα ή προς το άλλο, σε ποσοστό που ορίζουν οι προδιαγραφές της τελικής του χρήσης.

Τα παραπάνω παριστάνονται διαγραμματικά στο Σχήμα 4.1.



**Σχήμα 4.1:** Σχηματική παράσταση απλού διαχωρισμού και τελικών προϊόντων.

Οι κυριότερες ιδιότητες που εκμεταλλεύεται ο εμπλουτισμός για το διαχωρισμό των ορυκτών μεταξύ τους είναι οι διαφορές στη μορφή (σχήμα, μέγεθος), στην όψη (χρώμα, λάμψη), στο ειδικό βάρος, στις ιδιότητες των επιφανειών, στη μαγνητική επιδεκτικότητα, στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και στις χημικές ιδιότητες των ορυκτών. Ενδέχεται όμως, μέσα από κάποια άλλη διαδικασία η οποία προηγείται του τελικού εμπλουτισμού, να δημιουργηθεί μία τεχνητή διαφοροποίηση κάποιας ιδιότητας μεταξύ των προς διαχωρισμό ορυκτών (πχ μετατροπή σιδηροπυρίτη σε πυρροτίτη)

Η τεχνολογία του εμπλουτισμού διακρίνεται σε τρεις κύριες φάσεις, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. *Κατάτμηση*, δηλαδή θραύση ή λειοτριβήση, ανάλογα με τον απαιτούμενο βαθμό αποδέσμευσης.
2. *Ταξινόμηση κατά μεγέθη*, ανάλογα με το μέγεθος αποδέσμευσης της μεθόδου εμπλουτισμού ή της τελικής εφαρμογής του χρήσιμου ορυκτού.
3. *Συγκέντρωση*, δηλαδή η εφαρμογή μεθόδων εμπλουτισμού και η παραγωγή προϊόντων.

Με τον εμπλουτισμό επιτυγχάνεται:

1. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων χαμηλής περιεκτικότητας
2. Απομάκρυνση βλαπτικών προσμείξεων, οι οποίες δυσχεραίνουν τη μεταλλουργική επεξεργασία.

3. Εκμετάλλευση σύμμεικτων μεταλλευμάτων, μέσω εκλεκτικού διαχωρισμού μεταξύ καθενός από αυτά και του στείρου.
  4. Θραύση του μεταλλεύματος και ταξινόμησή του σε μεγέθη κατάλληλα προς μεταλλουργική επεξεργασία ή άλλη βιομηχανική χρήση.
- [20]

#### **4.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

Όπως προαναφέρθηκε, στη χώρα μας η εκμετάλλευση των λατεριτικών κοιτασμάτων γίνεται από την εταιρεία «Γενική Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Ανώνυμος Εταιρεία ΛΑΡΚΟ». Στη ΛΑΡΚΟ, για την παραγωγή ενός τόνου νικελίου απαιτούνται 120 t μεταλλεύματος, 26 t λιθάνθρακα και λιγνίτη καθώς επίσης και ποσότητες πυριμάχων, οξυγόνου, προπανίου, αζώτου και σκραπ. Η δε απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή της ποσότητας αυτής ανέρχεται σε 55,000 kWh [3].

Η περιεκτικότητα σε  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  και  $\text{MgO}$  της τροφοδοσίας της ηλεκτροκαμίνου καθορίζει το σημείο τήξης της σκωρίας σε αυτή.

Ο τύπος της ηλεκτρικής καμίνου που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από το σημείο τήξης της σκωρίας σε σχέση με αυτό του μετάλλου. Έτσι, εάν το σημείο τήξης της σκωρίας είναι μικρότερο του σημείου τήξης του μετάλλου, τότε επιλέγεται ο ανοικτός τύπος ηλεκτρικής καμίνου. Στην αντίθετη περίπτωση επιλέγεται ο κλειστός, ο οποίος πλεονεκτεί έναντι του ανοικτού λόγω των λιγότερων θερμικών απωλειών.

Λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε νικέλιο (1,0 -1,1%) στην τροφοδοσία του μεταλλουργικού εργοστασίου, το κόστος της επεξεργασίας είναι μεγάλο και η ποσότητα της παραγόμενης σκωρίας ανέρχεται σε εκατομμύρια τόνους ετησίως. Συγκεκριμένα, το βάρος της παραγόμενης σκωρίας είναι πρακτικά 20 φορές το βάρος του παραγόμενου κράματος σιδηρονικελίου [17]. Δεδομένου ότι ο εμπλουτισμός πριν τη μεταλλουργική επεξεργασία αποσκοπεί στην αύξηση της περιεκτικότητας σε Ni του μεταλλεύματος, είναι φανερό η σημασία του, αφού, όσο εμπλουτίζεται η τροφοδοσία σε νικέλιο, τόσο μεγαλώνει η παραγωγή και μικραίνει το κόστος επεξεργασίας ανά μονάδα παραγόμενου νικελίου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο εμπλουτισμός πριν τη μεταλλουργική επεξεργασία στοχεύει:

1. Στην αναβάθμιση της ποιότητας του μεταλλεύματος σε περιεκτικότητα νικελίου
  2. Στην απόρριψη στείρου υλικού, το οποίο περιέχει την ελάχιστη ανάλυση σε νικέλιο
  3. Στην επιλογή της οικονομικότερης μεθόδου εμπλουτισμού
- [3]

***Προβλήματα που δημιουργούνται κατά τον εμπλουτισμό του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος:***

Οι προσπάθειες εμπλουτισμού του μεταλλεύματος με τις μεθόδους μαγνητικού διαχωρισμού και βαρέων διαμέσων σε μέγεθος κόκκου 1-30 mm δεν έχουν δώσει επιθυμητά αποτελέσματα και χρησιμοποιούνται μόνο για μερική αναβάθμιση, ώστε η περιεκτικότητα νικελίου να μην πέσει κάτω από 1,0-1,1% [14].

Φορέας του νικελίου είναι κυρίως τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά, στα οποία το νικέλιο απαντά σε περιεκτικότητα 5-6% (βλέπε κεφάλαιο 5). Το πρόβλημα εμπλουτισμού των ορυκτών αυτών είναι ότι δεν αποτελούν καλώς αποδεσμευμένες φάσεις μέσα στο μέταλλευμα. Τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά βρίσκονται σε αυθονία στη συνδετική ύλη του μεταλλεύματος. Η συνδετική αυτή ύλη έχει μικρότερη μηχανική αντοχή από τους δομικούς λίθους, με αποτέλεσμα κατά τη θραύση του μεταλλεύματος να παράγονται πολλά ψιλά, τα οποία είναι πλουσιότερα σε νικέλιο. Στα χονδρά (κλάσμα +1 mm) αποδεσμευμένοι είναι μόνο οι πισσόλιθοι, ένα σχετικά μικρό ποσοστό χαλαζία και ο ασβεστόλιθος.

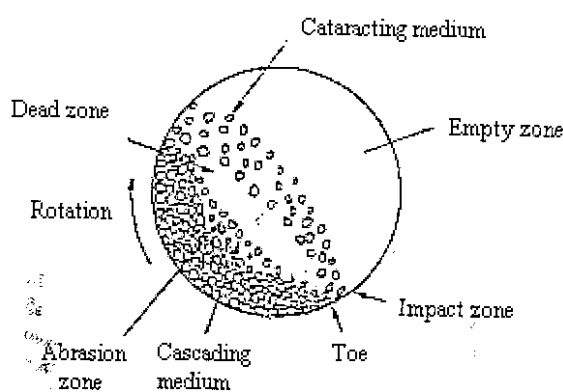
Το αποτέλεσμα είναι ότι ο εμπλουτισμός σε μεγέθη +1 mm με μαγνητικό διαχωρισμό ή βαρέα διάμεσα απομακρύνει μόνο ένα μικρό ποσοστό του χαλαζία και σχεδόν όλο τον ασβεστίτη. Η απομακρυνόμενη μάζα είναι μόλις το 10 – 15% του συνόλου και επομένως τα αποτελέσματα είναι οριακά. [17].

### 4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 4.3.1 ΑΥΤΟΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ

Η αυτογενής λειοτρίβηση αποτελεί μια ολοκληρωμένη μορφή διεργασίας κατά την οποία επιτελούνται όλες οι φάσεις κατατμήσεως. Η τροφοδοσία εισέρχεται στο μύλο σε μεγέθη -300 ή -200 mm και εξέρχεται ως προϊόν μεγέθους 0.1 mm.

Η αυτογενής λειοτρίβηση διενεργείται εντός κυλίνδρου (μύλου) σχετικά μεγάλης διαμέτρου, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του. Κατά την περιστροφή του μύλου τα μεγάλα τεμάχια του μεταλλεύματος είτε ανυψώνονται μέχρι που κυλίνουν επί του μεταλλεύματος, είτε ανυψώνονται περισσότερο μέχρι του σημείου που πέφτουν ελεύθερα προς τα κάτω και κατακρημνίζονται, ακολουθώντας παραβολική τροχιά (βλέπε Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Κίνηση φορτίου εντός περιστρεφόμενου μύλου [12]

Οι κυριότερες δυνάμεις που ασκούνται στους κόκκους του μεταλλεύματος είναι οι δυνάμεις κρούσης και οι δυνάμεις τριβής. Οι δυνάμεις κρούσης προέρχονται από την ελεύθερη πτώση των μεγάλων τεμαχιδίων, ενώ οι δυνάμεις τριβής από την σύγκρουση των τεμαχιδίων μεταξύ τους.

Συνήθως οι μύλοι περιστρέφονται με συχνότητα 60-80% της κρίσιμης συχνότητας  $N_c$ . Η κρίσιμη συχνότητα εξαρτάται μόνο από τη ρίζα της διαμέτρου του μύλου ( $\sqrt{D}$ ), σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \text{ (rpm)} \quad (4.1)$$



, όπου το  $D$  σε m. Κατά την κρίσιμη συχνότητα περιστροφής τα μεγάλα τεμάχια φθάνουν στο υψηλότερο σημείο που θα μπορούσαν να φθάσουν.

Για συχνότητες περιστροφής μεγαλύτερες ή ίσες με  $N_c$  (γρήγορη περιστροφή) τα μεγάλα τεμάχια δεν πέφτουν και παραμένουν συνεχώς προσκολλημένα στο κέλυφος του μύλου. Συνεπώς, αφενός δε γίνεται λειοτρίβηση μέσα στο μύλο, αφετέρου το κέλυφος φθείρεται.

Σε μικρές συχνότητες περιστροφής δεν έχουμε ελεύθερη πτώση των μεγάλων τεμαχίων του μεταλλεύματος, αλλά οι κόκκοι του τελευταίου κυλίνονται μεταξύ τους. Οι συχνότητες αυτές δεν είναι αποδοτικές και δημιουργούν πολλά ψιλά.

Σε κανονική λειτουργία του μύλου έχουμε πτώση των μεγάλων τεμαχίων του μεταλλεύματος, η οποία δημιουργεί κρούση και κατάτμησή τους.

Η κίνηση των κόκκων του μεταλλεύματος εντός του μύλου υποβοηθείται από την παρουσία νερού. Το νερό στην υγρή πλέον αυτολειοτρίβηση πρέπει να περιέχεται σε ποσότητα 30-40%. Περισσότερο νερό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτομερέστερου προϊόντος.

Γενικά, σε σχέση με τους σφαιρόμυλους, η αυτογενής λειοτρίβηση είναι πιο ήπια. Έτσι, εάν το υλικό έχει σαφή κρυσταλλική δομή, τότε, κατά την αυτολειοτρίβησή του τείνει να σπάσει στα όρια των κρυστάλλων, οι οποίοι αποδесμεύονται χωρίς να κατακερματίζονται, με αποτέλεσμα να παράγεται ομοιόμορφο υλικό στο μέγεθος των κρυστάλλων με λίγα ψιλομερή. Στην περίπτωση όμως που το υλικό ομοιάζει με άμορφη μάζα, τα ψιλά που δημιουργούνται είναι πολλά.

Όπως προαναφέρθηκε, οι μύλοι αυτογενούς λειοτρίβησης αποτελούν ολοκληρωμένες μορφές μηχανημάτων θραύσεως και λειοτρίβησης. Αυτό τους κάνει να πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων συσκευών κατατμήσεως, μειώνοντας κατά πολύ το αρχικό κόστος επένδυσης, το κόστος εργατικών και το κόστος από τη φθορά των μέσων λειοτρίβησης. Μειονεκτούν όμως έναντι άλλων συμβατικών μηχανών συνδυασμού σπαστήρων και σφαιρομύλων, επειδή έχουν αυξημένο κόστος ενέργειας κατά 25 έως και 100%.

Γενικά, οι μύλοι αυτογενούς λειοτρίβησης σχεδιάζονται για μεγάλες παροχές και έχουν δυναμικότητα 500-800 t/h και ισχύ 6-8 MW.

#### 4.3.2 ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ

Η μέθοδος των βαρέων υγρών αποτελεί μια βαρυτομετρική μέθοδο 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 ειδικό βάρος.

Η μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, των οποίων τα ειδικά βάρη αυξάνουν προοδευτικά. Έτσι, το μέταλλευμα διαχωρίζεται σε κλάσματα διαφόρων ειδικών βαρών. Στον πίνακα 4.1 φαίνονται τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα βαρέα υγρά.

*Πίνακας 4.1: Τα συνηθέστερα βαρέα υγρά και οι πυκνότητές τους*

Βαρύ υγρό	Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> )
Τετραβρωμιούχος ασετυλίνη (CH <sub>2</sub> Br <sub>3</sub> )	2.904
Διάλυμα Thoulet	3.196
Ιωδιούχο μεθυλένιο (CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub> )	3.32
Διάλυμα Clerici	4.5

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 gr/cm<sup>3</sup>. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις ορυκτών με μεγάλη πυκνότητα, διότι το βαρύτερο υγρό του οποίου γίνεται χρήση έχει μέγιστη πυκνότητα 4,5 gr/cm<sup>3</sup> (Διάλυμα Clerici – Πίνακας 4.1). Τα βαρέα υγρά είναι μεν επαναχρησιμοποιήσιμα, αλλά από την άλλη είναι και πολύ ακριβά. Για το λόγο αυτό η μέθοδος των βαρέων υγρών περιορίστηκε σε εργαστηριακές δοκιμές και έχει περιορισμένη χρήση.

### 4.3.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Ο μαγνητικός διαχωρισμός αποτελεί μέθοδο εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται για την ανάκτηση των χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από τα στείρα μη μαγνητικά.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται με έλξη των μαγνητικών τεμαχίων από το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη και συγχρόνως την πρακτικά ανεπηρέαστη διέλευση των μη μαγνητικών διά μέσου του πεδίου αυτού. Ανάλογα με τη συμπεριφορά των υλικών σε ένα μαγνητικό πεδίο διακρίνονται τρεις κατηγορίες υλικών:

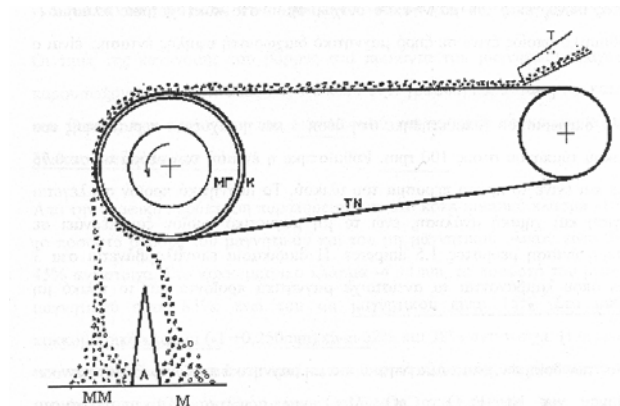
1. *Ισχυρώς μαγνητικά ή σιδηρομαγνητικά υλικά:* Τα υλικά αυτά έλκονται ισχυρώς από έναν μαγνήτη
2. *Ελαφρώς μαγνητικά ή παραμαγνητικά υλικά:* Έλκονται κατόπιν εφαρμογής ισχυρού μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου αυξάνει.
3. *Μη μαγνητικά ή διαμαγνητικά υλικά:* Τα υλικά αυτά θεωρητικά απωθούνται από τις μαγνητικές γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου εξασθενεί. Στην πράξη όμως οι απωθητικές αυτές δυνάμεις είναι πολύ μικρές, με αποτέλεσμα τα διαμαγνητικά υλικά πρακτικά να διαγράφουν τροχιά ανεπηρέαστη από το μαγνητικό πεδίο.

Ο σίδηρος και το νικέλιο συγκαταλέγονται στα σιδηρομαγνητικά υλικά. Μαγνητική συμπεριφορά στο μέταλλο μας εμφανίζουν τα ορυκτά που περιέχουν σίδηρο, όπως ο αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ο γκαιτίτης ( $\text{FeO-OH}$ ) και ο χρωμίτης ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ). Στα μη μαγνητικά ορυκτά συγκαταλέγονται ο σερπεντίνης ( $\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$ ), ο χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ).

Το ποσοστό του μαγνητικού συστατικού καθορίζει τη μαγνητική ιδιότητα κάθε ενδιάμεσου κλάσματος. Η δε ένταση του μαγνητικού πεδίου καθορίζει την καθαρότητα του συμπυκνώματος ή την ανάκτηση σε μέταλλο.

Οι συσκευές στις οποίες λαμβάνει χώρα ο μαγνητικός διαχωρισμός ονομάζονται μαγνητικοί διαχωριστές. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μαγνητικών διαχωριστών. Για την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο: ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm – Roll) (σχήμα 4.3) και ο ξηρός

μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH (13) 111-5 της Capco) (Σχήμα 4.4).



**Σχήμα 4.3:** Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (PermRoll)

*T:* Τροφοδοσία

*MM:* Μη μαγνητικό

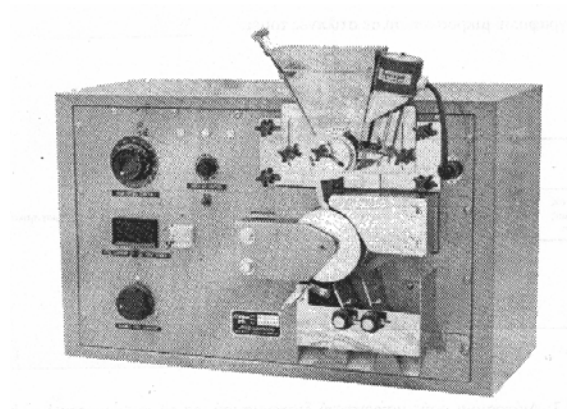
*M:* Μαγνητικό

*K:* Περιστρεφόμενο μαγνητικό τύμπανο

*MG:* Ομοιοπολικός μαγνήτης

*TN:* Μεταφορική ταινία

*A:* Λεπίδες διαχωρισμού



**Σχήμα 4.4:** Ξηρός Μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (Induced Roll)

Η κρίσιμη συχνότητα περιστροφής μαγνητικού τυμπάνου δίνεται από τον τύπο:

$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} \quad (4.2)$$

(Σταμπολιάδης 2003)

, όπου  $N_c$ : Κρίσιμη ταχύτητα [RPM]

$g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας [ $\text{m/sec}^2$ ]

$R$ : ακτίνα τυμπάνου [m]

#### 4.3.5 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Ο φυγοκεντρικός διαχωριστής που χρησιμοποιήθηκε είναι η συσκευή Falcon SB40 (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Falcon SB40

Το Falcon λειτουργεί ως εξής: Η τροφοδοσία εισέρχεται στο Falcon υπό μορφή πολφού από το επάνω μέρος. Ο διαχωρισμός λαμβάνει χώρα σε ένα κωνικό δοχείο, ψηλά και περιμετρικά του οποίου υπάρχουν αυλάκια, τα οποία περιέχουν μικρές οπές. Το κωνικό δοχείο περιστρέφεται και μαζί του και ο πολφός. Η περιστροφική αυτή κίνηση του πολφού ωθεί τους κόκκους να ακολουθήσουν μια ανοδική πορεία. Το βαρύ κλάσμα παγιδεύεται στα αυλάκια, ενώ το λεπτό συνεχίζει την ανοδική του πορεία, προσπερνώντας τα τελευταία και οδεύοντας προς την απορροή απ' όπου συλλέγεται ως απόρριμμα. Η ποσότητα του βαρέος υλικού που παγιδεύεται στα αυλάκια είναι συγκεκριμένη (~100 g). Με τη βοήθεια των οπών διοχετεύεται στα αυλάκια νερό υπό πίεση, διατηρώντας έτσι μία κινητικότητα των βαριών κόκκων στην παραπάνω περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο συγκρατούνται οι βαριοί κόκκοι μέσα στα αυλάκια. Όταν στα αυλάκια κατακρατηθεί συγκεκριμένη ποσότητα βαρέος υλικού διακόπτεται η διαδικασία και λαμβάνουμε το βαρύ κλάσμα καθαρίζοντας προσεκτικά το δοχείο.

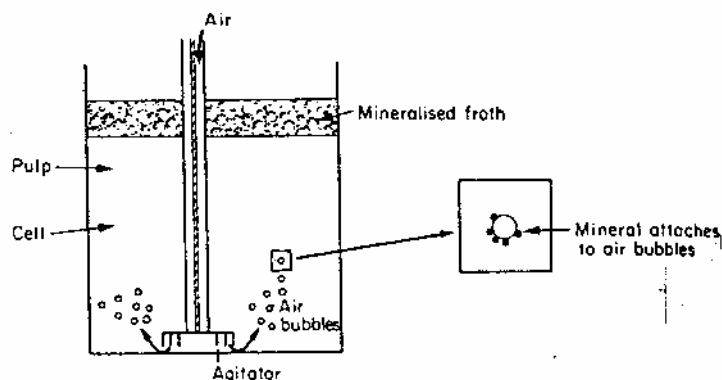
Η τροφοδοσία του Falcon είναι πολφός μεταλλεύματος μέγιστης πυκνότητας 70% σε στερεά. Το μέγιστο μέγεθος κόκκων τροφοδοσίας είναι 6 mm, αλλά προτεινόμενη κοκκομετρία από τον κατασκευαστή είναι 2 mm.

Βασική χρήση του Falcon είναι η ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων, συμπεριλαμβανομένων και των Au, Ag, Pt. Το Falcon μπορεί να δώσει συμπυκνώματα υψηλής περιεκτικότητας σε χρήσιμο μέταλλο, ακόμα και >99% κ.β.

#### **4.3.5 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ**

Η επίπλευση αποτελεί φυσικοχημική μέθοδο εμπλουτισμού κατά την οποία επιδιώκεται η εκλεκτική συγκέντρωση μεταλλεύματος ή ορυκτού εντός του νερού και ο διαχωρισμός του τελευταίου από τα στεία με τη βοήθεια φυσαλίδων αέρα [20]. Το μέγεθος του προς επίπλευση μεταλλεύματος είναι συνήθως μικρότερο από 0.3 mm και κατά κανόνα προέρχεται από υγρή λειοτριβήση τροφοδοσίας.

Η λειτουργία της μεθόδου περιγράφεται από το σχήμα 4.6. Το μέταλλευμα σε πρώτη φάση λειοτριβείται εν υγρώ. Στη συνέχεια στον πολφό του μεταλλεύματος προστίθενται τα κατάλληλα αντιδραστήρια και κατόπιν ο πολφός εισέρχεται στην κυψέλη της επίπλευσης. Μέσα στην κυψέλη υπάρχει ένας αναδευτήρας, προκειμένου να κρατώνται τα στερεά εν αιωρήσει. Με τη βοήθεια του άξονα του αναδευτήρα αναρροφάται από το περιβάλλον ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος διαχέεται μέσα στον πολφό με μορφή μικρών φυσαλίδων. Οι κόκκοι του ορυκτού των οποίων η επιφάνεια έχει καταστεί υδρόφοβη προσκολλώνται στις φυσαλίδες και ανέρχονται με αυτές στην επιφάνεια υπό την επίδραση της άνωσης. Στην επιφάνεια δημιουργείται αφρός που περιέχει το επιπλεύσαν ορυκτό. Ο αφρός απομακρύνεται με τη βοήθεια κατάλληλων πτερυγίων ή με υπερχειλίση.



Σχήμα 4.6: Κελί επίπλευσης

Συνήθως τα επιπλεύσαντα ορυκτά αποτελούν το συμπύκνωμα και τα καταβυθισθέντα το απόρριμμα. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις γίνεται το αντίθετο, οπότε η επίπλευση ονομάζεται ανάστροφη.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες αντιδραστηρίων επίπλευσης:

1. *Συλλέκτες*: Πρόκειται για επιφανειακώς ενεργές ουσίες, οι οποίες μετατρέπουν σε υδρόφοβες τις επιφάνειες των ορυκτών που θέλουμε να επιπλεύσουν.
2. *Αφριστικά αντιδραστήρια*: Πρόκειται για επιφανειακώς ενεργές ουσίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου: α) να βοηθήσουν στη δημιουργία αφρού, β) να διατηρηθούν οι φυσαλίδες και να μη σκάσουν μόλις ανέβουν στην επιφάνεια του πολφού και γ) να συγκρατείται καλύτερα το μέταλλευμα από τις φυσαλίδες.
3. *Ρυθμιστικά αντιδραστήρια*: Πρόκειται για ουσίες οι οποίες αποσκοπούν στην καλύτερη επίπλευση, χρησιμοποιούμενες για διάφορους λόγους, ανάλογα με τις ιδιότητές τους, πχ ρύθμιση του pH, ενίσχυση υδροφοβίας, διατήρηση υδροφιλίας κλπ.

#### 4.3.6 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Ο βαθμός διαχωρισμού  $\eta$  αποτελεί ένα μέτρο επιτυχίας του διαχωρισμού. Εκφράζεται από το εκατοστιαίο ποσοστό του λόγου μεταφοράς της μεταλλευτικής αξίας που επιτυγχάνεται κατά το διαχωρισμό προς τη μεταφορά που θα είχε επιτευχθεί εάν ο διαχωρισμός ήταν τέλειος.

Ο βαθμός διαχωρισμού  $n$  ορίζεται από το % πηλίκου του μέτρου διαχωρισμού  $\delta$  διά της άριστης τιμής  $\Delta$  του μέτρου διαχωρισμού. Δηλαδή:

$$n = \frac{\delta}{\Delta} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Το μέτρο διαχωρισμού εκφράζει τη μεταφορά της μεταλλευτικής αξίας από το απόρριμμα προς το συμπύκνωμα και δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = \frac{2}{100} \cdot \frac{(f-t)(c-f)}{c-t} \quad (4.4)$$

, όπου:  $f$ : % περιεκτ/τα του χρήσιμου ορυκτού στην τροφοδοσία

$c$ : % περιεκτ/τα του χρήσιμου ορυκτού στο συμπύκνωμα

$t$ : % περιεκτ/τα του χρήσιμου ορυκτού στο απόρριμμα

Η μέγιστη τιμή του μέτρου διαχωρισμού λαμβάνεται όταν  $c=100$  και  $t=0$ . Για  $c=100$  και  $t=0$  η (2) δίνει την άριστη τιμή  $\Delta$  του  $\delta$ :

$$\Delta = \frac{2}{100} \cdot \frac{(100-f) \cdot f}{100} \quad (4.5)$$

Στη συγκεκριμένη εργασία αντί για την εκατοστιαία περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στα διάφορα προϊόντα, δίδονται οι χημικές αναλύσεις των προϊόντων αυτών σε διάφορες ενώσεις. Ενδιαφέρει επομένως η κατάλληλη τροποποίηση των τύπων (4.3), (4.4) και (4.5) προκειμένου, αντί για περιεκτικότητες σε χρήσιμο ορυκτό να χρησιμοποιήσουμε μόνο τις αναλύσεις. Για να γίνει αυτό γίνεται η παραδοχή ότι το αντίστοιχο στοιχείο που δίνεται με την χημική ανάλυση υπάρχει ως συστατικό μόνο στο χρήσιμο ή μόνο στο άχρηστο ορυκτό.

Έστω  $f'$ ,  $c'$ ,  $t'$  οι χημικές αναλύσεις της τροφής, του συμπυκνώματος και του απορρίμματος αντίστοιχα σε κάποιο σημείο που υπάρχει μόνο στο χρήσιμο ορυκτό. Τότε:

$$f = f' \cdot \frac{100}{c_{\max}} \quad (i) \quad c = c' \cdot \frac{100}{c_{\max}} \quad (ii) \quad t = t' \cdot \frac{100}{c_{\max}} \quad (iii)$$

, όπου  $c_{\max}$  η μέγιστη ανάλυση του χημικώς αναλυόμενου στοιχείου στο καθαρό χρήσιμο ορυκτό.

Αντικαθιστώντας τις (i), (ii) και (iii) στις (4.3), (4.4) και (4.5) οι τελευταίες δίνουν:



$$\delta = 2 \cdot \frac{(f' - t')(c' - f')}{c' - t'} \cdot \frac{1}{c_{\max}}$$

$$\Delta = 2 \cdot \frac{f'(c_{\max} - f')}{c_{\max}} \cdot \frac{1}{c_{\max}}$$

Και τελικά:

$$n = \frac{(f' - t')(c' - f') \cdot c_{\max}}{f'(c' - t')(c_{\max} - f')} \cdot 100 \quad (4.6)$$

#### 4.4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΤΡΙΑΔΑΣ

Δείγμα από το σιδηρονικελιούχο κοίτασμα Λατερίτη από την περιοχή Τριάδα της Εύβοιας ομογενοποιήθηκε και κατόπιν κοσκινίστηκε εν ξηρώ σε μέγεθος 16 mm. Το κλάσμα +16 mm οδηγείται στο σιαγονωτό σπαστήρα και κατόπιν ομογενοποιείται με το -16mm. Το υλικό τεταρτοδιαρείται και σχηματίζονται έτσι 4 δείγματα. Για καθένα από τα δείγματα αυτά ακολουθήθηκε η ακόλουθη διαδικασία:

Αυτολειτουργιβήθηκαν εν υγρώ για 30 min και στη συνέχεια κοσκινίστηκαν εν υγρώ σε μέγεθος 0,25 mm. Το κλάσμα των -16 mm κοσκινίστηκε εν ξηρώ και δημιουργήθηκαν κλάσματα (+4 -16)mm, (+1 -4)mm, (+0,25 -1)mm και -0,25mm.

Καθένα από τα δείγματα με μέγεθος κόκκων +0,25 mm αναμείχθηκαν και ομογενοποιήθηκαν ανά κλάσμα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη:

- Κλάσμα +4 -16 mm: Διαχωρίστηκε με τη μέθοδο των βαρέων Υγρών.
- Κλάσμα +1 -4 mm: Οδηγήθηκε στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή (Perm – Roll) με μόνιμους μαγνήτες.
- Κλάσμα +0,25 -1mm: Διαχωρίστηκε μαγνητικά στον ξηρό ηλεκτρο-μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης (Induced Roll).
- Κλάσμα -0,25mm: Ταξινομήθηκε στη συσκευή του κυκλώνα, απ' όπου πάρθηκαν δύο κλάσματα: (+0,010 -0,25) mm και (-0,010) mm.

Ακολουθεί ανάμειξη και ομογενοποίηση των συμπυκνωμάτων ανά κλάσμα.

Δημιουργείται ένα ΣΥΝΘΕΤΟ ΔΕΙΓΜΑ έπειτα από ανάμειξη και ομογενοποίηση όλων των συμπυκνωμάτων και ενδιάμεσων προϊόντων που προέκυψαν από τις παραπάνω διεργασίες. Μέρος του δείγματος φυλάσσεται, ενώ τα υπόλοιπα λειοτριβούνται σε ραβδόμυλο σε διαφορετικούς χρόνους.

Ακολουθεί υγρή κοσκίνιση σε μέγεθος 38  $\mu\text{m}$  για κάθε δείγμα. Εν συνεχεία ξηρή κοσκίνιση του κλάσματος +38  $\mu\text{m}$ , προς δημιουργία κλασμάτων +2.00 mm, (+1 -2) mm, (+0.5 -1)mm, (+250 -500) $\mu\text{m}$ , (+125 -250)  $\mu\text{m}$ , (+63 -125)  $\mu\text{m}$ , (+38 -63)  $\mu\text{m}$ , -38  $\mu\text{m}$ . Το -38  $\mu\text{m}$  οδηγείται στον κυκλώνα για ταξινόμηση στα 10  $\mu\text{m}$ ..

Τα προϊόντα λειοτρίβησης ενώνονται και ομογενοποιούνται ανά κλάσμα. Καθένα από τα κλάσματα +125  $\mu\text{m}$  διαχωρίζεται μαγνητικά. Παράλληλα, για τις διάφορες κοκκομετρίες ακολουθεί μικροσκοπική μελέτη, με βάση την οποία αποφασίζεται το μέγεθος θραύσης του υλικού, προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής αποδέσμευση (-100  $\mu\text{m}$ ).

Το δείγμα λειοτριβείται σε σφαιρόμυλο έως ότου η κοκκομετρία του φθάσει τα -100  $\mu\text{m}$ . Παράλληλα, το -100 $\mu\text{m}$  διαχωρίζεται στον υδροκυκλώνα προς απόρριψη του πολύ λεπτού υλικού (-10  $\mu\text{m}$ ).

Ακολουθεί ο κυρίως εμπλουτισμός του δείγματος. Πραγματοποιούνται τρεις δοκιμές:

1. Βαρυτομετρικός διαχωρισμός με τη συσκευή Falcon
2. Επίπλευση με αμίνη
3. Επίπλευση με ορθοφωσφορικό άλας

Τα προϊόντα των παραπάνω δοκιμών δίνουν τα τελικά αποτελέσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

### ΔΕΙΓΜΑ ΛΑΤΕΡΙΤΗ ΤΡΙΑΔΑΣ

#### 5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

Η περιοχή της Τριάδας στην Κεντρική Εύβοια ανήκει στη γεωλογική ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας, η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία οφιολίθων και σχιστοκερατολίθων.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην περιοχή είναι οι ακόλουθοι:

1. *Οφιόλιθοι*, ως επί το πλείστον σερπεντινωμένοι
2. *Πυριτόλιθοι*
3. *Νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα*
4. *Ανωκραητιδικοί ασβεστόλιθοι*
5. *Φλύσχης*
6. *Νεογενείς – τεταρτογενείς αποθέσεις*

Το κοιτάσμα αναπτύσσεται σε συμφωνία στρώσεως κάτω από τους ανωκραητιδικούς ασβεστολίθους και υπέρκειται ασύμφωνα των οφιολίθων – σχιστοκερατολίθων. Η περιοχή είναι έντονα τεκτονισμένη με εμφανείς επιπεύσεις και ρήγματα.

Τα τεχνικά στοιχεία του κοιτάσματος είναι τα ακόλουθα:

- Πάχος κοιτάσματος: 0 – 44 m με μέσο όρο 12 m.
- Αποθέματα: 11,4 εκατομμύρια τόνοι με περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,82%
- Σχέση αποκάλυψης: 1,7:1 (w/w)
- Εμβαδόν χώρου ενδιαφέροντος: 281,784 στρέμματα
- Αποθέματα – στείρα: Μετάλλευμα : 11,382,330 ton  
Στείρα : 19,349,961 m<sup>3</sup>
- Περ/τα σε Ni: 0,82 %

## 5.2 ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Οι χημικές αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο της Ανοργάνου Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης. Ο τρόπος διεξαγωγής των αναλύσεων, έγινε σύμφωνα με οδηγίες των υπευθύνων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ [3].

- Λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος από το υλικό προς ανάλυση με διαδοχικές τεταρτοδιαίρεσεις με τη μέθοδο του σταυρού.
- Λειοτρίβηση δείγματος σε μέγεθος  $-0,075\text{ mm}$  στη συσκευή του πλανητικού μύλου
- Λήψη  $0,2\text{ gr}$  δείγματος, τοποθέτησή του σε φιάλη και διαβροχή αυτού με  $2-4\text{ ml}$  απιονισμένου νερού.
- Διαλυτοποίηση δείγματος ως εξής: Προσθήκη στη φιάλη  $10\text{ ml}$  πυκνού  $\text{HNO}_3$  και  $20\text{ ml}$  πυκνού  $\text{HCl}$  και θέρμανσή του σε θερμαντική πλάκα μέχρι εκλύσεως λευκών ατμών
- Διήθηση σε ογκομετρική φιάλη των  $250\text{ ml}$
- Κατάλληλη αραίωση και μέτρηση στην ατομική απορρόφηση των στοιχείων Ni, Fe, Ca, Mg.
- Καύση των αδιαλύτων του ηθμού στους  $950\text{ }^\circ\text{C}$  για 2 ώρες και λήψη του βάρους τους.

Σύμφωνα με πληροφορίες από το χημείο της ΛΑΡΚΟ το 85% περίπου των αδιαλύτων αντιστοιχούν στο περιεχόμενο  $\text{SiO}_2$  στο δείγμα. Το υπόλοιπο 15% των αδιαλύτων αντιστοιχεί αφενός σε ορυκτά (π.χ. χρωμίτες) τα οποία δεν μπορούν να διαλυτοποιηθούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο διαλυτοποίησης και αφετέρου σε γυαλί που δημιουργήθηκε κατά τη διαλυτοποίηση του δείγματος.

Από τη ΛΑΡΚΟ στάλθηκε δείγμα του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος της Τριάδας Ευβοίας. Το δείγμα ομογενοποιήθηκε και διαχωρίστηκε με τη μέθοδο του σταυρού σε μικρότερα, αλλά αντιπροσωπευτικά δείγματα. Κατόπιν συλλέχθηκε μικρή αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος στην οποία έγινε χημική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1:** Χημική ανάλυση αρχικού δείγματος

<i>Ni (%)</i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</i>	<i>MgO (%)</i>	<i>CaO (%)</i>	<i>Αδιάλυτα (%)</i>
0.752	48.896	1.070	0.118	35.800

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο δείγμα έχει το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

- Το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  προέρχεται από τον γκαιτίτη και τον αιματίτη.
- Το  $\text{MgO}$  προέρχεται από τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά.
- Το  $\text{CaO}$  προέρχεται κυρίως από το  $\text{CaCO}_3$  (ασβεστίτης). Ο ασβεστίτης προέρχεται κυρίως από τους ασβεστολίθους, οι οποίοι αποτελούν την οροφή του κοιτάσματος.
- Το  $\text{Ni}$  δεν ανιχνεύθηκε σε ορυκτολογική μορφή. Κύριοι φορείς του  $\text{Ni}$  είναι τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά, όπως ο σερπεντίνης και ο χλωρίτης, όπου το νικέλιο αντικαθιστά το μαγνήσιο σε διάφορο βαθμό. Υπολογίζεται ότι η περιεκτικότητα του νικελίου στα ορυκτά αυτά είναι της τάξης του 5-6%.
- Υπολείπεται ένα 13.364 % που περιέχει όλα τα στοιχεία που δεν αναλύθηκαν, όπως το  $\text{Al}$  των αργιλοπυριτικών ορυκτών, το κρυσταλλικό νερό, το  $\text{CO}_2$  του άνθρακα και το  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

### 5.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Οι ορυκτολογικές φάσεις που συνιστούν το μετάλλευμα είναι οι ακόλουθες:

- *Σιδηρούχα ορυκτά* (αιματίτης και λειμωνίτης)
- *Μαγνησιοπυριτικά ορυκτά* (σερπεντίνης και χλωρίτης)
- *Πυριτικά ορυκτά* (χαλαζίας)
- *Αργιλικά ορυκτά* (ιλλίτης και καολινίτης)
- *Σπινέλιοι* (χρωμίτης και λίγος μαγνητίτης)

Το μετάλλευμα είναι κυρίως πισσολιθικού τύπου και περιέχει διαστρώσεις με λατύπες πυριτιόλιθων. Οι πισσόλιθοι είναι αιματιτικοί και παρουσιάζουν ποικίλο μέγεθος, με επικρατέστερο το 0,2-0,8 mm. Περιέχουν πολλά εγκλείσματα από μαγνησιοπυριτικά ορυκτά, χαλαζία και σπινελίους. Οι πισσόλιθοι αυτοί

περιβάλλονται από πηλιτόμορφη συνδετική μάζα, η οποία αποτελείται από συμφύσεις μικροκρυσταλλικού αιματίτη, χλωρίτη και ιλλίτη, δηλαδή από τα ίδια σχεδόν ορυκτά σε πολύ μικρότερα μεγέθη [9].

Η κυρίως συνδετική ύλη είναι αιματιτική και έχει αντικαταστήσει την προϋπάρχουσα καολινιτική φάση [1]. Η συνδετική ύλη εγκλείει τους κόκκους των άλλων μακροσκοπικών ορυκτών (πισσόλιθοι και χαλαζία) και των μικροσκοπικών κρυστάλλων χαλαζία και μαγνησιοπυριτικών, τα οποία είναι αυθονότερα στη συνδετική ύλη απ' ό,τι στους πισσολίθους [14].

Στο μετάλλευμα συνυπάρχει και μια μικρή ποσότητα ασβεστίτη, ο οποίος προέρχεται, όπως προαναφέρθηκε, από τύπους ασβεστολίθων που αποτελούν το περιβάλλον πέτρωμα του κοιτάσματος.

#### **5.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ**

##### ***Χλωρίτης***

Ο χλωρίτης αποτελεί το σημαντικότερο φορέα νικελίου στο μετάλλευμα. Το ποσοστό του νικελίου σε χλωρίτες παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις με ελάχιστη τιμή σε NiO 0% και μέγιστη 8,90%. Τις χαμηλότερες περιεκτικότητες σε νικέλιο παρουσιάζουν τα πλούσια σε μαγνήσιο ( $MgO > 30\%$ ) κλαστικά φυλλάρια χλωρίτη του αρχικού σερπεντίνη.

Στο κοιτάσμα της Τριάδας συμμετέχει με ποσοστό 76% στο νικέλιο του μεταλλεύματος. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η χημική σύσταση του χλωρίτη.

##### ***Ιλλίτης***

Ο ιλλίτης στο κοιτάσμα της Τριάδας συμμετέχει στην ορυκτολογική σύσταση του λατερίτη σε ποσοστό 10%. Η χημική του σύσταση δίνεται από τον Πίνακα 5.2. Η μέση περιεκτικότητά του σε NiO για το κοιτάσμα της Τριάδας ανέρχεται σε 0,59%. Η συμμετοχή του ιλλίτη στο νικέλιο για το εν λόγω κοιτάσμα ανέρχεται στο 5,0%.

##### ***Αιματίτης***

Ο αιματίτης αποτελεί την επικρατέστερη ορυκτολογική φάση του μεταλλεύματος, με ποσοστό 53% για το κοιτάσμα της Τριάδας. Όπως ήδη

αναφέρθηκε, εμφανίζεται με τη μορφή πισσολίθων και ως συστατικό της κύριας μάζας σε στενή σύμφυση με φυλλοπυριτικά ορυκτά και χαλαζία.

Στον Πίνακα 5.2 δίνεται η χημική σύσταση του αιματίτη για το κοίτασμα της Τριάδας, καθώς και η περιεκτικότητα σε οξείδια. Η παρουσία του SiO<sub>2</sub> κυμαίνεται μεταξύ 0,68 και 5,2 %. Η παρουσία του αποδίδεται σε υπομικροσκοπικά εγκλείσματα χαλαζία ή άλλων πυριτικών ορυκτών. Η περιεκτικότητα του αιματίτη σε NiO κυμαίνεται από 0 έως 1,2 % με μέση τιμή 0,42 %. Η συμμετοχή του αιματίτη στο νικέλιο του μεταλλεύματος για το κοίτασμα της Τριάδας ανέρχεται στο 19 %.

### Χρωμίτης

Ο χρωμίτης συμμετέχει στο λατερίτη υπό μορφή κλαστικών κόκκων, οι οποίοι προέρχονται από αποσαθρωμένα υπερβασικά πετρώματα. Η περιεκτικότητά του σε NiO είναι εξαιρετικά μικρή και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 0,8 %. Δεδομένου ότι το ποσοστό του χρωμίτη στο λατερίτη κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4%, η συνεισφορά του χρωμίτη στο νικέλιο του μεταλλεύματος είναι αμελητέα [9].

**Πίνακας 5.2:** Χημική σύσταση χλωρίτη, ιλλίτη και αιματίτη από τον λατερίτη της Τριάδας [9]

ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΡΙΑΔΑΣ					
	Χλωρίτης		Ιλλίτης	Αιματίτης	
	Μέση Χημική σύσταση	Χημικός τύπος		Μέση Χημική σύσταση	Μέση Χημική σύσταση
SiO <sub>2</sub>	24.13	Si	5.479	47.33	2.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.24	Al	4.614	25.24	2.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (tot)	-	Fe <sup>3+</sup>	0.015	-	91.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.3	Cr	0.412	2.71	2.28
FeO (tot)	23.67	Fe <sup>2+</sup>	4.48	6.75	-
MnO	0.23	Mn	0.044	0.1	-
MgO	11.88	Mg	4.011	3.16	-
NiO	5.17	Ni	0.944	0.59	0.42
K <sub>2</sub> O	-			8.99	-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΔΟΚΙΜΗ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

#### 6.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΓΡΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΛΑΤΕΡΙΤΗ

Λαμβάνονται 73,4 kgr λατερίτη. Το δείγμα ομογενοποιείται και κατόπιν κοσκινίζεται εν ξηρώ σε μέγεθος 16 mm. Τα κλάσματα +16 mm και -16 mm ζυγίζονται και τα βάρη τους φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

*Πίνακας 6.1: Ξηρή κοσκίνιση στα 16  $\mu$ m*

Αρχικό Υλικό	Καθ. Βάρη (kgr)
+16mm	20
-16mm	53.4
Σύνολο	73.4

Το κλάσμα +16 mm οδηγείται στο σιαγονωτό σπαστήρα και κατόπιν ομογενοποιείται με το -16mm. Στη συνέχεια το υλικό διαιρείται και τοποθετείται σε δύο κλάσματα. Το πρώτο κλάσμα φυλάσσεται και το δεύτερο αποτελεί το υλικό το οποίο θα υποστεί την περαιτέρω διεργασία. Τα βάρη των δύο κλασμάτων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

*Πίνακας 6.2: Διάρθρωση αρχικού υλικού σε δύο κλάσματα*

	Κλάσμα 1	Κλάσμα 2
Καθ. Βάρη (kgr)	37.15	35.9

Το υλικό (κλάσμα 2) τεταρτοδιαρείται και σχηματίζονται έτσι 4 δείγματα:



*Πίνακας 6.3: Τεταρτοδιαίρεση Κλάσματος 2*

Δείγμα	Καθ. Βάρη (kgr)
2α	8.4
2β	9.45
2γ	8.45
2δ	9.55

Για καθένα από τα παραπάνω δείγματα ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Φυλάσσεται μια μικρή ποσότητα δειγμάτων για χημική ανάλυση και το υπόλοιπο αυτολειοτριβείται για 30 min εν υγρώ (~ 18% w/w νερό).

Μετά την αυτολειοτρήβηση τα δείγματα κοσκινίζονται εν υγρώ σε μέγεθος 0,25 mm. Ακολουθεί ξήρανση αυτών και λαμβάνονται τα βάρη τους:

*Πίνακας 6.4: Υγρή κοσκίνιση δειγμάτων στα 0,25 mm.*

Δείγμα	+0.25 mm (gr)	-0.25 mm (gr)
2α	6101.7	1533.6
2β	6238.5	1504
2γ	6284.9	1342.6
2δ	6232.9	1471.8
Σύνολο	24858,0	5852,0

Το κλάσμα των +0,25 mm κοσκινίζεται εν ξηρώ για 10 min σε συσκευή δόνησης κοσκίνων με ένταση δόνησης 0,60 mm. Έτσι, λαμβάνονται τα κλάσματα που δείχνει ο ακόλουθος πίνακας:

*Πίνακας 6.5: Ξηρή κοσκίνιση του κλάσματος +0,25 mm*

Κλάσμα (mm)	Δείγμα 2α (gr)	Δείγμα 2β (gr)	Δείγμα 2γ (gr)	Δείγμα 2δ (gr)	ΣΥΝΟΛΟ (gr)
+16	0	0	0	0	0
+4 -16	2270.1	2320.8	2300.2	2439.8	9330.9
+1 -4	2450.7	2503.5	2517.3	2518.1	9989.6
+0,25 -1	1317.1	1321.2	1358.1	1323.7	5320.1
-0,25	55.2	92.4	102.3	49.3	299.2
Σύνολο	6093.1	6237.9	6277.9	6330.9	24939.8

Καθένα από τα δείγματα με μέγεθος κόκκων +0,25 mm αναμειγνύεται και ομογενοποιείται ανά κλάσμα.

Το κλάσμα  $-0,25\text{ mm}$  της ξηρής κοσκίνισης ομογενοποιείται με το αντίστοιχο κλάσμα της υγρής κοσκίνισης και κατόπιν οδηγείται στη συσκευή του κυκλώνα. Ο κυκλώνας διαχωρίζει το υλικό στα  $10\text{ }\mu\text{m}$ . Τα αποτελέσματα του κυκλώνα φαίνονται στον πίνακα 6.7

*Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα κυκλώνα*

<b>-0.25 mm</b>		
	<b>Βάρη (gr)</b>	<b>Βάρη (%)</b>
<b>+10-250<math>\mu\text{m}</math></b>	3299.9	66,28
<b>-10<math>\mu\text{m}</math></b>	1679	33,72
<b>Σύνολο</b>	4978,9	100

Το κλάσμα  $-10\text{ }\mu\text{m}$  είναι πολύ ψιλό και μη επιδέξιμο περαιτέρω επεξεργασίας και συνεπώς απορρίπτεται.

Συνοψίζοντας, δημιουργούνται τα ακόλουθα κλάσματα:

*Πίνακας 6.7: Τελικά προϊόντα αυτολειοτριβήσης*

<b>ΞΗΡΗ ΚΑΙ ΥΓΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ</b>		
<b>κλάσμα (mm)</b>	<b>Βάρος (gr)</b>	<b>Βάρος (%)</b>
<b>+16</b>	0.00	0.00
<b>+4 -16</b>	8968.78	30.28
<b>+1 -4</b>	9602.64	32.42
<b>+0.25 -1</b>	5115.28	17.27
<b>-0.25 +0.010</b>	3930.51	13.27
<b>-0.01</b>	1999.31	6.75
<b>Σύνολο</b>	29616.52	100.00

## 6.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αυτογενούς λειοτριβήσης καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

*Πίνακας 6.8: Αποτελέσματα αυτολειοτριβήσης για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα*

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΥΤΟΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ											
		Αναλύσεις					Κατανομή				
Κλάσμα (mm)	Βάρη (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
+16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
+4 -16	30.279	0.479	32.093	0.724	1.432	58.505	20.612	23.051	23.191	60.710	42.263
+1 -4	32.424	0.640	54.585	0.849	0.606	25.202	29.469	41.983	29.129	27.500	19.495
+0.25 -1	17.270	0.824	56.489	1.077	0.244	32.551	20.215	23.141	19.674	5.892	13.411
-0.25+0.010	13.273	0.922	21.982	0.879	0.291	52.900	17.387	6.921	12.339	5.411	16.751
-0.010	6.753	1.284	30.607	2.193	0.051	50.150	12.317	4.903	15.666	0.487	8.080
ΣΥΝΟΛΟ	100.000	0.704	42.157	0.945	0.714	41.916	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

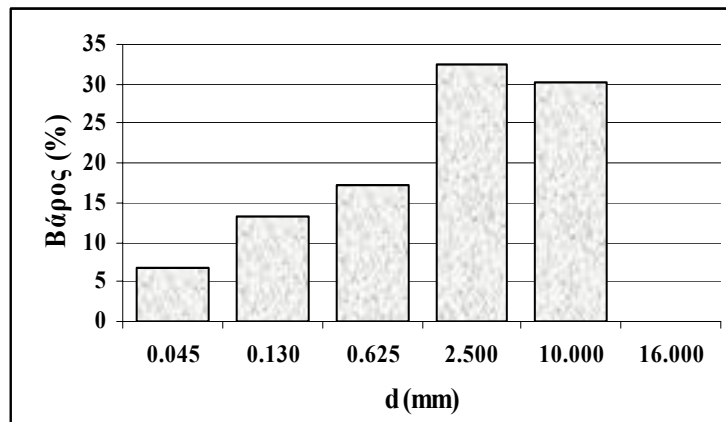
**Πίνακας 6.9:** Υπολογισμός αθροιστικώς διερχόμενων κοκκομετρικών κλασμάτων

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ											
		Αναλύσεις					Κατανομή				
Μέγεθος κόκκου (mm)	Βάρη (Αθροιστ. Διερχ.)(%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
16	100.000	0.704	42.157	0.945	0.714	41.916	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
4	69.721	0.801	46.527	1.041	0.402	34.712	79.388	76.949	76.809	39.290	57.737
1	37.296	0.942	39.522	1.209	0.226	42.979	49.919	34.966	47.680	11.789	38.242
0.25	20.026	1.044	24.890	1.322	0.210	51.973	29.704	11.824	28.006	5.898	24.831
0.01	6.753	1.284	30.607	2.193	0.051	50.150	12.317	4.903	15.666	0.487	8.080

**Πίνακας 6.10:** Υπολογισμός αθροιστικώς παραμένοντων κοκκομετρικών κλασμάτων

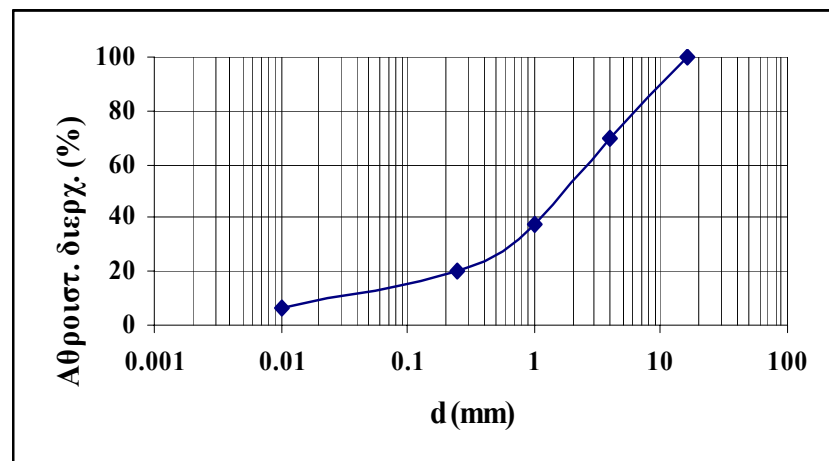
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ ΒΑΡΟΣ											
		Αναλύσεις					Κατανομή				
Μέγεθος κόκκου (mm)	Βάρη (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
4	30.279	0.479	32.093	0.724	1.432	58.505	20.612	23.051	23.191	60.710	42.263
1	62.704	0.562	43.724	0.789	1.005	41.284	50.081	65.034	52.320	88.211	61.758
0.25	79.974	0.619	46.480	0.851	0.840	39.398	70.296	88.176	71.994	94.102	75.169
0.01	93.247	0.662	42.993	0.855	0.762	41.320	87.683	95.097	84.334	99.513	91.920
Σύνολο	100.000	0.704	42.157	0.945	0.714	41.916	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Από τον Πίνακα 6.8 προκύπτει το Διάγραμμα 6.1 στο οποίο φαίνεται η κατανομή του βάρους συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων:



*Διάγραμμα 6.1: Κατανομή του βάρους (%) συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων*

Από τον Πίνακα 6.9 δημιουργείται το Διάγραμμα 6.2 στο οποίο παρουσιάζεται η γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης.

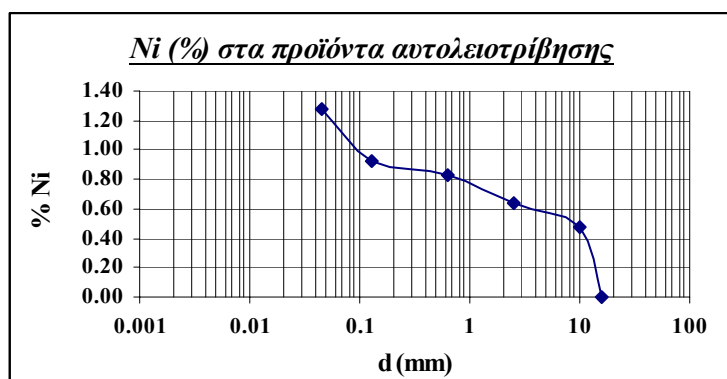


*Διάγραμμα 6.2: Κατανομή του αθροιστ. Διερχ. βάρους (%) συναρτήσει του μεγέθους κόκκων*

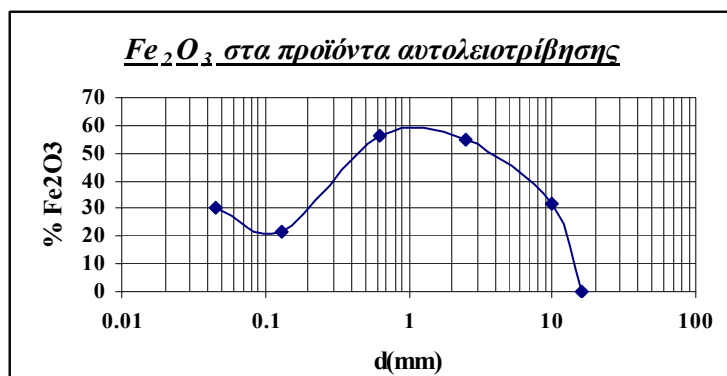
Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα διαφαίνεται ότι η κατανομή του μεταλλεύματος σχετικά με το μέγεθος των παραγόμενων τεμαχίων δίνει μεγαλύτερα ποσοστά βάρους στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα.

## 6.7 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΓΕΝΟΥΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ.

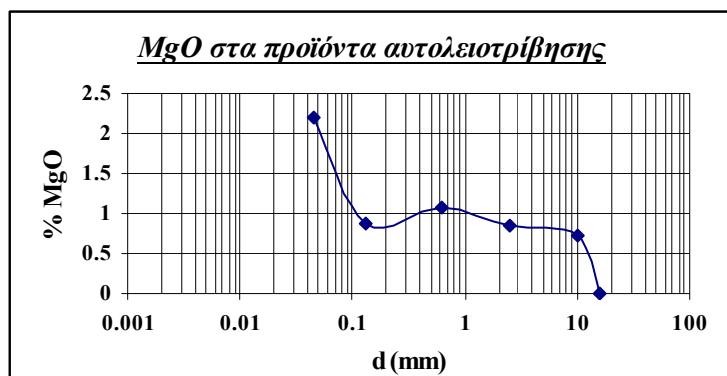
Από τον πίνακα 6.10 προκύπτουν οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις:



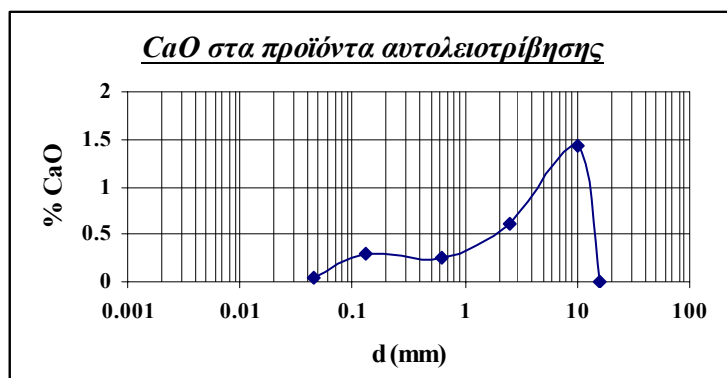
Διάγραμμα 6.3: Περιεκτικότητα Ni συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων



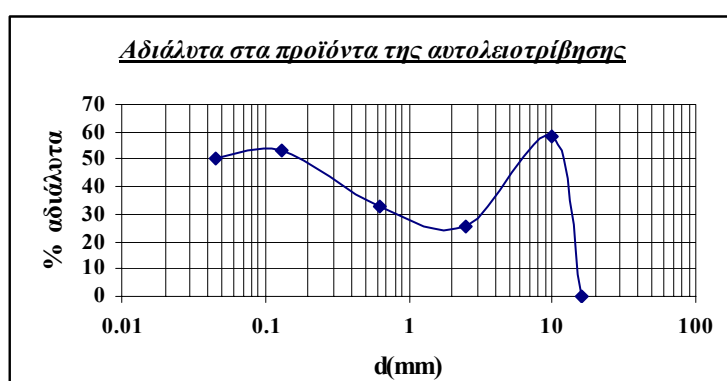
Διάγραμμα 6.4: Περιεκτικότητα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων



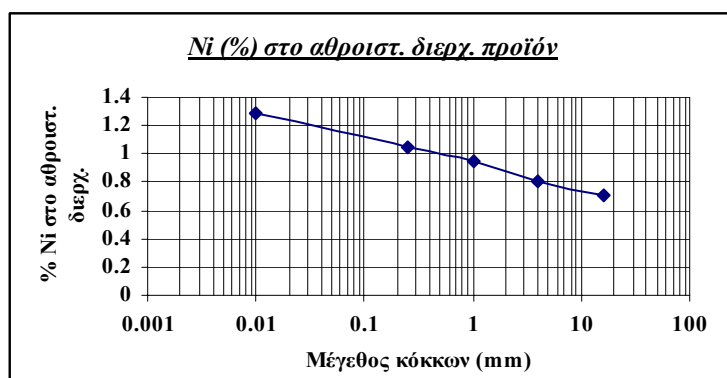
Διάγραμμα 6.5: Περιεκτικότητα MgO συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων



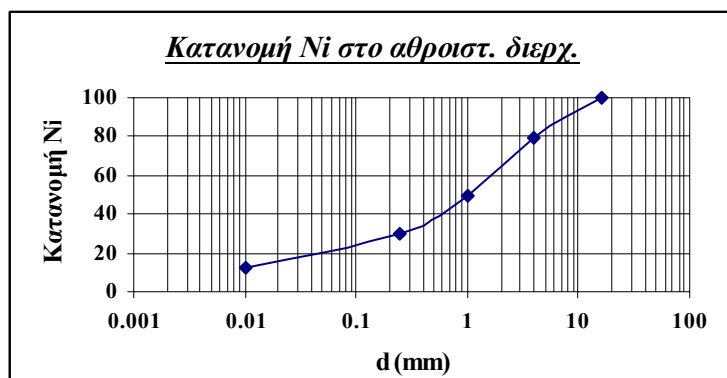
*Διάγραμμα 6.6: Περιεκτικότητα CaO συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων*



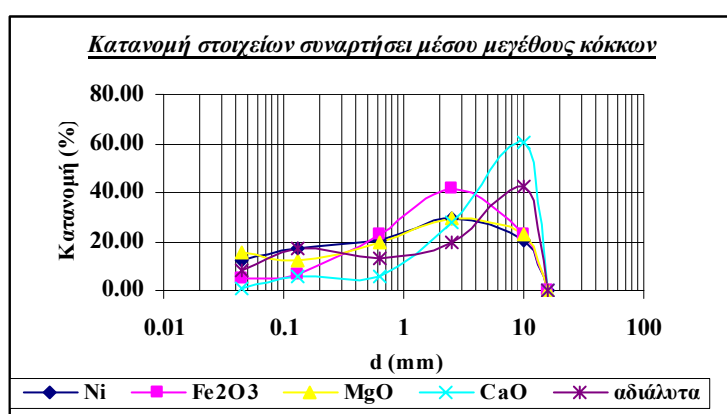
*Διάγραμμα 6.7: Περιεκτικότητα αδιαλύτων συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων*



*Διάγραμμα 6.8: Περιεκτικότητα Ni συναρτήσει με το μέγεθος κόκκων*



Διάγραμμα 6.9: Κατανομή Ni στο αθροιστικώς διερχόμενο προϊόν συναρτήσει του μεγέθους κόκκων



Διάγραμμα 6.10: Κατανομή στοιχείων συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων

Από τις χημικές αναλύσεις των Ni, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO και των αδιαλύτων του Πίνακα 6.8 μπορούν να υπολογιστούν οι περιεκτικότητες των παραπάνω συστατικών στο αρχικό δείγμα. Οι περιεκτικότητες των συστατικών αυτών είναι:

Ni: 0.704%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 42.157 %, MgO: 0.945%, CaO: 0.714 % και αδιάλυτα: 41,916%.

Συγκρίνοντας τις τιμές που υπολογίστηκαν θεωρητικά από τα επιμέρους κλάσματα με τις τιμές του αρχικού δείγματος (πίνακας 5.1) διαπιστώνεται ότι μεταξύ τους είναι παρόμοιες.

Με μια πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων που έδωσε ο πίνακας 6.8 φαίνεται ότι τα μικρά κοκκομετρικά κλάσματα είναι πλούσια σε Ni, MgO και αδιάλυτα και φτωχά σε CaO και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Γενικά το MgO συνοδεύει το συμπύκνωμα (αφού όπως αναφέρθηκε το Ni βρίσκεται στα μαγνησιούχα ορυκτά), ενώ, απεναντίας το CaO αποτελεί το απόρριμμα.



### Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων:

#### **Νικέλιο**

Το Ni παρουσιάζει συνεχόμενη αύξηση της περιεκτικότητάς του με την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων. Στο διάγραμμα 6.3 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας του Ni συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων. Από το 0,479% σε Ni στο κοκκομετρικό κλάσμα +4 -16 mm η περιεκτικότητα φτάνει στο 1,284 % στο μέγεθος -10  $\mu\text{m}$ . Στα διαγράμματα 6.8 και 6.9 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις της ανάλυσης και της κατανομής του Ni στο αθροιστικώς διερχόμενο προϊόν.

#### **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Η περιεκτικότητα σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> παρουσιάζεται αυξημένη στα μεσαία κοκκομετρικά κλάσματα. Συγκεκριμένα μεταβάλλεται από 21,98% στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,25 +0,010 mm έως 56,49% στο κλάσμα +0,25-1 mm. Στο διάγραμμα 6.4 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

#### **MgO**

Η περιεκτικότητα σε MgO παρουσιάζεται αυξημένη στα μικρά κοκκομετρικά κλάσματα. Συγκεκριμένα, μεταβάλλεται από 0,72% στο κοκκομετρικό κλάσμα +4-16 mm έως 2,19% στο κλάσμα -0,01 mm. Στο διάγραμμα 6.5 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας του MgO συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

#### **CaO**

Η περιεκτικότητα σε CaO παρουσιάζεται αυξημένη στα μεγάλα κοκκομετρικά κλάσματα. Συγκεκριμένα, μεταβάλλεται από 0,051% στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,01 mm έως 1,432% στο κλάσμα +4-16 mm. Στο διάγραμμα 6.6 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας του CaO συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

#### **Αδιάλυτα**

Η περιεκτικότητα σε αδιάλυτα μεταβάλλεται από 25,20% στο κοκκομετρικό κλάσμα +1-4mm έως 58,50% στο κλάσμα +4-16 mm. Στο διάγραμμα 6.7 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας των αδιαλύτων συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

Στο ψιλό προϊόν της αυτολειοτρίβησης (-10  $\mu\text{m}$ ) έγινε ορυκτολογική εξέταση με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων χ. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην εύρεση των διάφορων ορυκτολογικών φάσεων σε ένα δείγμα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν (βλέπε παράρτημα, κλάσμα MP 606), έδειξαν ότι στο συγκεκριμένο κλάσμα τα ορυκτά που υπάρχουν είναι ο αιματίτης, ο ασβεστίτης, ο νιμίτης, ο ιλλίτης και ο χαλαζίας.

## 6.8 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

- $c_{\max}$ : Οι τιμές του  $c_{\max}$  που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 6.11

*Πίνακας 6.11:  $c_{\max}$  για τα διάφορα στοιχεία*

Ένωση	Προέλευση	$c_{\max}$
Ni	Νικελιούχα ορυκτά	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	αιματίτης	100
MgO	Μαγνησιοπυριτικά ορυκτά	40
CaO	Ασβεστίτης	56
Αδιάλυτα	Χαλαζίας	100

- $f'$ : Η αρχική ανάλυση του δείγματος (σταθερή)
- $c'$ : Ανάλυση αθροιστικού προϊόντος (εδώ: το αθροιστικώς διερχόμενο)
- $t'$ : Ανάλυση αθροιστικού απορρίμματος (εδώ: το αθροιστικώς παραμένον)

Με βάση τα παραπάνω και με τη βοήθεια της σχέσης (4.6) της παραγράφου 4.3.6 σχηματίζεται ο Πίνακας 6.12.

Κλάσμα (mm)	Αθροιστ. Διερχόμενο					Αθροιστ. Παραμένον					Βαθμός διαχωρισμού				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
4	0.80	46.53	1.04	0.40	34.71	0.48	32.09	0.72	1.43	58.50	10.95	12.50	7.26	-30.82	-20.63
1	0.94	39.52	1.21	0.23	42.98	0.56	43.72	0.79	1.00	41.28	14.30	-4.03	10.63	-25.84	1.63
0.25	1.04	24.89	1.32	0.21	51.97	0.62	46.48	0.85	0.84	39.40	10.96	- 14.18	8.17	-14.31	8.27
0.01	1.28	30.61	2.19	0.05	50.15	0.66	42.99	0.86	0.76	41.32	6.30	-3.20	9.13	-6.35	2.28

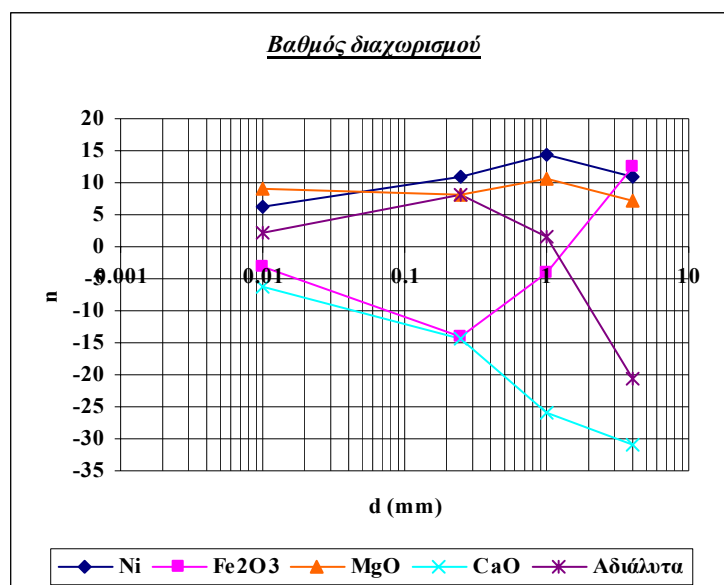
*Πίνακας 6.12: Βαθμός διαχωρισμού για κάθε μέγεθος κόκκων*

### Παρατήρηση:

Ο πίνακας 6.13 δημιουργήθηκε θεωρώντας το παραμένον προϊόν ως απόρριμμα και το διερχόμενο ως προϊόν.

Το αρνητικό πρόσημο σε κάποιους από τους βαθμούς διαχωρισμού υποδηλώνει ότι τα συγκεκριμένα στοιχεία κατανέμονται περισσότερο στο παραμένον κλάσμα σε σύγκριση με το διερχόμενο.

Από τον πίνακα 6.12 σχηματίζεται το Διάγραμμα 6.11:



Διάγραμμα 6.11: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει μέσου μεγέθους κόκκων

Με τη βοήθεια του διαγράμματος 6.11 παρατηρείται ότι το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και το CaO έχουν αρνητικό βαθμό διαχωρισμού και κατανέμονται στο απόρριμμα (χονδρό κλάσμα). Το CaO διαχωρίζεται καλύτερα στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα, καθώς σε αυτά η απόλυτη τιμή του βαθμού διαχωρισμού είναι μεγαλύτερη. Το αντίθετο συμβαίνει με το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Από το ίδιο διάγραμμα πάλι, παρατηρείται ότι το Ni, το MgO και τα αδιάλυτα παρουσιάζουν θετικό βαθμό διαχωρισμού και κατατάσσονται στο προϊόν (ψιλό κλάσμα). Το Ni διαχωρίζεται καλύτερα στα μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων, ενώ το MgO διαχωρίζεται καλύτερα στα μικρότερα. Για τα αδιάλυτα δε φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη εξάρτηση ανάμεσα στο βαθμό διαχωρισμού και στο μέγεθος των κόκκων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### **ΔΟΚΙΜΗ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ**

#### **7.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ**

Το κλάσμα (+4 -16) mm τίθεται σε βαρύ υγρό πυκνότητας  $2,68 \text{ g/cm}^3$ . Προέκυψαν με αυτόν τον τρόπο δύο προϊόντα: ένα με πυκνότητα μεγαλύτερη από  $2,68 \text{ g/cm}^3$  (καταβυθισθέν) και ένα με πυκνότητα μικρότερη από  $2,68 \text{ g/cm}^3$  (επιπλεύσαν).

Η επιλογή της μεθόδου έγινε γιατί εκμεταλλεύεται τις διαφορές του ειδικού βάρους των σιδηρούχων ορυκτών με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από  $3,30 \text{ g/cm}^3$  και των πυριτικών που περιέχουν ως επί το πλείστον χαλαζία, ο οποίος έχει πυκνότητα  $2,65 \text{ g/cm}^3$ . Το νικέλιο έχει ειδικό βάρος  $8,9 \text{ g/cm}^3$  και ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής του στα πυριτικά αυξάνει το ειδικό βάρος των τελευταίων.

#### **7.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ**

Στους Πίνακες 7.2, 7.3 και 7.4 φαίνονται τα αποτελέσματα του εμπλουτισμού με τη μέθοδο των βαρέων υγρών. Το κλάσμα (+4 -16) mm στο σύνολό του είχε βάρος 8968,78 g, δηλαδή 30,3 % κ.β. επί του αρχικού (βλέπε Πίνακας 6.8).

*Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαρέα υγρά*

Κοκκομετρικό Κλάσμα +4 -16 mm														
					Αναλύσεις					Κατανομή				
Κλάσμα (mm)	$g/cm^3$	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Βάρη (%) επί αρχικού	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
Βαρέα	+2.65	4803.900	54.758	16,58	0.838	53.686	1.144	0.040	33.350	95.786	91.600	86.530	1.516	31.214
Ελαφρά	-2.65	3969.100	45.242	13,70	0.045	5.958	0.216	3.117	88.950	4.214	8.400	13.470	98.484	68.786
Σύνολο		8773.000	100.000	30.28	0.479	32.093	0.724	1.432	58.505	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Από τον πίνακα 7.1 σχηματίζεται το Διάγραμμα 7.1:

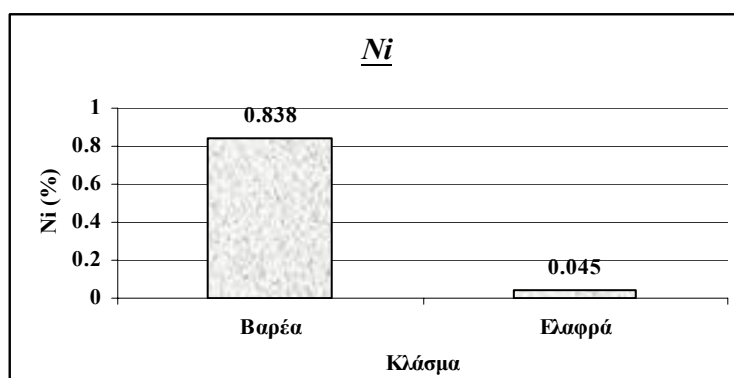


*Διάγραμμα 7.1: Κατανομή βάρους στα προϊόντα δοκιμής Βαρέων Υγρών*

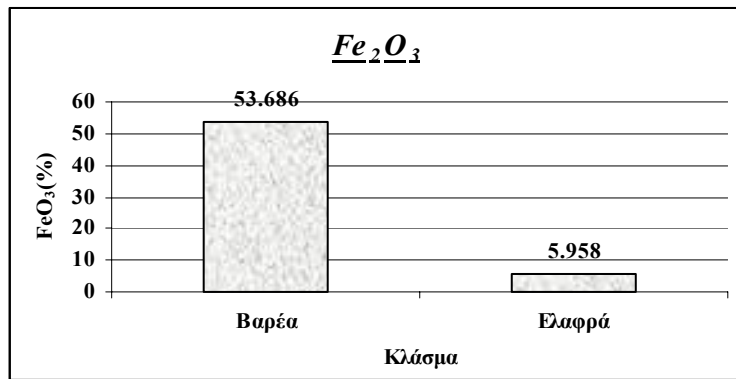
Με βάση το διάγραμμα 7.1 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του υλικού (54,76%) συγκαταλέγεται στα βαριά, δηλαδή στο συμπύκνωμα. Το υπόλοιπο 45,24 % του υλικού αποτελεί τα ελαφρά και αντιστοιχεί στο  $45,2 \cdot 30,3 / 100 = 13,7\%$  επί του αρχικού.

## 7.7 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ.

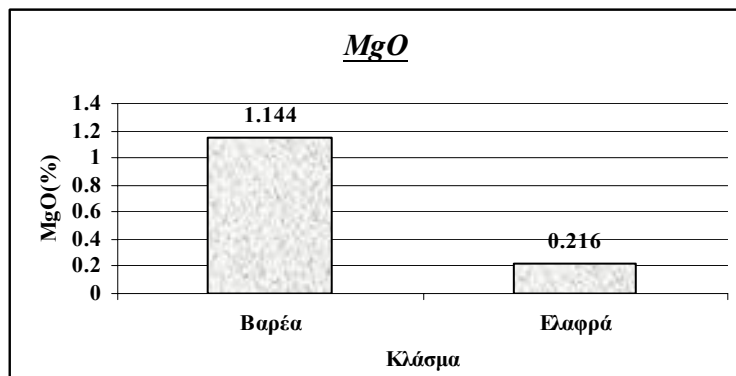
Από τον πίνακα 7.1 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα:



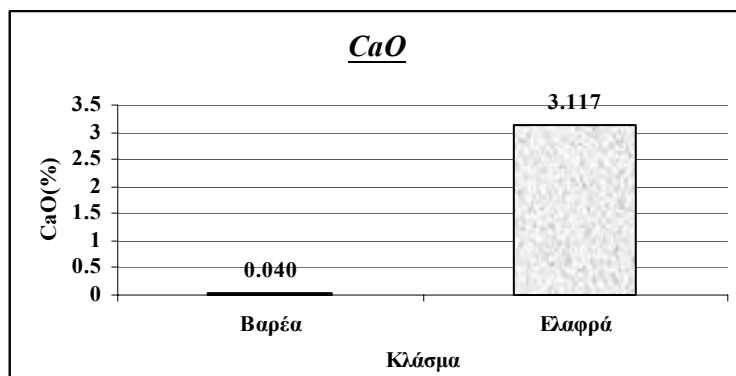
*Διάγραμμα 7.2: Περιεκτικότητα Ni στα βαρυτομετρικά προϊόντα*



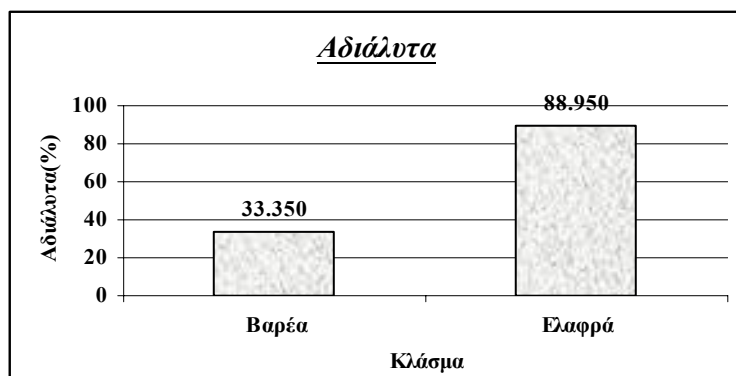
Διάγραμμα 7.3: Περιεκτικότητα  $Fe_2O_3$  στα βαρυτομετρικά προϊόντα



Διάγραμμα 7.4: Περιεκτικότητα  $MgO$  στα βαρυτομετρικά προϊόντα



Διάγραμμα 7.5: Περιεκτικότητα  $CaO$  στα βαρυτομετρικά προϊόντα



Διάγραμμα 7.6: Περιεκτικότητα αδιαλύτων στα βαρυτομετρικά προϊόντα



### Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων:

Το Ni, το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, το MgO και τα αδιάλυτα εμπλουτίζονται στα βαριά κλάσματα με περιεκτικότητες 0.84, 53.69, 1.14 και 33.35% αντίστοιχα, ενώ στα ελαφρά κλάσματα περιέχονται σε μικρά ποσοστά, με περιεκτικότητες 0.045, 5.96, 0.22 και 88.95% αντίστοιχα.

Απεναντίας, το CaO συναντάται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα στα ελαφρά (3,12 %), παρά στα βαριά (0,04 %). Αυτό εξάλλου ήταν αναμενόμενο, γιατί το CaO αντιπροσωπεύει το CaCO<sub>3</sub> το οποίο ακολουθεί πάντα το απόρριμμα και σε αυτό το στάδιο εμπλουτισμού το απόρριμμα είναι το ελαφρύ κλάσμα.

## **7.8 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.**

Η μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής των βαρέων υγρών έγινε μελετώντας στο μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός τις στιλπνές τομές των προϊόντων αυτών. Οι παρατηρήσεις που δημιουργούνται μελετώντας το βαρύ και το ελαφρύ κλάσμα (+4 -16 mm) έχουν ως εξής:

Σε αυτό το μέγεθος κόκκων δεν έχει λάβει χώρα αποδέσμευση. Υπάρχουν παντού σύμμικτοι κόκκοι χαλαζία, αιματίτη και συνδετικής ύλης.

Το βαρύ κλάσμα είναι πλουσιότερο σε αιματίτη και συνδετική ύλη, ενώ το ελαφρύ, όπως ήταν αναμενόμενο, πλουσιότερο σε χαλαζία.

Γενικά, παρόλο που ο περισσότερος αιματίτης μαζί με τη συνδετική ύλη κατανεμήθηκαν στα βαριά προϊόντα και ο περισσότερος χαλαζίας στα ελαφρά, επειδή η αποδέσμευση δεν είναι η επιθυμητή, σημαντικό μέρος των χρήσιμων ορυκτών κατανέμεται στο απόρριμμα και αντίστοιχα των στείρων ορυκτών στο συμπύκνωμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται περαιτέρω θραύση του υλικού σε μικρότερα μεγέθη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°

### ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

#### 8.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Οι δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν στα κλάσματα +1 -4 mm και +0,25 -1 mm.

Κλάσμα +1 -4 mm: Το παρόν κλάσμα οδηγείται στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή (Perm – Roll). Στη συσκευή αυτή ρυθμίζεται η θέση της λεπίδας στο σημείο μηδέν και ο ρυθμός τροφοδοσίας του υλικού στο μαγνήτη.

Για  $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$  και  $R = 0.035 \text{ mm}$  ο τύπος 4.2 δίνει κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου  $N_c = 160 \text{ rpm}$ . Πραγματοποιούνται τρία διαδοχικά περάσματα του υλικού σε τρεις διαφορετικές – κάθε φορά ελαττώμενες – ταχύτητες περιστροφής: 160, 120, 100 rpm. Σε κάθε πέρασμα συλλέγεται το μαγνητικό προϊόν για ζύγιση, ενώ το μαγνητικό αποτελεί κάθε φορά τροφοδοσία του επόμενου περάσματος. Το τελικό μη μαγνητικό προϊόν αποτελεί το μη μαγνητικό κλάσμα του τρίτου περάσματος (100 rpm) και οδηγείται κι αυτό για ζύγιση. Τα αποτελέσματα που παίρνονται είναι τα ακόλουθα:

*Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα +1 -4 mm*

Στροφές (rpm)	Προϊόν	Βάρος (g)
160	M1	5148.5
120	M2	2290.8
100	M3	837.2
	MM	1296.7
ΣΥΝΟΛΟ (g)		9573.2

- Κλάσμα +0,25 -1 mm: Το παρόν κλάσμα διαχωρίζεται μαγνητικά στον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης (High Intensity Induced Roll

Magnetic Separator ΜΙΗ (13) 111-5 της Carpcο) σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- ✓ Ο τύπος 4.2 για  $R=0.060\text{ m}$  και  $g = 9.81\text{ m/sec}^2$  δίνει κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου  $N_c = 122\text{ rpm}$ .
- ✓ Η ένταση του πεδίου ρυθμίζεται στο μέγιστο (3,20)
- ✓ Η δόνηση ρυθμίζεται στα 45

Το υλικό που οδηγείται στη συσκευή αυτή δίνει τρία κλάσματα:

*Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα +0.25 -1 mm*

Μαγνητικό (g)	1654.4
Ενδιάμεσο (g)	3054.7
Μη μαγνητικό (g)	591.6
ΣΥΝΟΛΟ (g)	5300.7

## 8.8 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

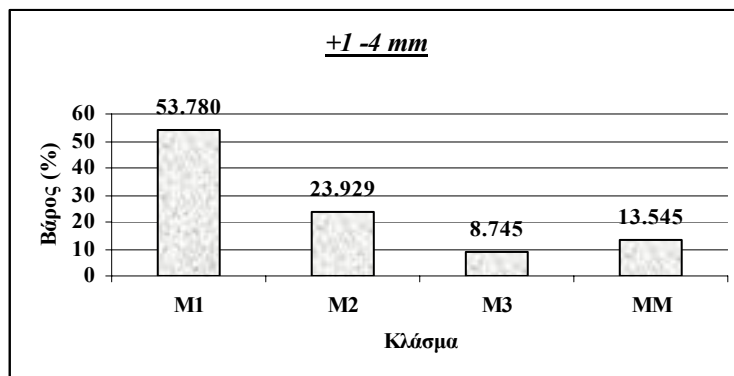
*Πίνακας 8.3: Κατανομή βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα +1 -4 mm.*

+1 -4 mm			
Κλάσμα	ΒΑΡΗ (g)	ΒΑΡΗ (%)	ΒΑΡΗ επί αρχικού (%)
Μαγνητικό 1	5148.5	53.780	17.4
Μαγνητικό 2	2290.8	23.929	7.8
Μαγνητικό 3	837.2	8.745	2.8
<b>Μαγνητικά (Σύνολο)</b>	<b>8276.5</b>	<b>86.455</b>	<b>28.0</b>
<b>Μη Μαγνητικά</b>	<b>1296.7</b>	<b>13.545</b>	<b>4.4</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>9573.2</b>	<b>100.000</b>	<b>32.4</b>

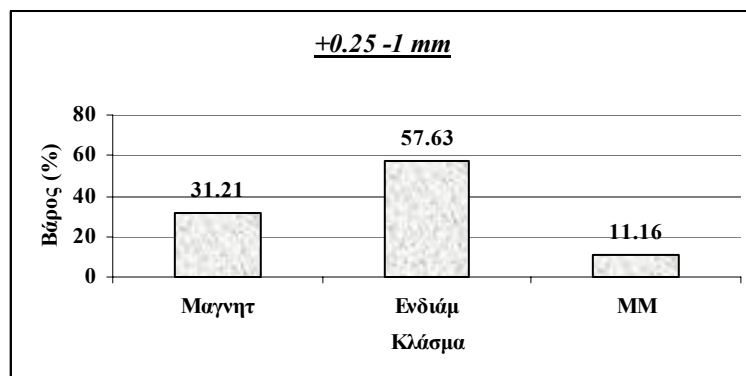
**Πίνακας 8.4:** Κατανομή βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα +0,25 -1 mm.

<b>+0.25 -1 mm</b>			
<b>Κλάσμα</b>	<b>ΒΑΡΗ (g)</b>	<b>ΒΑΡΗ (%)</b>	<b>ΒΑΡΗ επί αρχικού (%)</b>
Μαγνητικά	1654.4	31.21	5.4
Ενδιάμεσα	3054.7	57.63	10.0
<i>Μαγνητικά (Σύνολο)</i>	<i>4709.1</i>	<i>88.84</i>	<i>15.3</i>
<b>Μη Μαγνητικά</b>	<b>591.6</b>	<b>11.16</b>	<b>1.9</b>
<i>Σύνολο</i>	<i>5300.7</i>	<i>100.00</i>	<i>17.3</i>

Από τους πίνακες 8.3 και 8.4 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα:



**Διάγραμμα 8.1:** Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (+1 -4) mm



**Διάγραμμα 8.2:** Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (+0.250 - 1) mm

#### Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων:

##### ***Κλάσμα +1 -4 mm***

Σε αυτήν την κοκκομετρία το μεγαλύτερο μέρος του υλικού (53,78%) συγκαταλέγεται στα μαγνητικά του πρώτου πέρασματος. Όπως ήταν αναμενόμενο, το ποσοστό των μαγνητικών ελαττώνεται από πέρασμα σε πέρασμα και στο τρίτο πέρασμα παίρνουμε τη μικρότερη ποσότητα μαγνητικών (8,74 % κ.β.) και το μη μαγνητικό υλικό της διεργασίας (13,54 %). Η κατανομή βάρους των μαγνητικών προϊόντων στο κοκκομετρικό κλάσμα +1 -4 mm φαίνεται στο διάγραμμα 8.1.

##### ***Κλάσμα +0,25 -1 mm***

Σε αυτήν την κοκκομετρία το μεγαλύτερο μέρος του υλικού (57,63%) συγκαταλέγεται στα ενδιάμεσα προϊόντα. Τα μαγνητικά υλικά είναι λιγότερα από τα ενδιάμεσα (31,21%), αλλά και περισσότερα από τα μη μαγνητικά, τα οποία συμμετέχουν σε ποσοστό βάρους 11,16%. Η κατανομή βάρους των μαγνητικών προϊόντων στο κοκκομετρικό κλάσμα +0,25 -1 mm φαίνεται στο διάγραμμα 8.2.

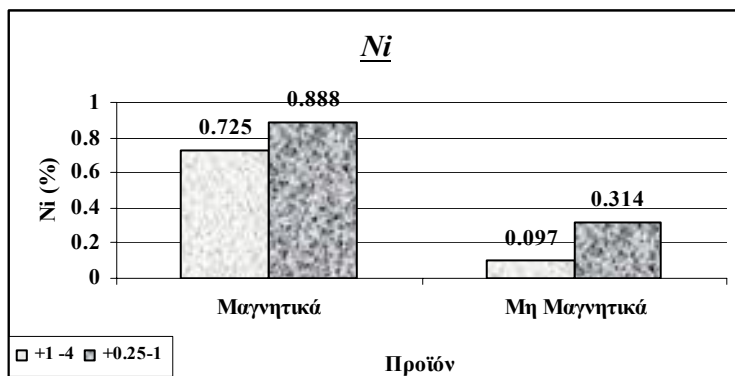
## **8.9 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ**

Στον πίνακα 8.5 φαίνονται οι περιεκτικότητες των προϊόντων σε Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιάλυτα.

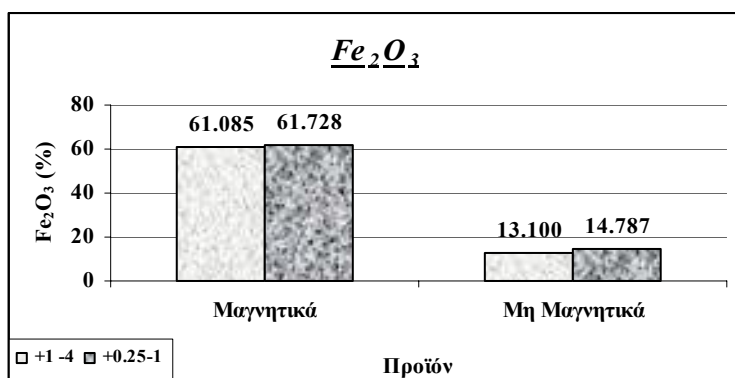
*Πίνακας 8.5: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού*

Κοκκομετρ κλάσμα (mm)	Ιδιότητα	Βάρος (g)	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί αρχικού	Ανάλυση (%)					Κατανομή				
					Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα
+1 -4	Μαγνητικά	8276.50	86.45	28.0	0.725	61.085	0.937	0.012	20.150	97.95	96.75	95.37	1.66	69.12
	Μη Μαγνητικά	1296.70	13.55	4.4	0.097	13.100	0.290	4.397	57.450	2.05	3.25	4.63	98.34	30.88
	Σύνολο	9573.20	100.00	32.4	0.640	54.585	0.849	0.606	25.202	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
+0.25-1	Μαγνητικά	4709.10	88.84	15.3	0.888	61.728	1.173	0.000	28.600	95.75	97.08	96.78	0.00	78.06
	Μη μαγνητικά	591.60	11.16	1.9	0.314	14.787	0.311	2.183	64.000	4.25	2.92	3.22	100.00	21.94
	Σύνολο	5300.70	100.00	17.3	0.824	56.489	1.077	0.244	32.551	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

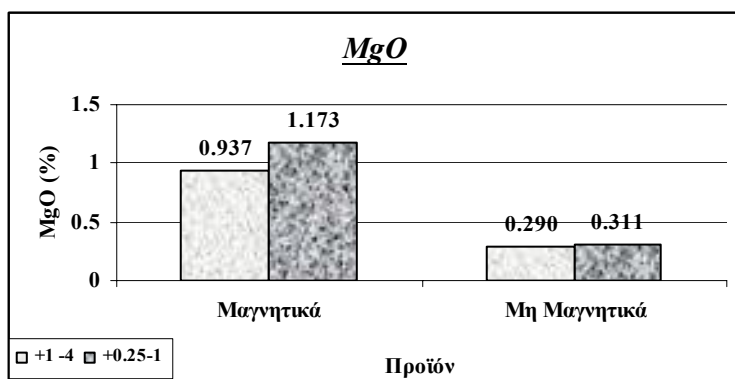
Με βάση τον πίνακα 8.5 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα:



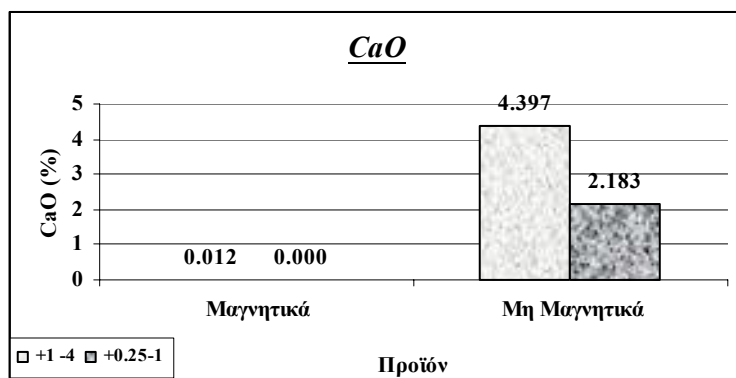
**Διάγραμμα 8.3:** Περιεκτικότητα Ni (%) στα κοκκομετρικά κλάσματα (+1-4) mm και (+0.250 – 1) mm



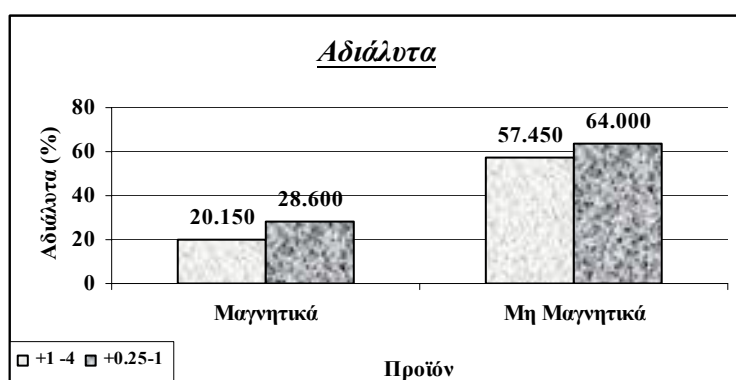
**Διάγραμμα 8.4:** Περιεκτικότητα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%) στα κοκκομετρικά κλάσματα (+1-4) mm και (+0.250 – 1) mm



**Διάγραμμα 8.5:** Περιεκτικότητα MgO (%) στα κοκκομετρικά κλάσματα (+1-4) mm και (+0.250 – 1) mm



**Διάγραμμα 8.6:** Περιεκτικότητα  $\text{CaO}$  (%) στα κοκκομετρικά κλάσματα (+1-4) mm και (+0.250 – 1) mm



**Διάγραμμα 8.7:** Περιεκτικότητα αδιαλύτων (%) στα κοκκομετρικά κλάσματα (+1-4) mm και (+0.250 – 1) mm

#### Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων:

##### **Ni:**

Το Ni, όπως εξάλλου ήταν αναμενόμενο, συγκεντρώνεται στα μαγνητικά προϊόντα. Γενικά, το κλάσμα +0,25-1 mm στο σύνολό του συγκεντρώνει περισσότερο νικέλιο από το κλάσμα +1-4 mm. Συγκεκριμένα, το κλάσμα +0,25-1 mm περιέχει 0,824 % Ni, ενώ το κλάσμα +1-4 mm μόλις 0,640 % Ni. Τα μαγνητικά του κλάσματος +1-4 mm περιέχουν 0,725 % Ni, ενώ τα μαγνητικά του κλάσματος +0,25-1 mm περιέχουν 0,888 % Ni. Τα δε μη μαγνητικά του κλάσματος +1-4 mm περιέχουν 0,097 % Ni, ενώ τα μη μαγνητικά του κλάσματος +0,25-1 mm περιέχουν 0,314 % Ni.

##### **$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :**

Το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  συγκεντρώνεται και αυτό στα μαγνητικά προϊόντα, εξαιτίας της μαγνητικότητας του σιδήρου. Η συμπεριφορά του είναι παρόμοια με αυτή του Ni. Πάλι δηλαδή το ψιλό κλάσμα είναι πλουσιότερο σε σχέση με το χονδρό. Συγκεκριμένα, το κλάσμα (+0,25-1) mm περιέχει 56,49 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ενώ το κλάσμα (+1-4) mm μόλις 54,59 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Τα μαγνητικά του κλάσματος +1-4 mm περιέχουν



61,08 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ενώ τα μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 61,73 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Τα δε μη μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 13,10 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ενώ τα μη μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 14,79 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### ***MgO:***

Το MgO παρουσιάζει και αυτό παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του Ni και του  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Και για το MgO το ψιλό κλάσμα είναι πλουσιότερο σε σχέση με το χονδρό. Συγκεκριμένα, το κλάσμα (+1-4) mm περιέχει 0,85 % MgO, ενώ το κλάσμα (+0,25-1) mm 1,08 % MgO. Τα μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 0,94 % MgO, ενώ τα μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 1,18 % MgO. Τα δε μη μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 0,29 % MgO, ενώ τα μη μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 0,31 % MgO.

#### ***CaO:***

Το CaO παρουσιάζει συμπεριφορά ακριβώς αντίθετη από τις προηγούμενες τρεις ενώσεις. Δηλαδή, συγκεντρώνεται στα μη μαγνητικά και πλουσιότερο κλάσμα σε CaO είναι το χονδρό. Αυτό οφείλεται στον ασβεστίτη, ο οποίος είναι μη μαγνητικός. Αναλυτικότερα, το κλάσμα (+1-4) mm περιέχει 0,61 % CaO, ενώ το κλάσμα (+0,25-1) mm 0,24 % CaO. Τα μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 0,01 % CaO, ενώ τα μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν πολύ μικρή και μάλιστα μη ανιχνεύσιμη με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης ποσότητα MgO. Τα δε μη μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 4,40 % CaO, ενώ τα μη μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 2,18 % CaO.

#### ***Αδιάλυτα:***

Τα αδιάλυτα συγκεντρώνονται κυρίως στα μη μαγνητικά υλικά και περισσότερο στο ψιλό κλάσμα (+1-4 mm). Αυτό οφείλεται στο ότι περιέχουν κατά 85%  $\text{SiO}_2$ , ο οποίος είναι μη μαγνητικό υλικό. Το κλάσμα +1-4 mm περιέχει 25,202 % αδιάλυτα, ενώ το κλάσμα (+0,25-1) mm 32,55 % αδιάλυτα. Τα μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 20,15 % αδιάλυτα, ενώ τα μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm 28,60% αδιάλυτα. Τα δε μη μαγνητικά του κλάσματος (+1-4) mm περιέχουν 57,45 % αδιάλυτα, ενώ τα μη μαγνητικά του κλάσματος (+0,25-1) mm περιέχουν 64,00 % αδιάλυτα.

### **8.10 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ**

+1-4 mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ					ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλ.
	0.72	61.08	0.94	0.01	20.15	0.10	13.10	0.29	4.40	57.45	12.87	22.67	9.11	-85.72	-23.17

*Πίνακας 8.6: Βαθμός Διαχωρισμού για το κλάσμα +1 -4 mm*

+0.25-1 mm	ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ					ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλ.
	0.89	61.73	1.17	0.00	28.60	0.31	14.79	0.31	2.18	64.00	8.01	18.94	8.16	-89.23	-15.99

*Πίνακας 8.7: Βαθμός Διαχωρισμού για το κλάσμα +0,25 -1mm*

Οι παραπάνω πίνακες δημιουργήθηκαν θεωρώντας ως προϊόν τα μαγνητικά κλάσματα και ως απόρριμμα τα μη μαγνητικά κλάσματα. Τα  $c_{\max}$  για κάθε στοιχείο είναι τα ίδια με αυτά του πίνακα 6.12 και τα  $f'$  είναι οι συνολικές αναλύσεις των κλάσμάτων (+1 -4) mm και (+0,25-1) mm του πίνακα 8.5. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο τύπος (4) της παραγράφου 6.5.1.

Από τους πίνακες 8.6 και 8.7 παρατηρείται ότι γενικά ο διαχωρισμός στο κλάσμα (+1 -4) mm ήταν αποδοτικότερος σε σχέση με το κλάσμα (+0,25-1) mm για όλες τις προς εξέταση ενώσεις, εκτός από το CaO.

Μια ακόμη παρατήρηση είναι ότι το Ni, το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και το MgO έχουν θετικό βαθμό διαχωρισμού και συγκαταλέγονται στο προϊόν (μαγνητικά). Απεναντίας, το CaO μαζί με τα αδιάλυτα έχουν αρνητικό βαθμό διαχωρισμού και συγκαταλλέγονται στο απόρριμμα (μη μαγνητικά).

## 8.11 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

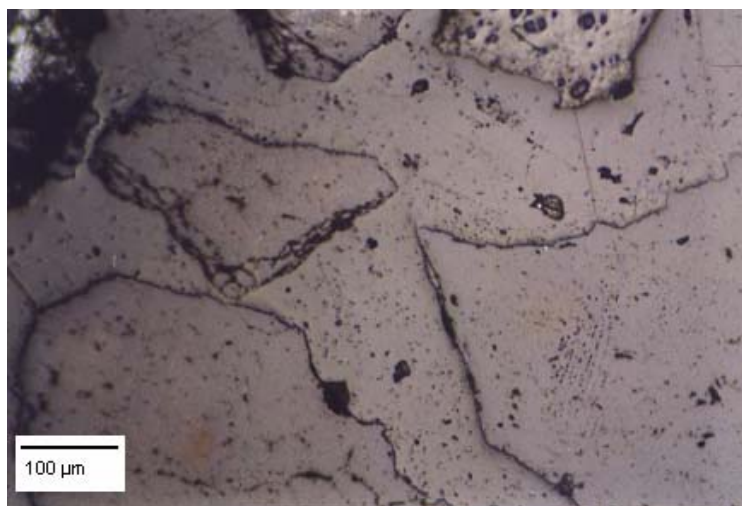
Η μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής των βαρέων υγρών έγινε μελετώντας στο μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός τις στιλπνές τομές των προϊόντων αυτών. Οι παρατηρήσεις που λαμβάνονται μελετώντας τα μαγνητικά και τα μη μαγνητικά κλάσματα (+0,25 -1) mm και (+1 -4) mm έχουν ως εξής:

### **(+0,25 -1) mm**

Σε αυτό το μέγεθος κόκκων υπάρχουν κάποιοι αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία και αιματίτη, υπάρχουν όμως και αρκετοί κόκκοι σύμμικτοι.

Γενικά τα μη μαγνητικά κλάσματα περιέχουν ως επί το πλείστον χαλαζία, ενώ τα μαγνητικά περιέχουν κατά κύριο λόγο συνδετική ύλη και αιματίτη. Σύμμικτοι κόκκοι υπάρχουν και στο μαγνητικό και στο μη μαγνητικό κλάσμα, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε μαγνητικά ή μη μαγνητικά ορυκτά.

Στην εικόνα 8.1 φαίνεται σε παράλληλα Nicols φωτογραφία από στιλπνή τομή του μη μαγνητικού κλάσματος (+0,25 -1) mm. Στην εικόνα αυτή παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία με υπολείμματα συνδετικής ύλης και στο επάνω δεξί μέρος φαίνεται τμήμα κόκκου αιματίτη με εγκλείσματα χαλαζία. Ο χαλαζίας είναι το ορυκτό με το σκούρο γκρι χρώμα, ενώ ο αιματίτης παρουσιάζεται φωτεινότερος.



**Εικόνα 8.1:Κόκκοι χαλαζία**  
Μη μαγνητικό κλάσμα +0.25-1 mm, ανακλώμενο φως, // Nicols,

Τα μαγνητικά και ενδιάμεσα κλάσματα της κοκκομετρίας (+0,25-1)mm αναμύχθηκαν και ομογενοποιήθηκαν. Στο κλάσμα που δημιουργήθηκε έγινε ορυκτολογική εξέταση με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων χ. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην εύρεση των διάφορων ορυκτολογικών φάσεων σε ένα κλάσμα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν (βλέπε παράρτημα, κλάσμα MP 603) έδειξαν ότι στο συγκεκριμένο κλάσμα τα ορυκτά που υπάρχουν είναι ο αιματίτης, λίγος χρωμίτης και ο χαλαζίας.

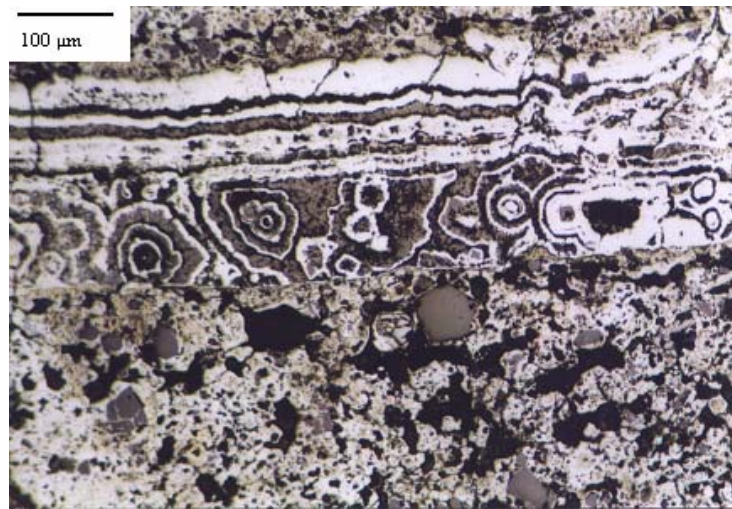
Η ίδια διαδικασία έγινε και στο μη μαγνητικό κλάσμα (+0,25-1)mm (βλέπε παράρτημα, κλάσμα MP 604). Στο κλάσμα αυτό, η μέθοδος του περιθλασιμέτρου ακτίνων χ έδειξε ότι τα ορυκτά που βρέθηκαν είναι ο χαλαζίας (σε περιεκτικότητα 66,6 %), λιγότερος ασβεστίτης (σε περιεκτικότητα 21%) και ακόμη λιγότερος αιματίτης (σε περιεκτικότητα 12,5%). Δηλαδή, σύμφωνα με την ορυκτολογική ανάλυση, ο χαλαζίας μαζί με τον ασβεστίτη (μη μαγνητικά ορυκτά) αποτελούν το 87.6% του δείγματος, ενώ ο αιματίτης (μαγνητικό ορυκτό) αποτελεί ένα πολύ μικρό μέρος (12,5%) του δείγματος.

#### **(+1 -4) mm**

Σε αυτό το μέγεθος κόκκων οι αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία ή αιματίτη είναι ελάχιστοι. Οι περισσότεροι είναι σύμμικτοι ή με εγκλείσματα. Εξακολουθεί ο αιματίτης και η συνδετική ύλη να κατανέμεται περισσότερο στα μαγνητικά και ο χαλαζίας στα μη μαγνητικά.

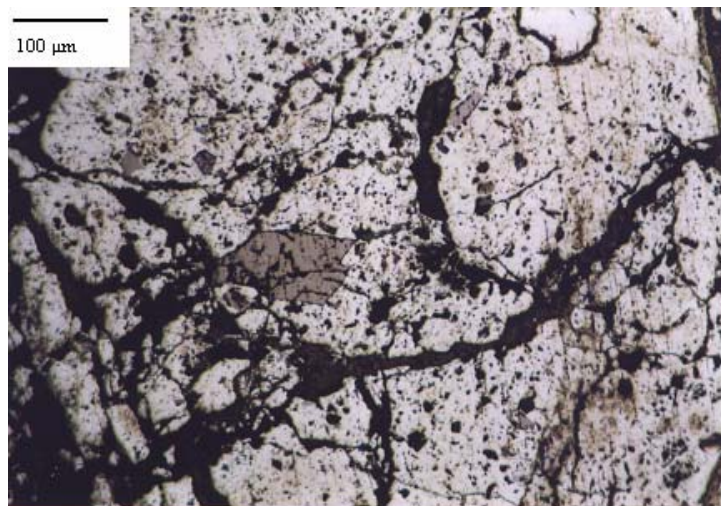
Η Εικόνα 8.2 αποτελεί φωτογραφία μαγνητικού προϊόντος του κλάσματος (+1 -4) mm. Η εικόνα αυτή αποκαλύπτει την ύπαρξη κολλοειδών δομών. Φαίνεται

ξεκάθαρα η ύπαρξη σύμμικτων κόκκων αιματίτη και χαλαζία, ενώ η παρουσία της συνδετικής ύλης είναι ολοφάνερη σε όλη την τομή.



**Εικόνα 8.2:** Κολλοειδείς δομές  
Μαγνητικό κλάσμα +1 -4 mm, ανακλώμενο φως, // NICOLS

Η Εικόνα 8.3 είναι φωτογραφία από το ίδιο υλικό. Εδώ φαίνεται ένας κατακερματισμένος πισσόλιθος από αιματίτη με εγκλείσματα χρωμίτη, χαλαζία και συνδετικής ύλης.



**Εικόνα 8.3:** Κόκκος χρωμίτη  
Μαγνητικό κλάσμα +1 -4 mm, ανακλώμενο φως, // NICOLS

## 8.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών του μαγνητικού διαχωρισμού παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα του Ni μειώνεται καθώς παίρνονται τα λιγότερο μαγνητικά προϊόντα και παίρνει μικρότερες τιμές στο μη μαγνητικό προϊόν.

Καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού παρουσιάζονται στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα, διότι σε αυτά η αποδέσμευση των κόκκων είναι καλύτερη.

Με βάση τη μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού συμπεραίνεται ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός είχε σαν αποτέλεσμα την απόρριψη σημαντικού τμήματος του στείρου υλικού (πυριτικά ορυκτά). Επειδή όμως επιτελέστηκε σε μεγέθη κόκκων που η αποδέσμευση δεν είναι επαρκής, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές ποσότητες στείρων στο υλικό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΥΛΟ

#### 9.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΟΣ

Από τα κεφάλαια 6, 7, και 8 δημιουργούμε τον ακόλουθο πίνακα:

*Πίνακας 9.1: Αναλυτικός πίνακας κατανομής βάρους στα προϊόντα των έως τώρα διεργασιών*

ΚΛΑΣΜΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΒΑΡΟΣ (%)	Αναλύσεις				
				Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα
<b>+16</b>	-		0	0	0	0	0	0
<b>+4-16</b>	Βαρέα	MP 599	16.58	0.84	53.69	1.14	0.04	33.35
	Ελαφρά	MP 600	13.7	0.04	5.96	0.22	3.12	88.95
	<b>Σύνολο</b>		<b>30.28</b>	<b>0.48</b>	<b>32.09</b>	<b>0.72</b>	<b>1.43</b>	<b>58.50</b>
<b>+1-4</b>	M1	MP 601	17.44	0.72	61.08	0.94	0.01	20.15
	M2		7.76					
	M3		2.84					
	MM	MP 602	4.39	0.10	13.10	0.29	4.40	57.45
	<b>Σύνολο</b>		<b>32.42</b>	<b>0.64</b>	<b>54.59</b>	<b>0.85</b>	<b>0.61</b>	<b>25.20</b>
<b>+0.25-1</b>	Μαγνητικό	MP 603	5.39	0.89	61.73	1.17	0.00	28.60
	Ενδιάμεσο		9.95					
	MM	MP 604	1.93	0.31	14.79	0.31	2.18	64.00
	<b>Σύνολο</b>		<b>17.27</b>	<b>0.82</b>	<b>56.49</b>	<b>1.08</b>	<b>0.24</b>	<b>32.55</b>
<b>+10-250<math>\mu</math>m</b>		<b>MP 605</b>	<b>13.27</b>	<b>0.92</b>	<b>21.98</b>	<b>0.88</b>	<b>0.29</b>	<b>52.90</b>
<b>-10<math>\mu</math>m</b>		<b>MP 606</b>	<b>6.75</b>	<b>1.28</b>	<b>30.61</b>	<b>2.19</b>	<b>0.05</b>	<b>50.15</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>100</b>	<b>0.70</b>	<b>42.16</b>	<b>0.95</b>	<b>0.71</b>	<b>41.92</b>

Τα ελαφρά από το κλάσμα (+4 -16) mm, τα μη μαγνητικά από το κλάσμα (+1 -4) mm, τα μη μαγνητικά από το κλάσμα (+0.250 -1) mm και τα -0.010 mm απορρίπτονται ως απόρριμμα.

Το βαρύ προϊόν του κλάσματος (+4 -16) mm οδηγείται στο σιαγονωτό σπαστήρα όπου σπάνε σε μέγεθος -4 mm (θέση Ν<sup>ο</sup>1).

Δημιουργείται ένα σύνθετο δείγμα, το προεμπλούτισμα (MP 607), αναμειγνύοντας και ομογενοποιώντας τα συμπυκνώματα και τα ενδιάμεσα προϊόντα όλων των μέχρι

τώρα διεργασιών. Δηλαδή, το σύνθετο δείγμα αποτελείται από τα δείγματα: MP 599, 601, 603 και 605.

Με βάση τα παραπάνω σχηματίζεται ο πίνακας 9.2

#### **9.4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ**

Στον πίνακα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι αναγωγές ως προς το αρχικό δείγμα στα εκατοστιαία βάρη και στις χημικές αναλύσεις των έως τώρα προϊόντων.

Με τον προεμπλουτισμό αφαιρέθηκαν τα ήδη αποδεσμευμένα ορυκτά. Από τον Πίνακα 9.3 παρατηρείται ότι έως τώρα από το αρχικό δείγμα το οποίο περιείχε 0.75% Ni (Πίνακας 5.1) έχει ληφθεί ένα προεμπλούτισμα που αποτελεί το 73.23% του αρχικού μας δείγματος με 0.82% Ni. Επίσης ελήφθη ένα ψιλό κλάσμα που αποτελεί το 6.75% του αρχικού με περιεκτικότητα 1.28% σε Ni και απορρίφθηκε το 20% του αρχικού κλάσματος με περιεκτικότητα σε Ni 0.08%.

Αυτό γίνεται σε γενικές γραμμές σήμερα στη ΛΑΡΚΟ. Η εργασία προχωράει στη συνέχεια να αποδεσμεύσει τα ορυκτά που εξακολουθούν να υπάρχουν στο προεμπλούτισμα, όπως φαίνεται και από την ορυκτολογική ανάλυση σε στιλπνές τομές. Η αποδέσμευση γίνεται με λειοτρίβηση.



**Πίνακας 9.2:** Αποτελέσματα αναγωγής αναλύσεων και κατανομών ως προς το αρχικό δείγμα

	ΒΑΡΟΣ (%)	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
<b>ΠΡΟΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑ</b>	73.23	MP 607	0.820	52.457	1.023	0.066	30.845	85.35	91.12	79.23	6.79	53.89
<b>ΣΤΕΙΡΑ</b>	20.02		0.082	8.375	0.241	3.308	79.637	2.33	3.98	5.11	92.72	38.03
<b>ΨΙΛΑ</b>	6.75	MP 606	1.284	30.607	2.193	0.051	50.150	12.32	4.90	15.67	0.49	8.08
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100.00</b>		<b>0.704</b>	<b>42.157</b>	<b>0.945</b>	<b>0.714</b>	<b>41.916</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Από τον Πίνακα 9.2 σχηματίζεται το Διάγραμμα 9.1:



Διάγραμμα 9.1: Κατανομή βάρους ως προς το αρχικό δείγμα

## 9.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΥΛΟ

Το σύνθετο δείγμα αποτελείται από τα κλάσματα:

- MP 599 σε ποσότητα 4656,6 g
- MP 601 σε ποσότητα 8178,9 g
- MP 603 σε ποσότητα 4611,6 g
- MP 605 σε ποσότητα 3296,4 g

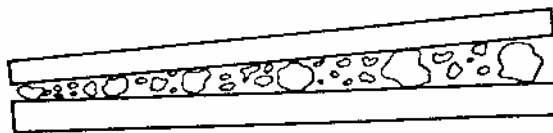
Σύνολο: 20743,5 g

Τα παραπάνω δείγματα ομογενοποιήθηκαν και χωρίστηκαν με τη βοήθεια της συσκευής Jones σε κλάσματα μισού περίπου κιλού το καθένα. Πέντε από αυτά λαμβάνονται για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ τα υπόλοιπα φυλλάσσονται.

Χαρακτηριστικό των ραβδόμυλων είναι ότι το φορτίο αποτελείται από ράβδους διαμέτρου 25-150 mm. Το μήκος των ράβδων είναι λίγο μικρότερο από το εσωτερικό μήκος του κελύφους. Το μήκος του ραβδόμυλου είναι τουλάχιστον 1,5-2,0 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρό του, ώστε οι ράβδοι να παραμένουν πάντοτε ομοαξονικά τοποθετημένες και να μην εμπλέκονται (Σταμπολιάδης, 1994).

Καθένα από τα πέντε δείγματα οδηγούνται στο ραβδόμυλο όπου λειοτριβούνται σε διαφορετικούς χρόνους το καθένα. Σκοπός της διεργασίας αυτής είναι να βρεθεί το μέγεθος στο οποίο υπάρχει επαρκής αποδέσμευση των κόκκων.

Επιλέχθηκε ραβδόμυλος γιατί ενδιέφερε να παραχθεί ένα ομοιόμορφο κοκκομετρικά υλικό, με όσο το δυνατόν λιγότερα χονδρά και όσο το δυνατό λιγότερα ψιλά. Ο τρόπος λειτουργίας των ραβδόμυλων φαίνεται στην Εικόνα 9.1.



*Εικόνα 9.1: Τρόπος λειτουργίας των ράβδων (Σταμπολιάδης 1993)*

Τα δείγματα λειοτριβούνται σε διαφορετικούς χρόνους το καθένα, σε ταχύτητα 70% της κρίσιμης και σε συνολικό βάρος ράβδων 8,55 kg. Η κρίσιμη ταχύτητα υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\left. \begin{array}{l} N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \\ D = 0.205 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow N_c = 93.4 \text{ rpm}$$

Συνεπώς, η ταχύτητα περιστροφής του μύλου είναι:

$$N = 0,7 \times N_c \Rightarrow N = 65 \text{ rpm}$$

Επελέγησαν πέντε χρόνοι λειοτρίβησης όπως ελέχθη, ένας για κάθε δείγμα: 0 min (το δείγμα δηλαδή ως έχει), 5 min, 10 min, 17 min και 30 min. Τα βάρη των δειγμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

*Πίνακας 9.3: Χωρισμός δειγμάτων για λειοτριβήσεις διαφορετικών χρόνων*

Χωρισμός δειγμάτων						
	Δ1 (g)	Δ2 (g)	Δ3 (g)	Δ4 (g)	Δ5 (g)	Σύνολο (g)
<b>Βάρος</b>	644.60	682.00	655.70	646.40	671.70	3300.40
<b>Βάρος (%)</b>	14.30	15.13	14.55	14.34	14.90	73.23

Μετά τη λειοτρίβηση ακολουθεί υγρή κοσκίνιση σε μέγεθος 38 μm για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 9.4:

*Πίνακας 9.4: Υγρή κοσκίνιση στα 38 μm*

ΥΓΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΣΤΑ 38 μm						
		Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5
<b>+38 μm</b>	<b>Βάρη (g)</b>	612	544.8	449.8	373.8	351.9
<b>-38 μm</b>		32.6	137.2	205.9	272.6	319.8
<b>Σύνολο</b>		644.6	682	655.7	646.4	671.7

Το +38  $\mu\text{m}$  κοσκινίστηκε εν ξηρώ στις κοκκομετρίες που δείχνει ο Πίνακας 9.5:

*Πίνακας 9.5: Ξηρή κοσκίνιση στα +38  $\mu\text{m}$*

<b>+38 <math>\mu\text{m}</math>: ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ</b>						
	<b>ΒΑΡΗ (g)</b>					
	<b>ΧΛ=0'</b>	<b>ΧΛ=5'</b>	<b>ΧΛ=10'</b>	<b>ΧΛ=17'</b>	<b>ΧΛ=30'</b>	<b>Σύνολο</b>
<b>+2.00 mm</b>	191.8	0	0	0	0	191.8
<b>+1 -2 mm</b>	196.8	0	0	0	0	196.8
<b>+0.5 -1mm</b>	111.4	19.3	0.0	0.0	0.0	130.7
<b>+250 -500<math>\mu\text{m}</math></b>	45.5	209.7	8.4	0.0	0.0	263.6
<b>+125 -250 <math>\mu\text{m}</math></b>	24.3	156.5	222.8	112.1	133.1	648.8
<b>+63 -125 <math>\mu\text{m}</math></b>	26.4	131.4	189.2	234.1	195.3	776.4
<b>+38 -63 <math>\mu\text{m}</math></b>	11	24.5	24.7	26.6	23.3	110.1
<b>-38 <math>\mu\text{m}</math></b>	0.7	0.5	0.2	0.5	0	1.9
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<i>607.9</i>	<i>541.9</i>	<i>445.3</i>	<i>373.3</i>	<i>351.7</i>	<i>2320.1</i>

Το -38  $\mu\text{m}$  της υγρής σε κάθε κλάσμα ενώθηκε και ομογενοποιήθηκε με το -38  $\mu\text{m}$  της ξηρής κοσκίνισης και το μείγμα αυτό οδηγήθηκε υπό μορφή πολφού με αναλογία 1:10 (s:l) στον κυκλώνα.

Τα αποτελέσματα του κυκλώνα φαίνονται στον Πίνακα 9.6:

*Πίνακας 9.6: Αποτελέσματα κυκλώνα στο -38  $\mu\text{m}$*

<b>-38 <math>\mu\text{m}</math>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΥΚΛΩΝΑ</b>						
	<b>ΒΑΡΗ (g)</b>					
	<b>ΧΛ=0</b>	<b>ΧΛ=5'</b>	<b>ΧΛ=10'</b>	<b>ΧΛ=17'</b>	<b>ΧΛ=30'</b>	<b>Σύνολο</b>
<b>+10 -38 <math>\mu\text{m}</math></b>	25.2	83.5	122.4	163.9	189.6	584.6
<b>-10 <math>\mu\text{m}</math></b>	4.8	49.1	76.2	100.8	123.8	354.7
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<i>30</i>	<i>132.6</i>	<i>198.6</i>	<i>264.7</i>	<i>313.4</i>	<i>939.3</i>

## 9.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

Στον πίνακα 9.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λειοτρίβησης καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Θεωρώντας λοιπόν ότι το υλικό αποτελείται από πολλούς κόκκους, οι οποίοι στο σύνολό τους διατηρούν την αρχική μάζα, μετά από κάθε στάδιο κατάτμησης ακολουθούν πάντα συγκεκριμένο τύπο κατανομής, τον τύπο των Gates – Gaudin – Schuhman (GGS):

$$W = 100 \cdot \left( \frac{d}{d_0} \right)^\alpha \quad (9.1)$$

, όπου: W το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος (%) των κόκκων που διέρχονται από το κόσκινο μεγέθους d

$d_0$  το μέγιστο μέγεθος κόκκου

$\alpha > 0$  σταθερά που καθορίζει την κατανομή

Λογαριθμίζοντας την (9.1):

$\text{Log}W = \text{log}100 + \alpha \text{log}d - \alpha \text{log}d_0 = (2 - \alpha \text{log}d_0) + \alpha \text{log}d$  ή

$$\text{Log}W = A + \alpha \text{log}d \quad (9.2)$$

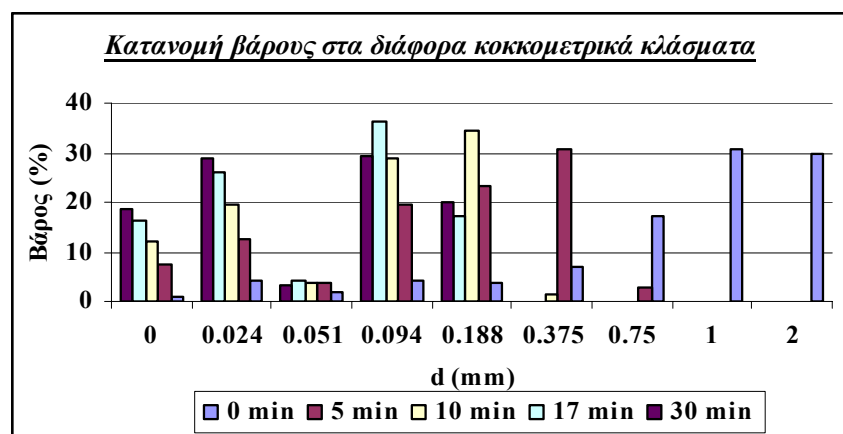
, όπου  $A = 2 - \alpha \text{log}d_0$  σταθερά

Επομένως, για να υπολογισθεί η σταθερά  $\alpha$  της εξίσωσης (9.1) αρκεί να παρασταθεί γραφικά σε  $\log\text{-}\log$  συντεταγμένες το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος συναρτήσει του μεγέθους.

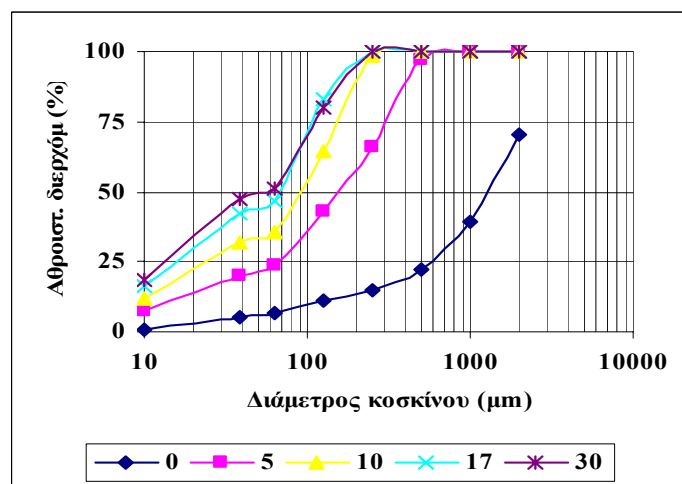
*Πίνακας 9.7: Κατανομή βάρους και περιεκτικότητας στα προϊόντα των λειοτριβήσεων*

Μέγεθος κόκκων (mm)	Μέσο μέγεθος κόκκων (μm)	Βάρος (g)					Βάρος (%)					Μέγεθος κοσκίνου (μm)	Αθροιστικώς διερχόμενα (%)				
		0'	5'	10'	17'	30'	0'	5'	10'	17'	30'		0	5	10	17	30
+2,00 mm	3000	191.8	0	0	0	0	29.95	0.00	0.00	0.00	0.00	2000	70.05	100.00	100.00	100.00	100.00
+1 -2 mm	1500	196.8	0	0	0	0	30.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1000	39.33	100.00	100.00	100.00	100.00
+0,5 -1 mm	750	111.4	19.3	0	0	0	17.39	2.84	0.00	0.00	0.00	500	21.94	97.16	100.00	100.00	100.00
+250 -500 μm	375	45.5	209.7	8.4	0	0	7.10	30.88	1.29	0.00	0.00	250	14.83	66.28	98.71	100.00	100.00
+125 -250 μm	187.5	24.3	156.5	222.8	112.1	133.1	3.79	23.05	34.21	17.36	19.82	125	11.04	43.23	64.50	82.64	80.18
+63 -125 μm	94	26.4	131.4	189.2	234.1	195.3	4.12	19.35	29.05	36.24	29.08	63	6.92	23.88	35.44	46.40	51.09
+38 -63 μm	50.5	11	24.5	24.7	26.6	23.3	1.72	3.61	3.79	4.12	3.47	38	5.20	20.28	31.65	42.28	47.62
+10 -38 μm	24	28.0	86.7	127.0	169.1	193.5	4.37	12.77	19.51	26.18	28.81	10	0.83	7.51	12.14	16.10	18.81
-10 μm	5	5.3	51.0	79.1	104.0	126.3	0.83	7.51	12.14	16.10	18.81						
<b>ΣΥΝΟΛΟ (g)</b>		<b>641</b>	<b>679</b>	<b>651.2</b>	<b>646</b>	<b>672</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>						

Από τον πίνακα 9.7 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα:



*Διάγραμμα 9.2: Κατανομή βάρους στα προϊόντα των λειοτριβήσεων*

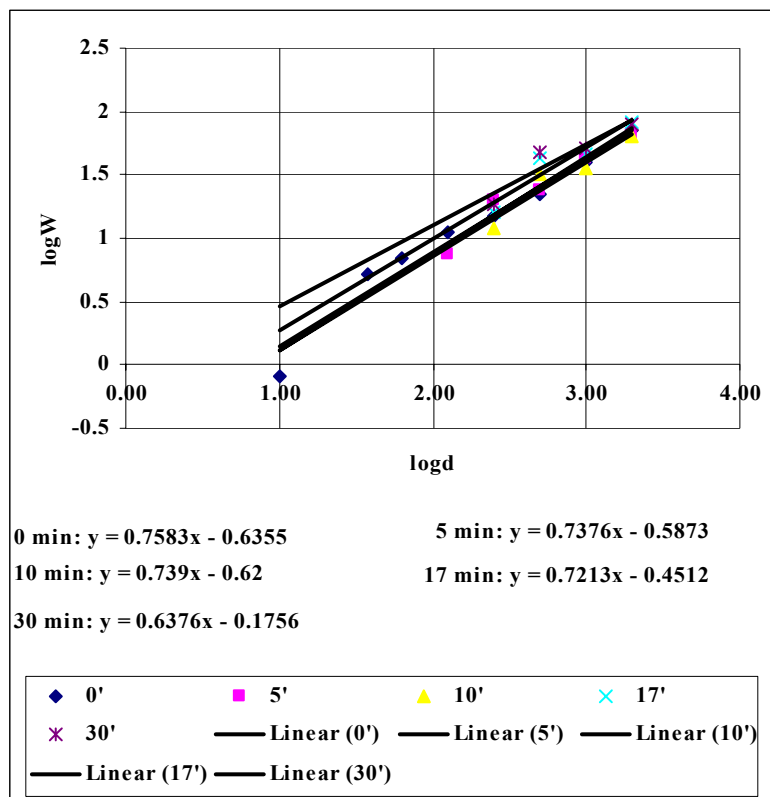


*Διάγραμμα 9.3: Αθροιστικώς διερχόμενα βάρη στα προϊόντα των λειοτριβήσεων*

Όπως προαναφέρθηκε, η γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχομένου βάρους (%) συναρτήσει του μεγέθους σε log-log συντεταγμένες θα δώσει ευθεία γραμμή με κλίση ίση με  $\alpha$ . Λογαριθμίζοντας λοιπόν τα μεγέθη που ενδιαφέρουν σχηματίζεται ο Πίνακας 9.8, από τον οποίο σχηματίζεται το Διάγραμμα 9.4 (Οι τιμές με τους έντονους χαρακτήρες είναι αυτές που ελήφθησαν υπόψη στη δημιουργία του Διαγράμματος 9.4)

**Πίνακας 9.8:** Λογάριθμοι των μεγεθών των κόκκων και των αθροιστικώς διερχομένων.

log d	log Αθροιστικώς διερχόμενα (%)				
	0	5	10	17	30
3.30	<b>1.845</b>	2	2	2	2
3.00	<b>1.595</b>	2	2	2	2
2.70	<b>1.341</b>	1.987	2	2	2
2.40	<b>1.171</b>	<b>1.821</b>	1.994	2	2
2.10	<b>1.043</b>	<b>1.636</b>	<b>1.81</b>	<b>1.917</b>	<b>1.904</b>
1.80	<b>0.84</b>	<b>1.378</b>	<b>1.55</b>	<b>1.667</b>	<b>1.708</b>
1.58	<b>0.716</b>	<b>1.307</b>	<b>1.5</b>	<b>1.626</b>	<b>1.678</b>
1.00	<b>-0.082</b>	<b>0.876</b>	<b>1.084</b>	<b>1.207</b>	<b>1.274</b>



**Διάγραμμα 9.4:** Λογάριθμος αθροιστ. Διερχόμ. (%) συναρτήσει του λογαρίθμου του μεγέθους των κόκκων.

Συγκεντρώνοντας τις κλίσεις των ευθειών που έδωσε το διάγραμμα 9.4 σχηματίζεται ο ακόλουθος πίνακας:

**Πίνακας 9.9:** Υπολογισμός κλίσης α

t (min)	α	Α
0	0.76	-0.636
5	0.74	-0.587
10	0.74	-0.62
17	0.72	-0.451
30	0.64	-0.176
<b>Average</b>	<b>0.72</b>	



Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι κατανομές των προϊόντων της λειοτρίβησης σε κλίμακα log-log δίνουν παράλληλες γραμμές, με εξαίρεση ίσως το προϊόν λειοτρίβησης των 30 min. Το προϊόν αυτό είναι πολύ λεπτόκοκκο και είναι στα όρια λειοτρίβησης με σφαιρόμυλο.

#### 9.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Ειδική επιφάνεια ενός κόκκου ονομάζεται ο λόγος της εξωτερικής επιφάνειας του κόκκου προς το βάρος αυτού, δηλαδή:

$$s_w = \frac{S}{W} = \frac{S}{V \cdot \rho} = \frac{f \cdot d^2}{K\rho \cdot d^3} \Rightarrow s_w = \frac{f}{K\rho} \cdot \frac{1}{d}$$

, όπου f και K σταθερές αναλογίας για την επιφάνεια S και τον όγκο V αντίστοιχα.

Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου. Αυτό σημαίνει ότι όσο μικραίνει το μέγεθος του κόκκου η ειδική του επιφάνεια αυξάνει.

Για σύνολο κόκκων η ειδική επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$s_w = \frac{\text{συνολική επιφάνεια}}{\text{Συνολικό βάρος}} = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W} \quad (9.3)$$

, όπου ΔS και ΔW η επιφάνεια και το βάρος των επιμέρους κλασμάτων

Για να υπολογίσουμε την ειδική επιφάνεια θεωρούμε  $\rho=3500 \text{ kg/m}^3$ .

Δεδομένων των παραπάνω σχηματίζεται ο ακόλουθος πίνακας:

**Πίνακας 9.10:** Ειδική επιφάνεια προϊόντων και επιφάνεια και βάρη των επιμέρους κλασμάτων.

$d_{\text{average}} (\mu\text{m})$	Βάρος (g)					$s_w$ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	$\Delta S (\text{m}^2)$				
	0'	5'	10'	17'	30'		0'	5'	10'	17'	30'
3000	191.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.57	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
1500	196.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.14	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
750	111.4	19.3	0.0	0.0	0.0	2.29	0.25	0.04	0.00	0.00	0.00
375	45.5	209.7	8.4	0.0	0.0	4.57	0.21	0.96	0.04	0.00	0.00
187.5	24.3	156.5	222.8	112.1	133.1	9.14	0.22	1.43	2.04	1.02	1.22
94	26.4	131.4	189.2	234.1	195.3	18.24	0.48	2.40	3.45	4.27	3.56
50.5	11.0	24.5	24.7	26.6	23.3	33.95	0.37	0.83	0.84	0.90	0.79
24	28.0	86.7	127.0	169.1	193.5	71.43	2.00	6.19	9.07	12.08	13.82
5	5.3	51.0	79.1	104.0	126.3	342.86	1.82	17.48	27.11	35.66	43.31
Σύνολο	640.5	679.1	651.2	645.9	671.5	sum	5.69	29.34	42.55	53.93	62.70

➤ Υπολογισμός  $s_{w_i}$ :

$$s_w = \frac{S}{m} = \frac{4\pi R^2}{\rho V} = \frac{4\pi R^2}{\rho \frac{4}{3}\pi R^3} \Rightarrow s_w = \frac{3}{\rho R} = \frac{6}{\rho \cdot (d_{average}/1000)}$$

➤ Υπολογισμός  $\Delta S$ :  $\Delta S = [\text{βάρος (g)}/1000] \cdot s_{w_i}$  για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα.

Υπολογίζεται η συνολική  $\Delta S$  για κάθε χρόνο λειοτρίβησης

## 9.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ

Παριστάνοντας γραφικά το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος (%) συναρτήσει του χρόνου λειοτρίβησης (Διάγραμμα 9.5) δημιουργούνται καμπύλες που έχουν τη γενική μορφή:

$$W_x = W_{x0} + \kappa_x \cdot P \cdot t$$

, όπου:  $W_x$ : αθροιστικώς διερχόμενο βάρος (%) μικρότερο από μέγεθος  $x$

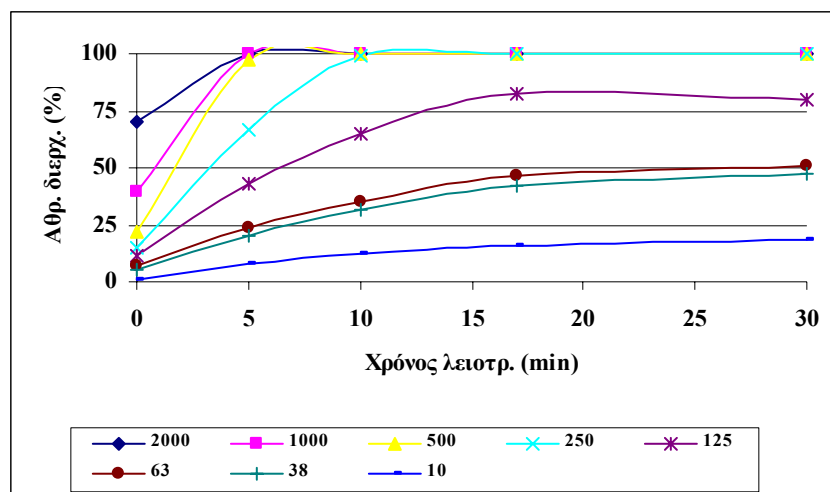
$W_{x0}$ : αθροιστικώς διερχόμενο βάρος (%) μικρότερο από μέγεθος  $x$  της αρχικής τροφής που υπάρχει στο χρόνο μηδέν

$P$ : Ισχύς του μύλου (θεωρούμε  $P=25$  Watt)

$\kappa_x$ : Ρυμός παραγωγής (Βάρος ανά μονάδα ενέργειας)

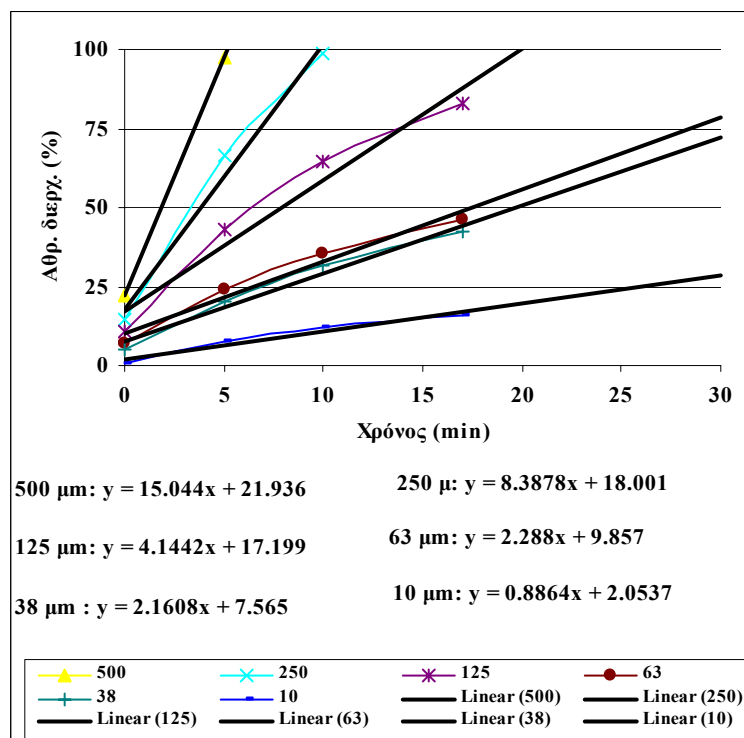
Επομένως, η γραφική παράσταση του βάρους  $W_x$ , για ένα συγκεκριμένο μέγεθος  $x$ , συναρτήσει του χρόνου  $t$  δίνει ευθεία γραμμή, η οποία τέμνει τον κατακόρυφο άξονα στο σημείο  $W_{x0}$  και η κλίση της οποίας ισούται με  $\kappa_x \cdot P$ .

Ακολούθως, η ειδική ενέργεια υπολογίζεται από τη σχέση:  $e_x = \frac{1}{\kappa_x}$



Διάγραμμα 9.5

Από το διάγραμμα 9.5 παρατηρείται ότι οι καμπύλες έχουν στην αρχή ένα ευθύγραμμο τμήμα, η κλίση του οποίου είναι το γινόμενο  $\kappa_x \cdot P$ . Με το πέρασμα του χρόνου οι καμπύλες αυτές καμπυλώνονται για να φτάσουν ασυμπτωτικά στο 100. Αυτό συμβαίνει επειδή η δοκιμή είναι ασυνεχούς λειτουργίας και όσο περνάει ο χρόνος καταναλώνονται τα χονδρότερα κλάσματα, από τα οποία προκύπτουν τα λεπτότερα. Συνεπώς, οι ευθείες προκύπτουν χωρίς να συνυπολογισθούν οι τιμές μετά την καμπυλότητα. Το διάγραμμα που σχηματίζεται έτσι είναι το Διάγραμμα 9.6



Διάγραμμα 9.6: Αθροιστικώς διερχόμενο (%) συναρτήσει του χρόνου

Με τη βοήθεια του παραπάνω διαγράμματος σχηματίζεται ο ακόλουθος πίνακας:

**Πίνακας 9.11:** Υπολογισμός ειδικής ενέργειας.

Μέγεθος κοσκίνου ( $\mu\text{m}$ )	Κλίση $\kappa_P$ [βάρος(%) / min]	kg/min	min/kg	joule/kg	$e_x$ kwh/ton
500	15.04	0.15	6.65	9970.75	2.77
250	8.39	0.08	11.92	17883.12	4.97
125	4.14	0.04	24.13	36195.16	10.05
63	2.29	0.02	43.71	65559.44	18.21
38	2.16	0.02	46.28	69418.73	19.28
10	0.89	0.01	112.82	169223.83	47.01

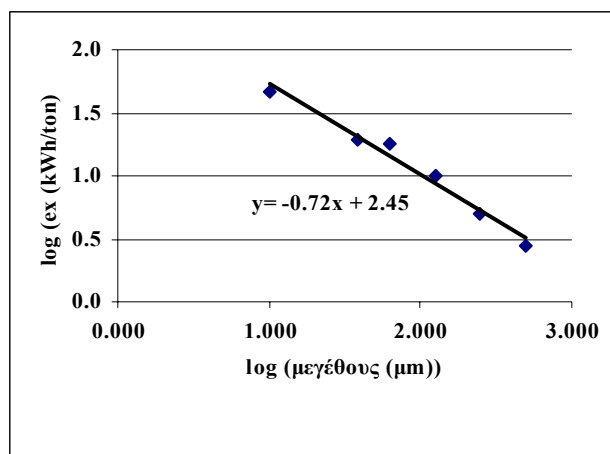
Από τον Πίνακα 9.11 παρατηρείται ότι ο ρυθμός λειοτρίβησης kg/min είναι μεγαλύτερος για τα μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων. [18]

Ακολουθώς, λογαριθμούνται οι τιμές της πρώτης και της τελευταίας στήλης του παραπάνω πίνακα και δημιουργείται έτσι ο Πίνακας 9.12:

**Πίνακας 9.12:** Λογάριθμοι μέσου μεγέθους και ειδικής ενέργειας.

log μεγέθους κοσκίνου	log (kwh/ton)
2.699	0.442
2.398	0.696
2.097	1.002
1.799	1.260
1.580	1.285
1.000	1.672

Παριστάνονται γραφικά οι τιμές του Πίνακα 9.12 και σχηματίζεται το διάγραμμα 9.7:



*Διάγραμμα 9.7: Λογάριθμος ειδικής ενέργειας συναρτήσει λογαρίθμου μέσου μεγέθους*

Η κλίση της ευθείας του Διαγράμματος 9.7 είναι ο όρος  $2n-3$ .

Ωστε:  $2n-3=-0.72$

Η τιμή αυτή του  $n$  αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ της θεωρίας Rittinger ( $2n-3=-1$ ) και της θεωρίας του Bond ( $2n-3=-0.5$ ) [12]

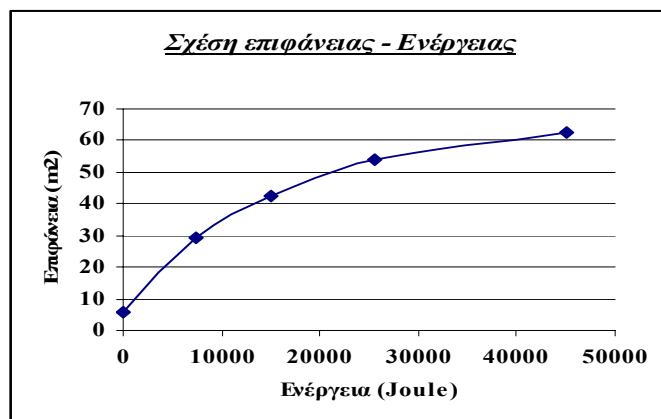
## 9.10 ΣΧΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Με βάση τα παραπάνω σχηματίζεται ο ακόλουθος Πίνακας:

*Πίνακας 9.13: Επιφάνεια και ενέργεια για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.*

Χρόνος t (sec)	Ενέργεια (Joule)	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )
0	0	5.691
300	7500	29.337
600	15000	42.550
1020	25500	53.933
1800	45000	62.701

Από τον παραπάνω πίνακα σχηματίζεται το Διάγραμμα 9.8



*Διάγραμμα 9.8: Σχέση Ενέργειας - επιφάνειας*

### 9.11 ΚΑΤΑΝΟΜΗ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

Έγιναν χημικές αναλύσεις στα κοκκομετρικά κλάσματα της λειοτρίβησης των 30 min και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 9.14.

**Πίνακας 9.14:** Ανάλυση των προϊόντων λειοτριβήσης 30 min και αναγωγή κατανομής Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιαλύτων ως προς το αρχικό δείγμα

Κλάσμα (μm)	ΒΑΡΟΣ (%)	Βάρος (%) επί αρχικού	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αναλύσεις					Μεταλλομονάδες επί αρχικού					Κατανομή επί αρχικού				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)
+125 -250	19.83	14.52	MP 607	0.666	62.800	0.891	0.011	28.700	0.10	9.12	0.13	0.00	4.17	13.65	23.04	14.74	0.34	8.89
+63 -125	29.09	21.30	MP 607	0.624	51.220	0.779	0.043	35.650	0.13	10.91	0.17	0.01	7.59	18.78	27.58	18.91	1.87	16.20
+38 -63	3.47	2.54	MP 607	0.689	50.969	0.974	0.045	37.600	0.02	1.30	0.02	0.00	0.96	2.47	3.27	2.82	0.23	2.04
+10 -38	28.80	21.09	MP 607	0.792	51.398	1.082	0.072	36.000	0.17	10.84	0.23	0.02	7.59	23.60	27.40	25.99	3.09	16.20
-10	18.81	13.77	MP 607	1.380	28.237	1.070	0.045	35.950	0.19	3.89	0.15	0.01	4.95	26.85	9.83	16.77	1.26	10.56
Σύνολο	100.00	73.23		0.825	49.236	0.950	0.045	34.497	0.60	36.05	0.70	0.03	25.26	85.35	91.12	79.23	6.79	53.89

**Πίνακας 9.15:** Αθροιστικώς διερχόμενα για τα προϊόντα λειοτριβήσης 30 min και αναγωγή κατανομής Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιαλύτων ως προς το αρχικό δείγμα

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (επί αρχικού)																		
Μέγεθος κόκκων (μm)	ΒΑΡΟΣ (%)	Βάρος (%) επί αρχικού	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αναλύσεις					Μεταλλομονάδες επί αρχικού					Κατανομή επί αρχικού				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ (%)
125	80.17	58.71	MP 607	0.865	45.882	0.965	0.054	35.931	0.51	26.94	0.57	0.03	21.09	71.702	68.077	64.491	6.4536	44.998
63	51.08	37.41	MP 607	1.002	42.842	1.070	0.060	36.090	0.37	16.03	0.40	0.02	13.50	52.924	40.5	45.584	4.5867	28.798
38	47.61	34.86	MP 607	1.024	42.249	1.077	0.061	35.980	0.36	14.73	0.38	0.02	12.54	50.451	37.226	42.764	4.3538	26.759
10	18.81	13.77	MP 607	1.380	28.237	1.070	0.045	35.950	0.19	3.89	0.15	0.01	4.95	26.847	9.8281	16.775	1.2618	10.562

**Πίνακας 9.16:** Ανάλυση των προϊόντων λειοτρίβησης 30 min και κατανομή Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιάλυτων

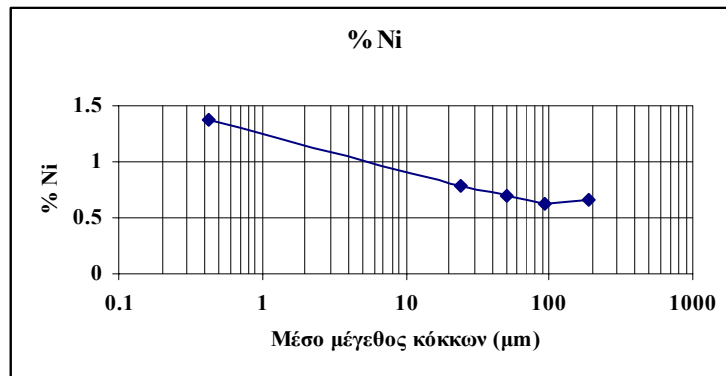
ΕΠΙ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ																	
Κλάσμα (μm)	ΒΑΡΟΣ (%)	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αναλύσεις					Μεταλλομονάδες					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)
+125 - 250	19.83	MP 607	0.666	62.800	0.891	0.011	28.700	0.13	12.45	0.18	0.00	5.69	15.99	25.29	18.60	4.94	16.49
+63 -125	29.09	MP 607	0.624	51.220	0.779	0.043	35.650	0.18	14.90	0.23	0.01	10.37	22.00	30.26	23.87	27.50	30.06
+38 -63	3.47	MP 607	0.689	50.969	0.974	0.045	37.600	0.02	1.77	0.03	0.00	1.31	2.90	3.59	3.56	3.43	3.78
+10 -38	28.80	MP 607	0.792	51.398	1.082	0.072	36.000	0.23	14.80	0.31	0.02	10.37	27.66	30.07	32.80	45.54	30.06
-10	18.81	MP 607	1.380	28.237	1.070	0.045	35.950	0.26	5.31	0.20	0.01	6.76	31.45	10.79	21.17	18.59	19.60
Σύνολο	100.00		0.825	49.236	0.950	0.045	34.497	0.83	49.24	0.95	0.05	34.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Πίνακας 9.17:** Αθροιστικώς διερχόμενα για τα προϊόντα λειοτρίβησης 30 min και κατανομή Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιάλυτων

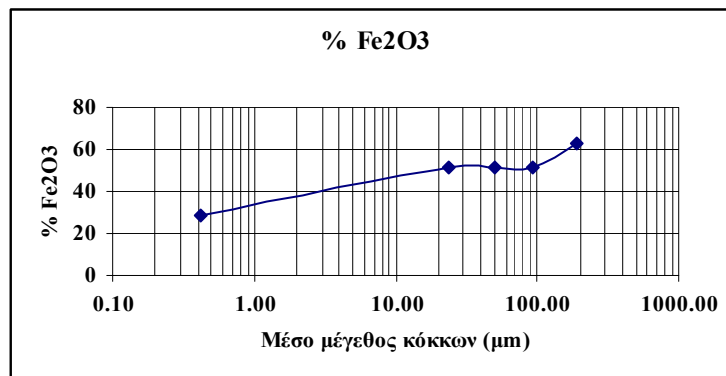
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ ΕΠΙ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ																	
Μέγεθος κόκκων (μm)	ΒΑΡΟΣ (%)	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αναλύσεις					Μεταλλομονάδες επί λειοτρίβησης					Κατανομή επί λειοτρίβησης				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)
125	80.17	MP 607	0.865	45.882	0.965	0.054	35.931	0.69	36.78	0.77	0.04	28.81	84.01	74.71	81.40	95.06	83.51
63	51.08	MP 607	1.002	42.842	1.070	0.060	36.090	0.51	21.88	0.55	0.03	18.44	62.01	44.45	57.53	67.56	53.44
38	47.61	MP 607	1.024	42.249	1.077	0.061	35.980	0.49	20.12	0.51	0.03	17.13	59.11	40.85	53.98	64.13	49.66
10	18.81	MP 607	1.380	28.237	1.070	0.045	35.950	0.26	5.31	0.20	0.01	6.76	31.45	10.79	21.17	18.59	19.60



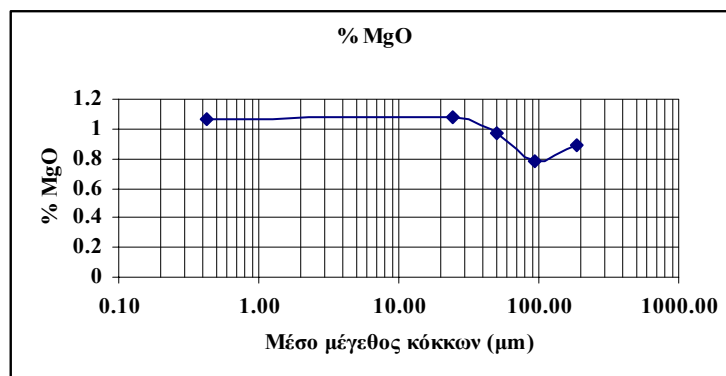
Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα:



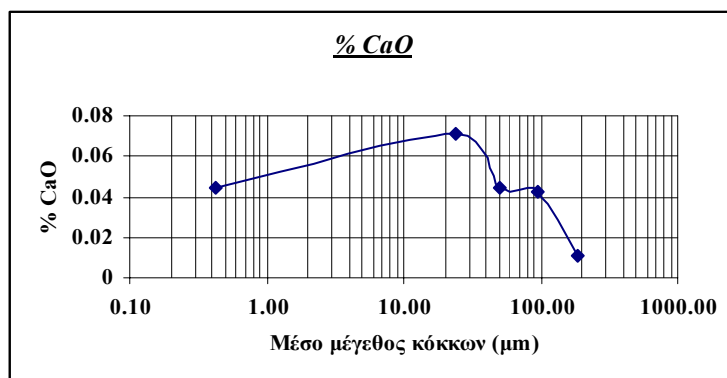
Διάγραμμα 9.9: Περιεκτικότητα (%) Ni συναρτήσει του μέσου μεγέθους



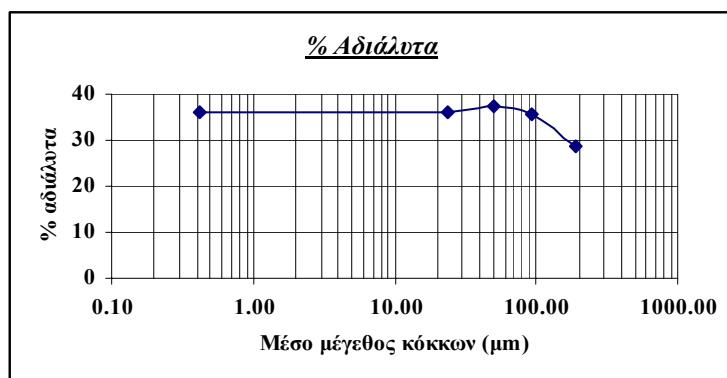
Διάγραμμα 9.10: Περιεκτικότητα (%) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> συναρτήσει του μέσου μεγέθους



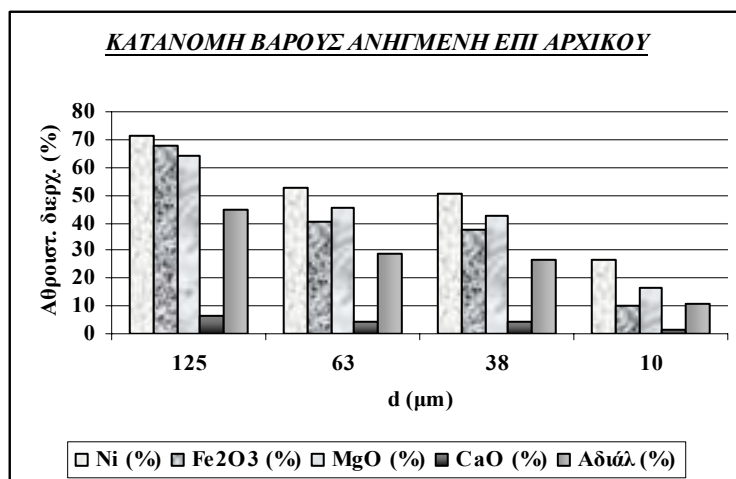
Διάγραμμα 9.11: Περιεκτικότητα (%) MgO συναρτήσει του μέσου μεγέθους



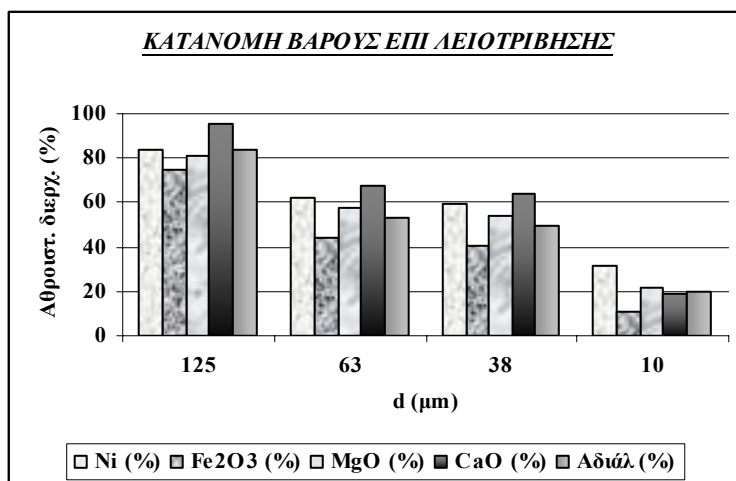
Διάγραμμα 9.12:Περιεκτικότητα (%) CaO συναρτήσει του μέσου μεγέθους



Διάγραμμα 9.13:Περιεκτικότητα (%) αδιάλυτων συναρτήσει του μέσου μεγέθους



Διάγραμμα 9.14: Κατανομή επί του αρχικού στοιχείων συναρτήσει του μέσου μεγέθους



*Διάγραμμα 9.15: Κατανομή στοιχείων στα προϊόντα της λειοτριβήσης συναρτήσει του μέσου μεγέθους*

## 9.12 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

Ο βαθμός διαχωρισμού υπολογίστηκε θεωρώντας ως προϊόν το αθροιστικώς διερχόμενο κλάσμα (ψιλό) και ως απόρριμμα το αθροιστικώς παραμένον κλάσμα (χονδρό). Τα  $c_{\max}$  για κάθε στοιχείο είναι τα ίδια με αυτά του πίνακα 6.12 και τα  $f'$  είναι η συνολική ανάλυση του δείγματος (Πίνακας 9.3). Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο τύπος (4.6) της παραγράφου 4.3.6.

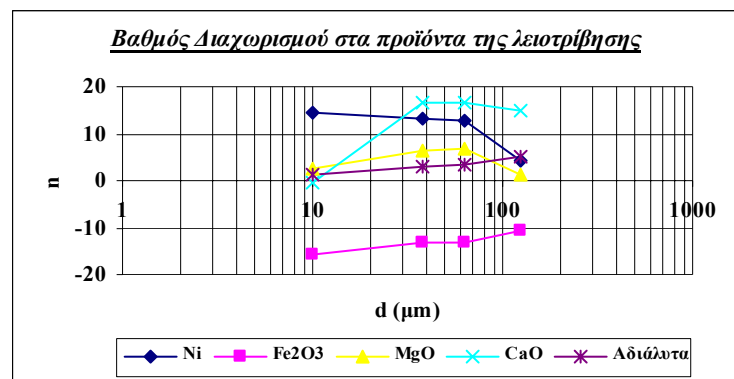
Από τον πίνακα 9.19 παρατηρείται ότι το Ni, το MgO, το CaO και τα αδιάλυτα έχουν θετικό βαθμό διαχωρισμού και συγκαταλέγονται στο προϊόν (ψιλά). Απεναντίας, το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> έχει αρνητικό βαθμό διαχωρισμού και συγκαταλέγεται στο απόρριμμα (χονδρά).

Ακόμη, το Ni μαζί με το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> διαχωρίστηκε καλύτερα στα ψιλά κλάσματα, το MgO καλύτερα στα ενδιάμεσα, ενώ τα αδιάλυτα διαχωρίστηκαν καλύτερα στα χονδρά.

Στον Πίνακα 9.18 παρουσιάζεται ο βαθμός διαχωρισμού για τα διάφορα κοκκομετρικά μεγέθη, ενώ στο διάγραμμα 9.16 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση σε λογαριθμικό διάγραμμα του βαθμού διαχωρισμού συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

**Πίνακας 9.18:** Βαθμός διαχωρισμού για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα

Μέγεθος κόκκων (μm)	Αθροιστικώς διερχόμενα					Αθροιστικώς παραμένοντα					Βαθμός διαχωρισμού				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλ. (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλ.
125	0.86	45.88	0.96	0.05	35.93	0.67	62.80	0.89	0.01	28.70	4.45	-10.76	1.26	14.90	5.09
63	1.00	42.84	1.07	0.06	36.09	0.64	55.91	0.82	0.03	32.83	12.67	-13.07	6.61	16.49	3.60
38	1.02	42.25	1.08	0.06	35.98	0.64	55.59	0.83	0.03	33.15	13.33	-13.31	6.52	16.53	3.13
10	1.38	28.24	1.07	0.04	35.95	0.70	54.10	0.92	0.05	34.16	14.66	-15.80	2.42	-0.22	1.21



**Διάγραμμα 9.16:** Βαθμός διαχωρισμού στα προϊόντα της λειοτριβήσης

### 9.13 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ

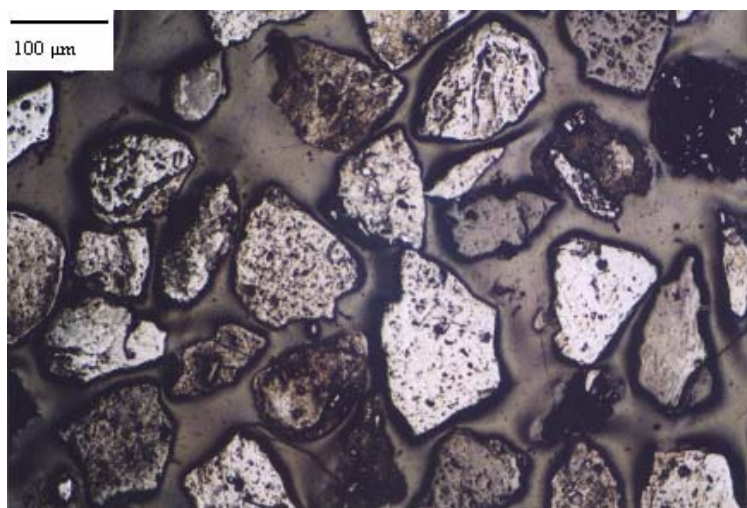
Τα προϊόντα της λειοτρίβησης εξετάστηκαν ορυκτολογικά. Η ορυκτολογική τους εξέταση έγινε αρχικά στο στερεοσκοπικό μικροσκόπιο και κατόπιν στο μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός μέσα από μικροσκοπική εξέταση στιλπνών τομών.

- **Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο:**

- ✓ Κλάσμα 500-1000  $\mu\text{m}$ : Λίγοι αποδεσμευμένοι κόκκοι. Μόνο ο χαλαζίας έχει αποδεσμευθεί. Η αποδέσμευση δεν είναι επαρκής
- ✓ Κλάσμα 250 – 500  $\mu\text{m}$ : Υπάρχουν αρκετοί αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία, που μπορούν να διαχωρισθούν μαγνητικά από τον αιματίτη.
- ✓ Κλάσμα 125-250  $\mu\text{m}$ : Υπάρχουν αρκετοί αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη και χαλαζία.
- ✓ Κλάσμα 63-125  $\mu\text{m}$ : Καλή αποδέσμευση. Αρκετοί κόκκοι χαλαζία.

- **Μικροσκοπική εξέταση στιπλνών τομών:**

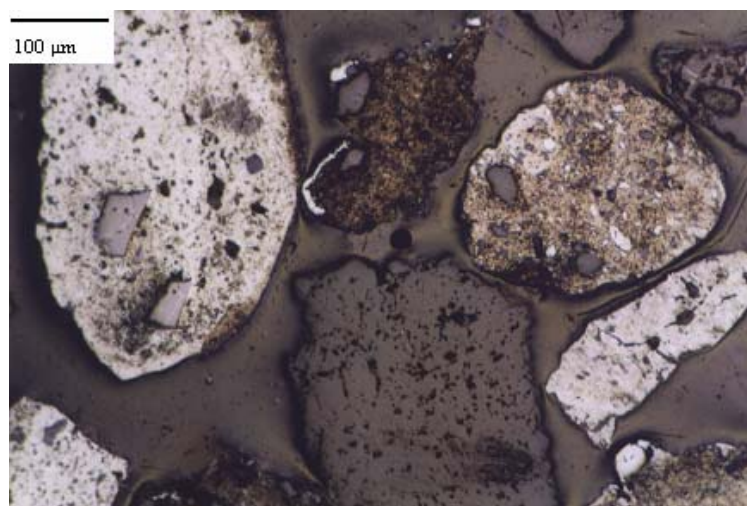
- ✓ Κλάσμα 500-1000  $\mu\text{m}$ : MP642: Τα ορυκτά που συναντώνται είναι ο αιματίτης (άσπροι φωτεινοί κόκκοι με εσωτερικές ανακλάσεις), ο χαλαζίας (γκρι με εσωτερικές ανακλάσεις), η συνδετική ύλη και ο χλωρίτης (γκρι σε // Nicols και μαύρος σε X Nicols). Υπάρχουν λίγοι αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη, λίγοι αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία, μη αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη που εμπεριέχουν χαλαζία, μη αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη που εμπεριέχουν χλωρίτη. Η συνδετική ύλη μπορεί να εμπεριέχει χλωρίτη και χαλαζία και μπορεί επίσης να εμπεριέχει εγλείσματα χαλαζία μόνο. Αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία συναντώνται συχνότερα σε σχέση με αποδεσμευμένους κόκκους αιματίτη. Γενικά, έχουμε μη επαρκή αποδέσμευση. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στην εικόνα 9.2.



*Εικόνα 9.2: Κόκκοι αιματίτη*

*Κλάσμα 500-1000  $\mu\text{m}$  (MP642), ανακλώμενο φως, // Nicols*

- ✓ Κλάσμα 250 – 500  $\mu\text{m}$ : MP 643: Η αποδέσμευση εδώ είναι καλύτερη, αλλά όχι επαρκής. Στην Εικόνα 9.3 παρουσιάζεται φωτογραφία της αντίστοιχης τομής, όπου υπάρχουν συμμικτοί κόκκοι αιματίτη με εγκλείσματα χαλαζία καθώς επίσης και κόκκοι συνδετικής ύλης.

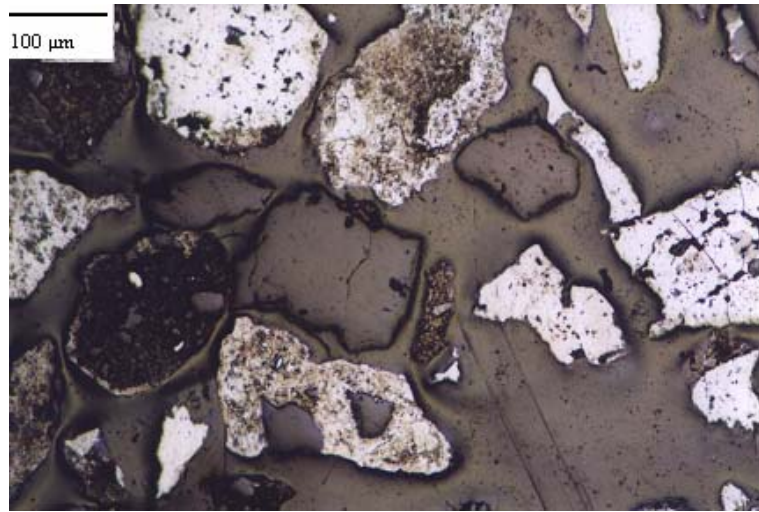


*Εικόνα 9.3: Σύμμικτοι κόκκοι αιματίτη με εγκλείσματα χαλαζία  
καθώς επίσης και κόκκοι συνδετικής ύλης*

*Κλάσμα 250 -500  $\mu\text{m}$  (MP643), ανακλώμενο φως, // Nicols*

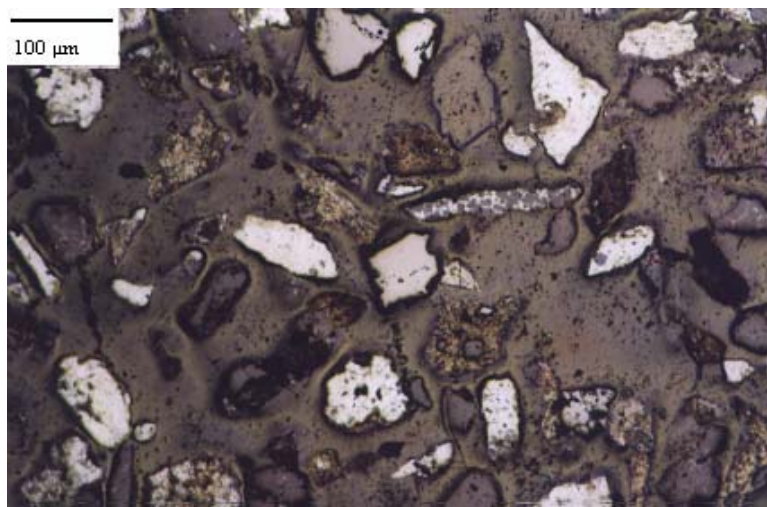
- ✓ Κλάσμα 125-250  $\mu\text{m}$  MP 644: Η συνδετική ύλη εξακολουθεί να εγκλύει το χαλαζία. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετοί αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία, ενώ οι αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη είναι

ελάχιστοι. Υπάρχουν βεβαίως και κόκκοι συνδετικής ύλης. Η αποδέσμευση εδώ είναι καλύτερη.



*Εικόνα 9.4: Κόκκοι χαλαζία, αιμαίτη με εγκλείσματα χαλαζία και συνδετικής ύλης  
Κλάσμα +125 -250  $\mu\text{m}$  (MP644), ανακλώμενο φως, // Nicols*

- ✓ Κλάσμα 63-125  $\mu\text{m}$  MP 645: Καλή αποδέσμευση. Υπάρχουν τα ορυκτά: χαλαζίας, αιματίτης, χρωμίτης και υπάρχει βεβαίως και η συνδετική ύλη. Οι αποδεσμευμένοι κόκκοι του χαλαζία αυτή τη φορά είναι πολλοί, ενώ υπάρχουν και αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη και χρωμίτη. Οι κόκκοι της συνδετικής ύλης εξακολουθούν να περιέχουν εγκλείσματα χαλαζία. Ο αιματίτης έχει αποδεσμευτεί αρκετά αλλά όχι πλήρως.



*Εικόνα 9.5: Κόκκοι χαλαζία, αιματίτη και χρωμίτη  
Κλάσμα +63 -125  $\mu\text{m}$  (MP645), ανακλώμενο φως, // Nicols*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10°

### ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

#### 10.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Τα προϊόντα της λειοτρίβησης σε ραβδόμυλο αναμείχθηκαν και ομογενοποιήθηκαν ανά κλάσμα και οδηγήθηκαν στο ηλεκτρομαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης πεδίου (Induced Roll). Οι ρυθμίσεις που έγιναν σε αυτόν φαίνονται στον Πίνακα 10.1.

*Πίνακας 10.1: Ρυθμίσεις μαγνητικού διαχωριστή*

Κλάσμα	Ταχύτητα περιστροφής τυμπάνου (rpm)	Ένταση πεδίου (A)	Δόνηση
+0.5 -1 mm	110	1.50	35.00
+250 -500 $\mu\text{m}$	115	1.50	35.00
+125 -250 $\mu\text{m}$	120	1.50	35.00
+63 -125 $\mu\text{m}$	146	1.00	45.00

Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού φαίνονται στον Πίνακα 10.2:

*Πίνακας 10.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού*

	Μαγνητικό (g)	Μη μαγνητικό (g)	Σύνολο (g)
+0,5 -1 mm	116.7	5.8	122.5
+250 -500 $\mu\text{m}$	241.1	15.4	256.5
+125 -250 $\mu\text{m}$	566.4	40.8	607.2
+63 -125 $\mu\text{m}$	618.9	119.9	738.8
Σύνολο (g)	1543.1	181.9	1725

#### 10.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

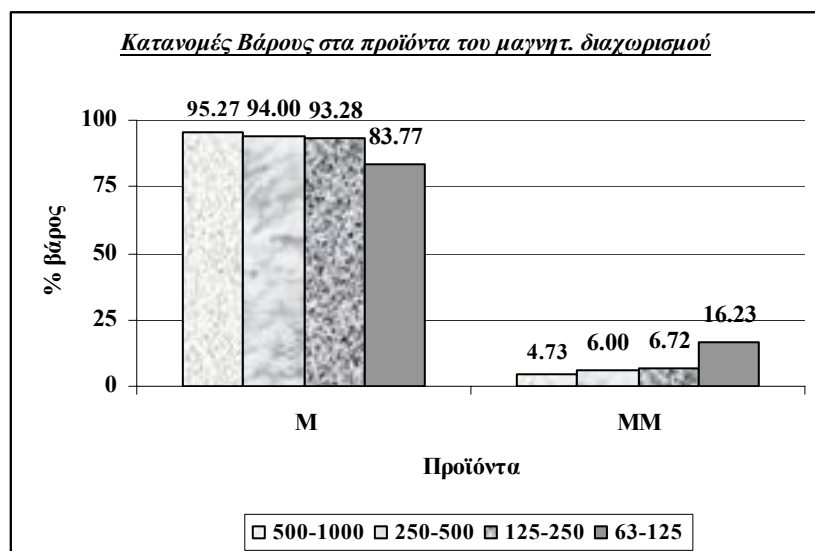
Στον πίνακα 10.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού καθώς και οι κατανομές για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.



**Πίνακας 10.3:** Κατανομή βάρους και περιεκτικότητας σε Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιάλυτων στα διάφορα μαγνητικά προϊόντα

Κοκκομ (μm)	Κωδικός	Ιδιότητα	Βάρος (g)	Βάρος (%)	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ					ΚΑΤΑΝΟΜΗ				
					Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
500-1000	<b>MP 646</b>	M	116.7	95.27	0.820	48.638	0.538	0.043	53.725	97.16	96.54	95.90	73.61	95.84
	<b>MP647</b>	MM	5.8	4.73	0.483	35.079	0.463	0.312	46.947	2.84	3.46	4.10	26.39	4.16
	<b>MP 642</b>	Σύνολο	122.5	100.00	0.804	47.996	0.534	0.056	53.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
250-500	<b>MP 648</b>	M	241.1	94.00	0.574	41.909	0.476	0.021	70.300	97.29	98.75	95.80	34.57	91.93
	<b>MP 649</b>	MM	15.4	6.00	0.251	8.322	0.327	0.609	96.672	2.71	1.25	4.20	65.43	8.07
	<b>MP 643</b>	Σύνολο	256.5	100.00	0.555	39.892	0.467	0.056	71.883	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
125-250	<b>MP 650</b>	M	566.4	93.28	0.764	46.557	0.517	0.033	37.426	98.56	97.73	96.01	24.33	84.65
	<b>MP 651</b>	MM	40.8	6.72	0.155	15.013	0.299	1.410	94.187	1.44	2.27	3.99	75.67	15.35
	<b>MP 644</b>	Σύνολο	607.2	100.00	0.723	44.438	0.503	0.125	41.240	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
63-125	<b>MP 652</b>	M	618.9	83.77	0.746	46.324	0.530	0.032	45.335	92.39	89.69	87.25	17.20	76.77
	<b>MP 653</b>	MM	119.9	16.23	0.317	27.474	0.400	0.786	70.815	7.61	10.31	12.75	82.80	23.23
	<b>MP 645</b>	Σύνολο	738.8	100.00	0.677	43.265	0.508	0.154	49.470	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Από τον πίνακα 10.3 δημιουργείται το ακόλουθο διάγραμμα:

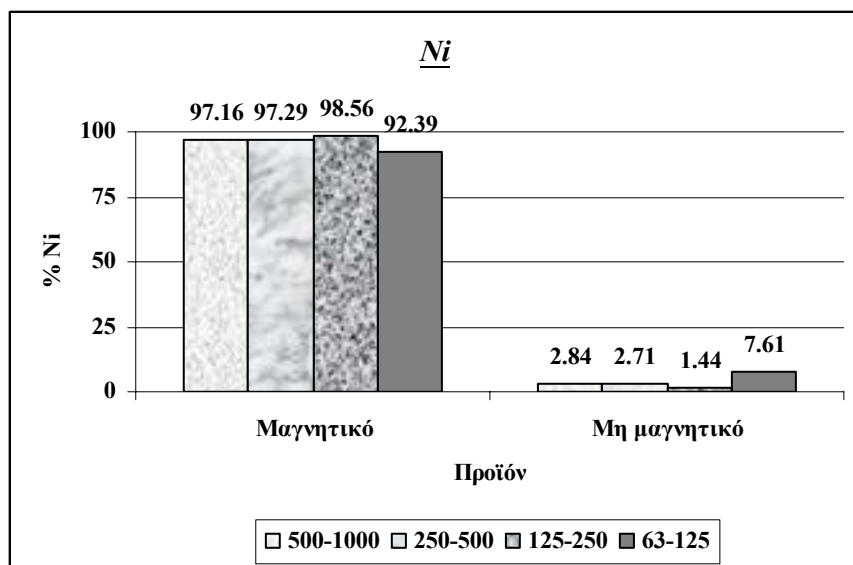


*Διάγραμμα 10.1: Κατανομή βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού*

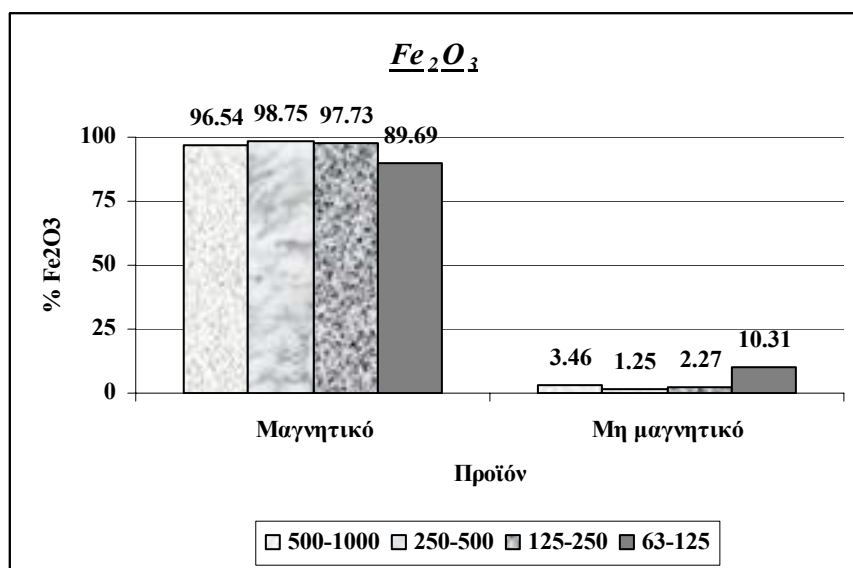
Με βάση το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κλασμάτων κατανέμεται στο μαγνητικό προϊόν. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο προχωρημένο στάδιο του έως τώρα εμπλουτισμού.

## 10.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

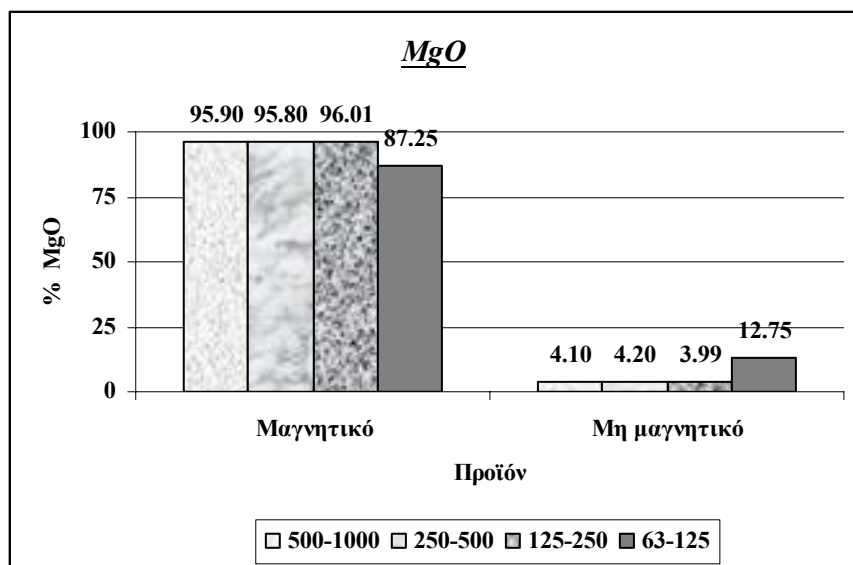
Οι κατανομές των Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO και αδιαλύτων φαίνονται στον πίνακα 10.3. Από τον πίνακα αυτόν σχηματίζονται τα ακόλουθα διαγράμματα:



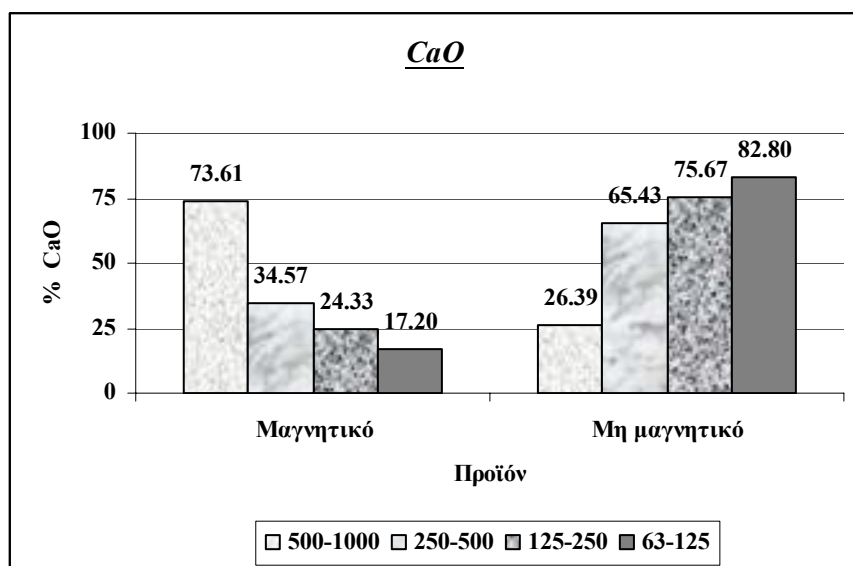
Διάγραμμα 10.2: Κατανομή Ni στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού



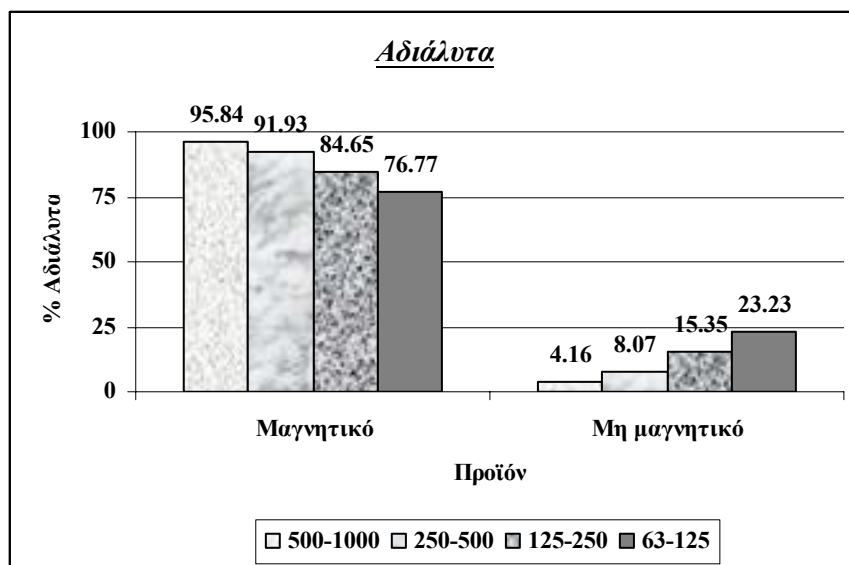
Διάγραμμα 10.3: Κατανομή Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού



*Διάγραμμα 10.4: Κατανομή MgO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού*



*Διάγραμμα 10.5: Κατανομή CaO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού*



*Διάγραμμα 10.6: Κατανομή αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού*

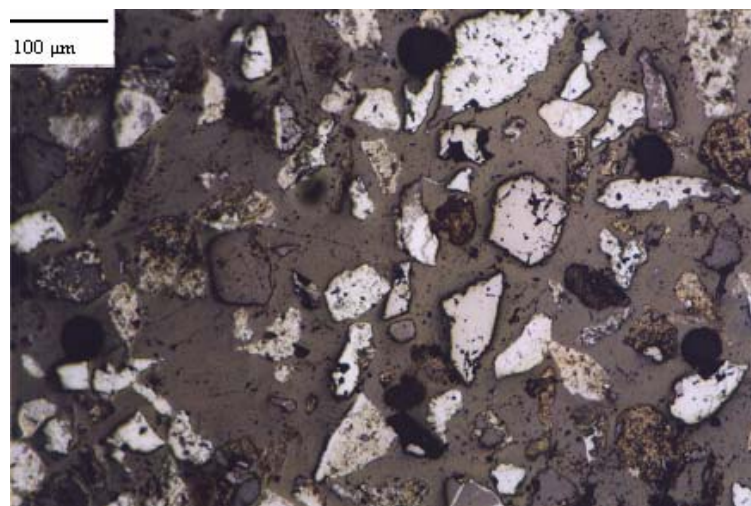
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι όλες οι ενώσεις που μετρήθηκαν εκτός από το CaO συγκεντρώνονται στα μαγνητικά. Το CaO συγκεντρώνεται στα μη μαγνητικά εξαιτίας του ασβεστίτη που περιέχει, ο οποίος είναι μη μαγνητικό ορυκτό. Παρατηρείται ακόμη ότι για το κλάσμα 500-1000  $\mu\text{m}$  το CaO συγκεντρώνεται στα μαγνητικά. Αυτό οφείλεται σε σφάλμα διαχωρισμού.

## 10.7 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Η μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού (MP 646-MP653) έδειξε τα εξής:

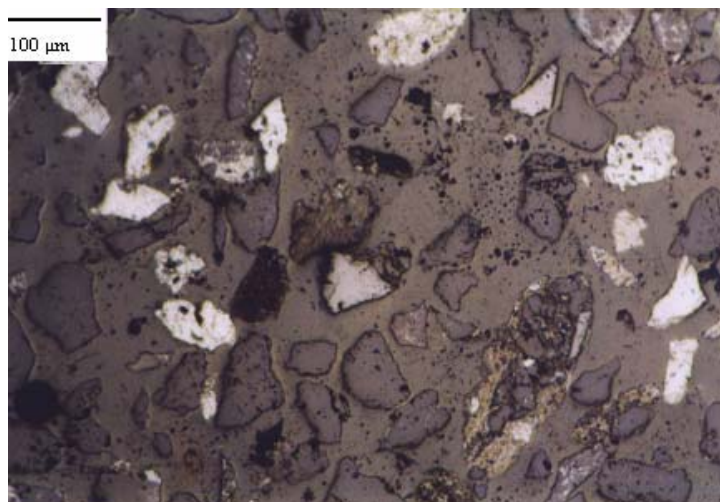
- Τομή 646 (+0,5 -1 mm μαγνητικά): Αρκετοί κόκκοι αιματίτη (άσπροι γυαλιστεροί) και συνδετικής ύλης, οι οποίοι περιέχουν εγκλείσματα πυριτικών ορυκτών. Δεν έχει επιτευχθεί αποδέσμευση.
- Τομή 648 (+250 -500  $\mu\text{m}$  μαγνητικά): Καλύτερη αποδέσμευση σε σχέση με το MP 646. Εξακολουθούν να υπάρχουν και σύμμικτοι κόκκοι. Υπάρχουν περισσότεροι κόκκοι αιματίτη. Η αποδέσμευση δεν είναι επαρκής.
- Τομή 649 (+250 -500  $\mu\text{m}$  μη μαγνητικά): Υπάρχουν πυριτικά ορυκτά (γκρι κόκκοι με εσωτερικές ανακλάσεις). Η αποδέσμευση εξακολουθεί να μην είναι επαρκής.

- Τομή 650 (+125 -250  $\mu\text{m}$  μαγνητικά): Υπάρχουν μερικοί αποδεσμευμένοι κόκκοι. Η αποδέσμευση δεν είναι πλήρης. Ο χαλαζίας δεν περιέχει εγκλείσματα. Ο αιματίτης περιέχει εγκλείσματα. Υπάρχει συνδετική ύλη πλούσια σε Ni η οποία περιέχει εγκλείσματα. Υπάρχει ακόμη και χρωμίτης (μαγνητικό υλικό), ο οποίος είναι αποδεσμευμένος, χωρίς εγκλείσματα και χωρίς ανακλάσεις.
- Τομή 651 (+125 -250  $\mu\text{m}$  μη μαγνητικά): Πάλι υπάρχουν σύμμικτοι κόκκοι. Υπερτερεί ο χαλαζίας. Μη επαρκής αποδέσμευση.
- Τομή 652 (+63 -125  $\mu\text{m}$  μαγνητικά): Πολύ καλύτερη αποδέσμευση, αλλά όχι πλήρης. Σχεδόν αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη, με ελάχιστα εγκλείσματα και ελεύθεροι κόκκοι χαλαζία. Ο αιματίτης και τα πυριτικά “υπερέχουν” από το επίπεδο (υψηλή σκληρότητα), η συνδετική ύλη είναι κάτω από το επίπεδο της τομής (χαμηλή σκληρότητα).



*Εικόνα 10.1: Κόκκοι αιματίτη, χρωμίτη και συνδετικής ύλης  
Μαγνητικό κλάσμα +63 -125  $\mu\text{m}$  (MP652), ανακλώμενο φως, // Nicols*

- Τομή 652 (+63 -125  $\mu\text{m}$  μη μαγνητικά): Υψηλότερη περιεκτικότητα Ni σε σχέση με τα άλλα μη μαγνητικά. Ελεύθεροι κόκκοι χαλαζία ως επί το πλείστον, αλλά και ελεύθεροι κόκκοι αιματίτη και συνδετικής ύλης. Η αποδέσμευση είναι καλή και, για το λόγο αυτό, η παρουσία μαγνητικών (αιματίτης και συνδετική ύλη) στο κλάσμα αυτό υποδηλώνει ότι για το σφάλμα διαχωρισμού οφείλεται ο μαγνητικός διαχωριστής.



**Εικόνα 10.2:** Αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία, συνδετική ύλη και ελάχιστοι κόκκοι αιματίτη  
Μη Μαγνητικό κλάσμα +63 -125  $\mu\text{m}$  (MP653),  
Ανακλώμενο φως, //Nicols

Συμπεράσματα από τη μικροσκοπική ανάλυση:

1. Μειωμένης της διαμέτρου κόκκων αυξάνεται η αποδέσμευση. Η παρουσία ελεύθερων κόκκων αιματίτη στα μαγνητικά και χαλαζία στα μη μαγνητικά φανερώνει ότι τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα του διαχωρισμού οφείλονται κυρίως στο ότι ο μαγνήτης αυτός δεν έχει καλή απόδοση στα ψιλά κλάσματα.
2. Το υλικό για περαιτέρω εμπλουτισμό χρειάζεται να θραυστεί σε μέγεθος μικρότερο των 100  $\mu\text{m}$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11°

### ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΣΕ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟ

#### 11.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΣΤΟ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟ

Με βάση τα προηγούμενα, σκοπός για πλήρη αποδέσμευση είναι η λειοτρίβηση του δείγματος σε κοκκομετρία -100  $\mu\text{m}$ . Η κοκκομετρία αυτή είναι πολύ μικρή. Για τόσο μικρό μέγεθος κόκκων επιλέγουμε λειοτρίβηση στο σφαιρόμυλο.

Ο σφαιρόμυλος, σε αντίθεση με το ραβδόμυλο, παράγει λιγότερο ομοιόμορφο κοκκομετρικά υλικό, σχηματίζοντας περισσότερα ψιλά.

Ελήφθησαν 4939.9 gr σύνθετου δείγματος MP 607. Αυτά λειοτριβήθηκαν σε ραβδόμυλο για 20 min. Το βάρος των ράβδων είναι 8.55 kg. Έγιναν 3 λειοτριβήσεις (υγρές) με ποσότητα δείγματος περίπου 1700 g και ποσότητα νερού 1l περίπου. Τα αποτελέσματα των λειοτριβήσεων είναι τα ακόλουθα:

*Πίνακας 11.1: Συνολικά αποτελέσματα τριών διαδοχικών περασμάτων σε ραβδόμυλο*

ΥΓΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΣΤΑ 100 $\mu\text{m}$	
+100 $\mu\text{m}$	2899.3
-100 $\mu\text{m}$	2040.6
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4939.9</b>

Το -100  $\mu\text{m}$  φυλάχθηκε και το +100  $\mu\text{m}$  ξαναλειοτριβήθηκε αυτή τη φορά σε σφαιρόμυλο. Οι σφαίρες ζύγιζαν 5852.7 gr. Έγιναν μέχρι επίτευξης τελικού αποτελέσματος 3 δοκιμές λειοτρίβησης εν υγρώ σε σφαιρόμυλο. Στις δοκιμές αυτές ο χρόνος λειοτρίβησης ήταν σταθερός, 20 min, και το κλάσμα +100  $\mu\text{m}$  της μιας δοκιμής αποτελούσε την τροφοδοσία της επόμενης. Στον πίνακα 9.19 φαίνονται τα αποτελέσματα που έδωσε ο σφαιρόμυλος:

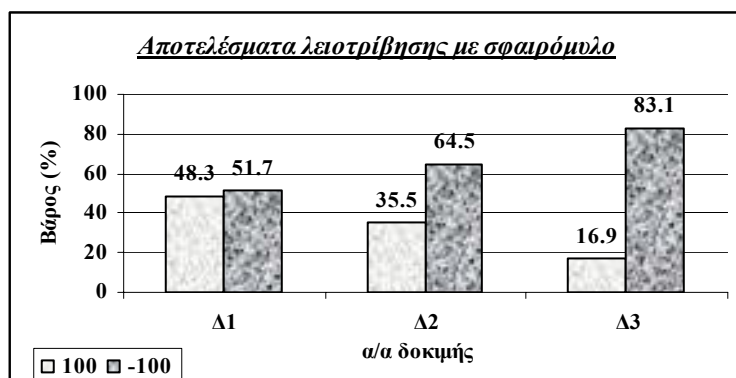


**Πίνακας 11.2:** Παρουσίαση αποτελεσμάτων σφαιρόμυλου

	Βάρος (g)			Βάρος (%)			% Επί αρχικής τροφοδοσίας		
	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 3	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 3	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 3
<b>+100</b>	1389.4	471.4	70.4	48.3	35.5	16.9	48.3	17.1	2.9
<b>-100</b>	1486.6	856.9	347.2	51.7	64.5	83.1	51.7	31.2	14.3
<b>Σύνολο</b>	2876	1328.3	417.6	100.0	100.0	100.0	100.0	48.3	17.1

Το -100  $\mu\text{m}$  από κάθε δοκιμή φυλάσσεται και το +100  $\mu\text{m}$  ξαναλειοτριβείται.

Με βάση τον Πίνακα 11.2 δημιουργείται το Διάγραμμα 11.1:



**Διάγραμμα 11.1:** Αποτελέσματα λειοτρίβησης με σφαιρόμυλο

- **Κυκλώνας:** Το -100  $\mu\text{m}$  του ραβδόμυλου και του σφαιρόμυλου οδηγήθηκε στον κυκλώνα για απομάκρυνση του -10  $\mu\text{m}$ . Τα αποτελέσματα του κυκλώνα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 11.3:** Αποτελέσματα κυκλώνα για το -100  $\mu\text{m}$

Μέγεθος ( $\mu\text{m}$ )	Βάρος (gr)	Βάρος (%)
<b>+10 -100</b>	3709.0	79.85
<b>-10</b>	935.9	20.15
<b>Σύνολο</b>	4644.9	100.00

- **Ξηρή κοσκίνιση δείγματος +10 -100  $\mu\text{m}$  στα 45  $\mu\text{m}$ :** Κοσκινίστηκε ξηρώς δείγμα 1667,0 gr από το κλάσμα +10 -100  $\mu\text{m}$ . Τα αποτελέσματα της εν λόγω ξηρής κοσκίνισης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 11.4:** Αποτελέσματα ξηρής κοσκίνισης στα 45  $\mu\text{m}$

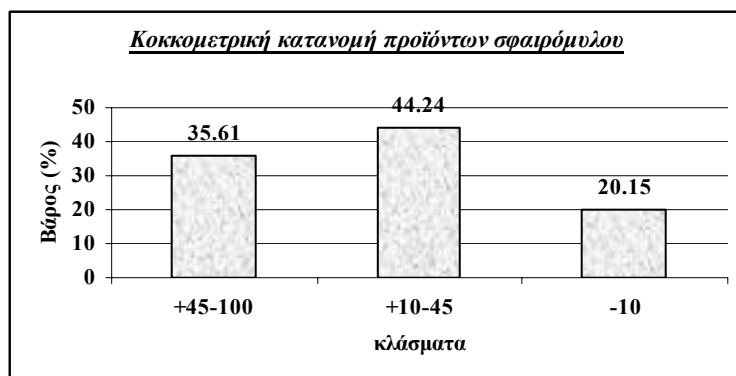
ΚΛΑΣΜΑ (MM)	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΒΑΡΟΣ (GR)	ΒΑΡΟΣ (%)
+10 -45	MP 656	743,4	44,60
+45 -100	MP 657	923,6	55,40
ΣΥΝΟΛΟ		1667,0	100,00

Από τους Πίνακες 11.2 και 11.3 σχηματίζεται ο τελικός πίνακας:

**Πίνακας 11.5:** Τελική κοκκομετρική κατανομή προϊόντων σφαιρόμυλου και ραβδόμυλου

Κοκκομετρική κατανομή			
Μέγεθος κόκκων	Κωδικός	Βάρος (%)	Βάρος επί αρχικού (%)
+45-100	MP 657	35.61	26.08
+10-45	MP 656	44.24	32.40
-10		20.15	14.75
Σύνολο		100.00	73.23

Από τον Πίνακα 11.5 παίρνουμε το Διάγραμμα 11.2:



**Διάγραμμα 11.2:** Κοκκομετρική κατανομή προϊόντων σφαιρόμυλου

Το κλάσμα -10  $\mu\text{m}$  είναι πολύ ψιλό και συνεπώς δεν επιδέχεται περαιτέρω επεξεργασία και για το λόγο αυτό απορρίπτεται ως έχει. Τα κλάσματα (+10 -45)  $\mu\text{m}$  και (+45 -100)  $\mu\text{m}$  συνθέτουν το τελικό προεμπλούτισμα. Συνεπώς, το προεμπλούτισμά αποτελείται κατά 55,4% από κόκκους διαμέτρου (+10-45)  $\mu\text{m}$  και κατά 44,6% από κόκκους διαμέτρου (+45 -100)  $\mu\text{m}$ .

Διατίθενται 2000 g υλικού έτοιμα για το βασικό στάδιο εμπλουτισμού. Το υλικό ομογενοποιείται και χωρίζεται με τη μέθοδο του σταυρού σε δείγματα 0,5 kg το καθένα.

## **11.5 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΥΛΙΚΟΥ**

Με βάση όσα αναφέρθηκαν σχηματίζονται οι ακόλουθοι συνοπτικοί πίνακες:

Πίνακας 11.6: Κοκκομετρική κατανομή υλικού στα διάφορα στάδια επεξεργασίας και αναλύσεις

	ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (%)	ΒΑΡΟΣ (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή επί αρχικού				
				Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)
ΑΥΤΟΛΕΙ- ΟΤΡΙΒΗΣΗ	ΠΡΟΕΜ	73.23	73.23	0.82	52.46	1.02	0.07	30.85	85.35	91.12	79.23	6.79	53.89
	ΣΤΕΙΡΑ	20.02	20.02	0.08	8.38	0.24	3.31	79.64	2.33	3.98	5.11	92.72	38.03
	ΨΙΛΑ	6.75	6.75	1.28	30.61	2.19	0.05	50.15	12.32	4.90	15.67	0.49	8.08
	<b>Σύνολο</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>0.70</b>	<b>42.16</b>	<b>0.95</b>	<b>0.71</b>	<b>41.92</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
ΡΑΒΔΟ- ΜΥΛΟΣ	+100	34.37	25.17	0.65	57.90	0.84	0.02	31.64	23.04	36.83	24.19	1.27	16.99
	+10	46.82	34.29	0.73	51.31	0.98	0.06	36.01	35.47	44.46	38.26	4.26	26.34
	ΨΙΛΑ	18.81	13.77	1.38	28.24	1.07	0.04	35.95	26.85	9.83	16.77	1.26	10.56
	<b>Σύνολο</b>	<b>100.00</b>	<b>73.23</b>	<b>0.83</b>	<b>49.24</b>	<b>0.95</b>	<b>0.05</b>	<b>34.50</b>	<b>85.35</b>	<b>91.12</b>	<b>79.23</b>	<b>6.79</b>	<b>53.89</b>
ΣΦΑΙΡΟ- ΜΥΛΟΣ	+10-100	79.85	20.10	0.48	65.09	0.25	0.02	28.76	13.50	33.06	5.83	0.77	12.33
	ΨΙΛΑ	20.15	5.07	1.33	29.42	0.80	0.05	43.05	9.54	3.77	18.36	0.50	4.66
	<b>Σύνολο</b>	<b>100.00</b>	<b>25.17</b>	<b>0.65</b>	<b>57.90</b>	<b>0.84</b>	<b>0.02</b>	<b>31.64</b>	<b>23.04</b>	<b>36.83</b>	<b>24.19</b>	<b>1.27</b>	<b>16.99</b>
<b>Αρχικό</b>			<b>100.00</b>	<b>0.73</b>	<b>36.38</b>	<b>1.57</b>	<b>0.42</b>	<b>38.86</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Πίνακας 11.7: Αναλύσεις και κατανομές ενώσεων επί του αρχικού στα ψιλά των εκάστοτε λειοτριβήσεων

Διεργασία	Κλάσμα	Βάρος (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή επί αρχικού				
			Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)
Αυτολειοτριβήση	-10 μm	6.75	1.28	30.61	2.19	0.05	50.15	12.32	4.90	15.67	0.49	8.08
Βαβδόμυλος	-10 μm	13.77	1.38	28.24	1.07	0.04	35.95	26.85	9.83	16.77	1.26	10.56
Σφαιρόμυλος	-10 μm	5.07	1.33	29.42	0.80	0.05	43.05	9.54	3.77	18.36	0.50	4.66
<b>Σύνολο</b>		<b>25.60</b>	<b>1.35</b>	<b>29.10</b>	<b>1.31</b>	<b>0.05</b>	<b>41.10</b>	<b>48.71</b>	<b>18.50</b>	<b>50.80</b>	<b>2.25</b>	<b>23.30</b>

*Πίνακας 11.8: Συνολικός Πίνακας αναλύσεων και κατανομών κλασμάτων ανηγμένος ως προς την αρχική τροφοδοσία*

Κλάσμα		ΒΑΡΟΣ (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα (%)
<b>+10-100 μm</b>	Βαβδόμυλος	34.29	0.73	51.31	0.98	0.06	36.01	35.47	44.46	38.26	4.26	26.34
	Σφαιρόμυλος	20.10	0.48	65.09	0.25	0.02	28.76	13.50	33.06	5.83	0.77	12.33
<b>+10-100 μm</b>	<i>Σύνολο</i>	54.38	0.64	56.40	0.71	0.05	33.33	49.00	77.07	50.19	3.51	40.65
<b>-10 μm</b>	<i>Σύνολο</i>	25.60	1.35	29.10	1.31	0.05	41.10	48.68	18.71	43.55	1.73	23.60
<b>Στείρα</b>	<i>Σύνολο</i>	20.02	0.08	8.38	0.24	3.31	79.64	2.32	4.21	6.26	94.76	35.75
<i>Υπολογιζόμενη τροφή</i>		<b>100.00</b>	<b>0.71</b>	<b>39.80</b>	<b>0.77</b>	<b>0.70</b>	<b>44.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
Αρχική τροφή		100.00	0.73	36.38	1.57	0.42	38.86					

*Πίνακας 11.9: Κατανομή επί αρχικού για το τελικό προεμπλούτισμα*

Προεμπλούτισμα	ΒΑΡΟΣ (%) επί αρχικού	Αναλύσεις (%)					Κατανομή επί αρχικού				
		Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα	Ni	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Αδιάλυτα
	<b>54.38</b>	<b>0.64</b>	<b>56.40</b>	<b>0.71</b>	<b>0.05</b>	<b>33.33</b>	49.00	77.07	50.19	3.51	40.65

Για τον σχηματισμό των παραπάνω πινάκων θεωρήθηκε ότι τροφοδοσία του ραβδόμυλου αποτελεί η αυτολειοτριβήση και τροφοδοσία του σφαιρόμυλου αποτελεί το προϊόν (+100)  $\mu\text{m}$  του ραβδόμυλου.

Με βάση την παρατήρηση αυτή προκύπτουν οι πίνακες 11.5 και 11.6 από τους οποίους λαμβάνεται μια γενική περιγραφή της έως τώρα κατανομής του υλικού. Συγκεκριμένα:

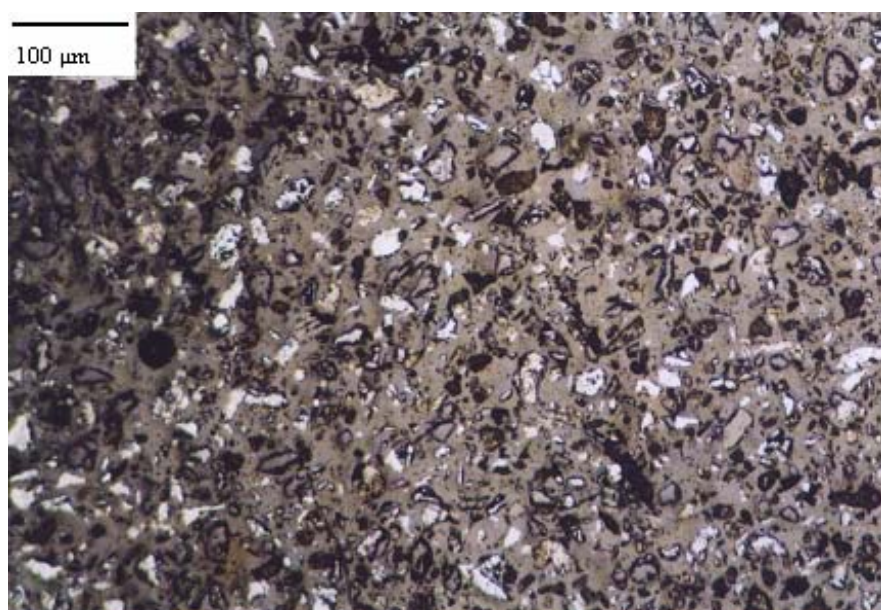
Σχεδόν το μισό του Ni (48.71%) και το μισό του MgO (50.80%) κατανεμήθηκε στα ψιλά κλάσματα (-10  $\mu\text{m}$ ). Εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους τα ψιλά κλάσματα δεν μπορούν να εμπλουτιστούν εκ νέου, με αποτέλεσμα το μισό Ni να χάνεται στα ψιλά. Αυτό δεν προκαλεί εντύπωση, γιατί, σύμφωνα με όσα ελέγχθησαν, η συνδετική ύλη είναι αυτή που είναι πλούσια σε Ni. Αυτό σε συνδυασμό με ότι η συνδετική αυτή ύλη είναι εύθρυπτη και έχει τάση να δημιουργεί πολλά ψιλά, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μαζί με τα ψιλά θα χαθεί και μεγάλη ποσότητα Ni. Επειδή το Ni βρίσκεται στα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά του λατερίτη, δεν προκαλεί εντύπωση ότι μαζί με το Ni στα ψιλά χάνεται επίσης σημαντική ποσότητα MgO.

Παρατηρείται επίσης ότι η μεγαλύτερη ποσότητα του CaO (92,72%) απομακρύνθηκε στα στείρα από τα πρώτα στάδια εμπλουτισμού. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η κυρίως μάζα του ασβεστίτη απομακρύνθηκε εύκολα από το μέταλλευμα, με έναν απλό μαγνητικό διαχωρισμό. Όπως επίσης ήταν αναμενόμενο, γενικά ο ασβεστίτης δεν ακολουθεί τα ψιλά των διεργασιών, και αυτό οφείλεται στο ότι η συνδετική ύλη είναι φτωχή σε αυτόν.

Όσον αφορά τέλος τα αδιάλυτα, περίπου το ένα τέταρτο από αυτά (23.30%) απομακρύνθηκε μαζί με τα ψιλά. Παραπάνω από τα μισά από αυτά (53.9%) απομακρύνθηκαν από τον μαγνητικό διαχωρισμό και αποτέλεσαν τροφοδοσία του ραβδόμυλου. Όπως έχει αναφερθεί, το 85% των αδιαλύτων είναι πυριτικά ορυκτά, δηλαδή χαλαζίας. Δεδομένου ότι ο χαλαζίας είναι μη μαγνητικός θα υπολόγιζε κανείς ότι η μεγαλύτερη μάζα του έπρεπε να απομακρυνθεί από τα πρώτα κιόλας στάδια εμπλουτισμού (μαγνητικός διαχωρισμός και βαρέα υγρά). Επειδή όμως ο χαλαζίας – όπως θα δείξουν οι μικροσκοπικές αναλύσεις – σχηματίζει σύμμικτους κόκκους με τον αιματίτη, δεν είναι εύκολη η απομάκρυνσή του. Όπως θα φανεί, σύμμικτοι κόκκοι και εγκλείσματα χαλαζία στον αιματίτη, ή και το αντίστροφο, εξακολουθούν να υπάρχουν και σε μικρά μεγέθη. Το προσυμπύκνωμα επομένως αποτελεί το 54.38% του αρχικού δείγματος και η ανάλυσή του δίνεται από τον Πίνακα 11.9

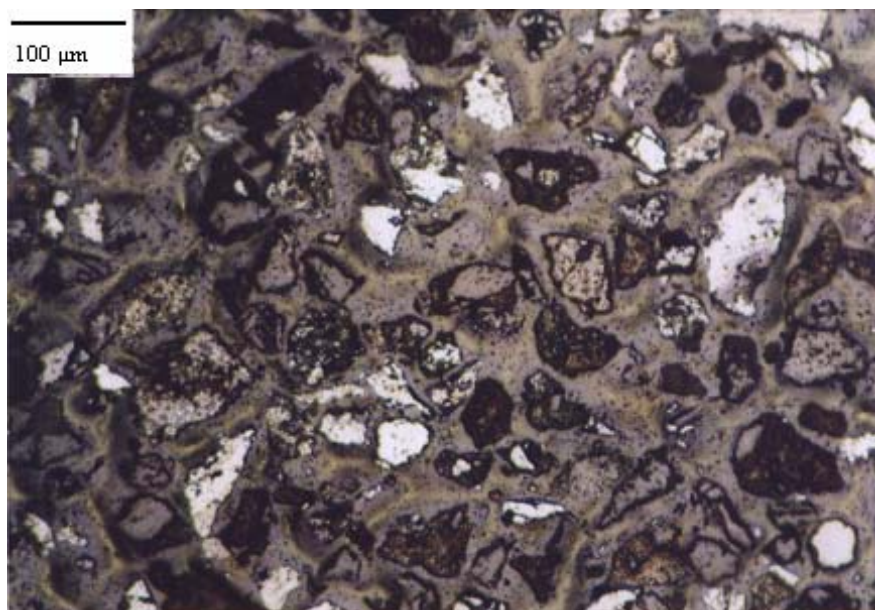
## 11.6 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟΥ

- ✓ Κλάσμα +10-45  $\mu\text{m}$  (MP 656): Στο κλάσμα αυτό υπάρχουν αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία, χρωμίτη και συνδετικού υλικού. Αρκετοί όμως κόκκοι χαλαζία έρχονται σε εξωτερική επαφή με αιματιτικό υλικό που προέρχεται από τη συνδετική ύλη, πράγμα που προβλέπεται ότι θα δυσκολέψει την επίπλευση.



*Εικόνα 11.1: Κόκκοι χαλαζία, αιματίτη και συνδετικής ύλης  
Κλάσμα +10 -45  $\mu\text{m}$  (MP656), ανακλώμενο φως, // Nicols*

- ✓ Κλάσμα +45 - 100  $\mu\text{m}$  (MP 657): Το κλάσμα +45 -100  $\mu\text{m}$  ομοιάζει πολύ ως προς τις ορυκτολογικές παρατηρήσεις με το κλάσμα +10 -45  $\mu\text{m}$ , με τη μόνη διαφορά ότι είναι πιο χοδρόκοκκο από το τελευταίο. Και στο μέγεθος αυτό ο χαλαζίας περιβάλλεται από αιματιτικό υλικό της συνδετικής ύλης, πράγμα που οδηγεί για ακόμη μια φορά στο συμπέρασμα ότι η επίπλευση προβλέπεται να δυσκολευθεί σημαντικά.



*Εικόνα 11.2: Κόκκοι χαλαζία, συνδετικής ύλης και ελάχιστοι κόκκοι αιματίτη  
Κλάσμα +45 -100  $\mu\text{m}$  (MP657), ανακλώμενο φως, // Nicols*

## 11.7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 9,10,11

Στόχος των διεργασιών που περιγράφηκαν στα κεφάλαια αυτά ήταν να εντοπισθεί το μέγεθος κόκκων στο το οποίο επιτυγχάνεται επαρκής αποδέσμευση και να εξετασθεί η αποδοτικότητα του μαγνητικού διαχωρισμού στο μέγεθος αυτό.

Προκειμένου να εντοπισθεί το μέγεθος κόκκων ώστε να επιτευχθεί επαρκής αποδέσμευση, έγιναν λειοτριβήσεις σε διάφορους χρόνους (0, 5, 10, 17 και 30 min) επί του σύνθετου δείγματος (MP 607). Η ορυκτολογική ανάλυση των προϊόντων που δημιουργήθηκαν έδειξε ότι το μέγεθος πρέπει να είναι 10-100  $\mu\text{m}$ . Το μέγεθος αυτό των κόκκων είναι αρκετά μικρό και γενικά ο εμπλουτισμός μεταλλευμάτων σε τόσο μικρά μεγέθη είναι δύσκολος.

Στο μέγεθος αυτό έγινε μαγνητικός διαχωρισμός, ο οποίος όμως δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα, λόγω χαμηλής απόδοσης του μαγνήτη σε τόσο ψιλά κλάσματα. Αυτό υποδηλώνεται από τη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού, όπου φάνηκε πως, παρά την επαρκή αποδέσμευση, στο μαγνητικό κλάσμα υπήρχαν μη μαγνητικά υλικά (χαλαζίας) και το αντίστροφο.

Επειδή το μέγεθος κόκκων στο οποίο θα υπάρξει επαρκής αποδέσμευση είναι πολύ μικρό (<100  $\mu\text{m}$ ) επιλέγεται για τη λειοτρίβησή του ο σφαιρόμυλος. Λειοτριβείται το σύνθετο δείγμα στο επιθυμητό μέγεθος και εξετάζεται το δείγμα



μικροσκοπικά. Παρ' όλο όμως που επετεύχθη επαρκής αποδέσμευση κόκκων, παρατηρείται πολύ συχνά η προσκόλληση της συνδετικής ύλης στην εσωτερική επιφάνεια ορισμένων κόκκων χαλαζία, πράγμα που, όπως τονίστηκε, είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για τις μετέπειτα δοκιμές της επίπλευσης και του φυγοκεντρικού διαχωριστή (Falcon).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12°

### ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

#### 12.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής του εσωτερικού κυπέλου σε 70 rpm και η πίεση του νερού στα 3 psi. Διαθέτονται 500 g μεταλλεύματος 10-100  $\mu\text{m}$  το οποίο, όπως ελέγχθη στο προηγούμενο κεφάλαιο, προήλθε μετά από ομογενοποίηση και τεταρτοδιαίρεση των μαγνητικών και ενδιάμεσων προϊόντων του μαγνητικού διαχωριστή υψηλής έντασης πεδίου και λειοτρίβηση σε ραβδόμυλο και σε σφαιρόμυλο.

Το δείγμα τροφοδοτείται υπό μορφή αραιού πολφού στο Falcon. Έγιναν τέσσερα διαφορετικά περάσματα. Κάθε φορά συλλέγονται από την απορροή τα βαριά και από την υπερχειλίση τα ελαφρά. Τα βαριά φυλάσσονται. Τα ελαφρά του κάθε περάσματος αποτελούν κάθε φορά την τροφοδοσία του Falcon για το επόμενο πέρασμα.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα που έδωσε το Falcon.

*Πίνακας 12.1: Αποτελέσματα του Falcon*  
(K: καταβυθισθέντα, Y: υπερχειλισθέντα)

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ (%)
K1	MP 658	98,6	22.01
K2	MP 659	97,5	21.77
K3	MP 660	93,1	20.78
K4	MP 661	54,1	12.08
Y	MP 662	104,6	23.22
<i>Σύνολο</i>	-	<i>447,9</i>	<i>100.00</i>

## **12.8 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ**

Στους πίνακες 12.2, 12.3 και 12.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του φυγοκεντρικού διαχωρισμού καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Παρατηρείται ότι το 76.65% του υλικού συγκρατήθηκε στα τρία περάσματα, αποτελώντας το βαρύ κλάσμα. Το υπόλοιπο 23,35% αποτελεί το ελαφρύ κλάσμα. Όπως είναι αναμενόμενο, η ποσότητα των συγκρατηθέντων κλασμάτων ελαττώνεται σταδιακά με τα περάσματα από 22.01% σε 12.08%.

Πίνακας 12.2: Αποτελέσματα του Falcon

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ FALCON													
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
K1	658	98.60	22.01	0.653	54.705	0.979	0.047	30.868	21.42	24.19	19.89	19.65	19.58
K2	659	97.50	21.77	0.643	55.798	0.984	0.028	28.279	20.86	24.40	19.77	11.58	17.74
K3	660	93.10	20.79	0.690	51.437	1.126	0.051	31.825	21.38	21.48	21.59	20.32	19.06
K4	661	54.10	12.08	0.681	46.001	1.086	0.041	30.350	12.26	11.16	12.11	9.60	10.56
Y	662	104.60	23.35	0.692	40.004	1.236	0.087	49.127	24.09	18.77	26.64	38.84	33.06
Σύνολο		447.90	100.00	0.671	49.779	1.084	0.052	34.705	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 12.3: Αθροιστικός συγκρατηθέντα Falcon

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΘΕΝΤΑ												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	98.6	22.01	0.653	54.705	0.979	0.047	30.868	21.42	24.19	19.89	19.65	19.58
2	196.1	43.78	0.648	55.249	0.982	0.037	29.581	42.28	48.59	39.66	31.23	37.32
3	289.2	64.57	0.662	54.022	1.028	0.042	30.303	63.65	70.07	61.25	51.55	56.38
4	343.3	76.65	0.665	52.758	1.037	0.042	30.311	75.91	81.23	73.36	61.16	66.94

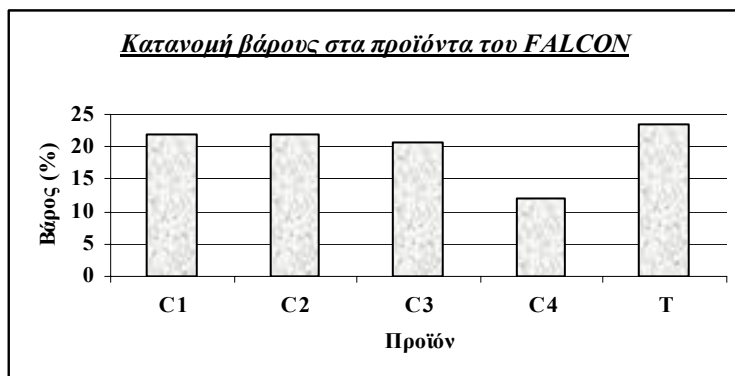
Πίνακας 12.4: Αθροιστικώς διαφυγόντα Falcon

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΘΕΝΤΑ												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	349.3	77.99	0.676	48.389	1.113	0.054	35.788	78.58	75.81	80.11	80.35	80.42
2	251.8	56.22	0.689	45.520	1.163	0.064	38.696	57.72	51.41	60.34	68.77	62.68
3	158.7	35.43	0.688	42.048	1.185	0.071	42.726	36.35	29.93	38.75	48.45	43.62
4	104.6	23.35	0.692	40.004	1.236	0.087	49.127	24.09	18.77	26.64	38.84	33.06

Πίνακας 12.4: Αποτελέσματα Falcon ανηγμένα ως προς το αρχικό δείγμα

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ FALCON ΑΝΗΓΜΕΝΑ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ													
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (%)	Βάρη (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
K1	658	22.01	11.97	0.65	54.71	0.98	0.05	30.87	10.50	18.65	9.98	0.69	7.96
K2	659	21.77	11.84	0.64	55.80	0.98	0.03	28.28	10.22	18.81	9.92	0.41	7.21
K3	660	20.79	11.30	0.69	51.44	1.13	0.05	31.82	10.47	16.55	10.84	0.71	7.75
K4	661	12.08	6.57	0.68	46.00	1.09	0.04	30.35	6.01	8.60	6.08	0.34	4.29
Y	662	23.35	12.70	0.69	40.00	1.24	0.09	49.13	11.80	14.46	13.37	1.36	13.44
<b>Σύνολο</b>	<b>607</b>	<b>100.00</b>	<b>54.38</b>	<b>0.67</b>	<b>49.78</b>	<b>1.08</b>	<b>0.03</b>	<b>34.71</b>	<b>49.00</b>	<b>77.07</b>	<b>50.19</b>	<b>3.51</b>	<b>40.65</b>

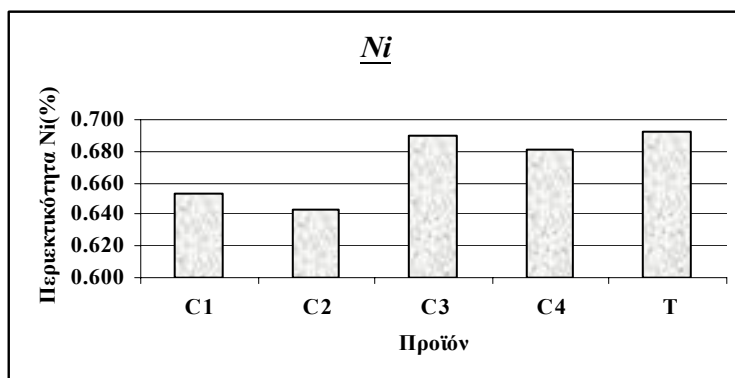
Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει το Διάγραμμα 12.1:



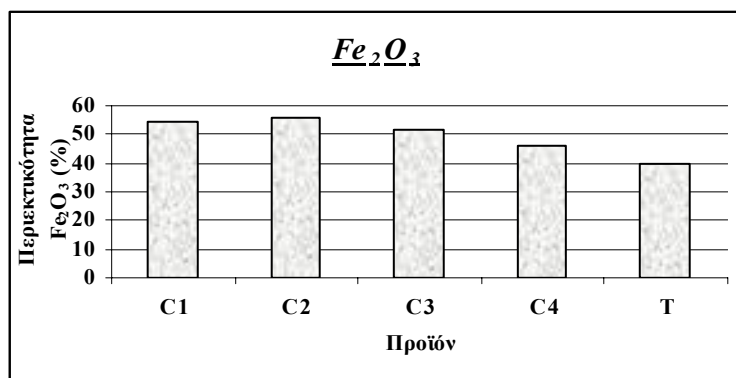
*Διάγραμμα 12.1: Κατανομή βάρους στα προϊόντα του Falcon*

## 12.9 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ

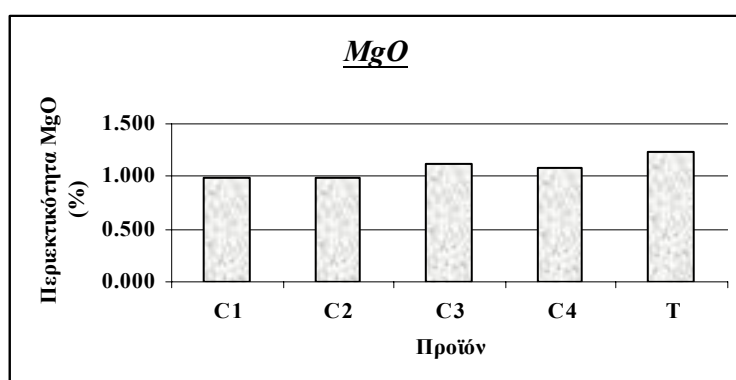
Από τους πίνακες 12.2, 12.3 και 12.4 προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



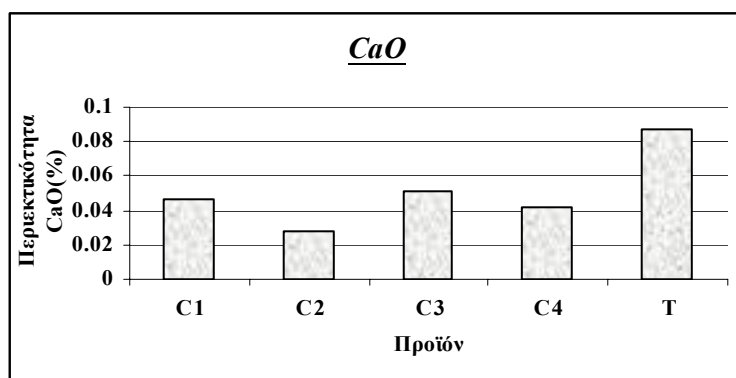
*Διάγραμμα 12.2: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα του Falcon*



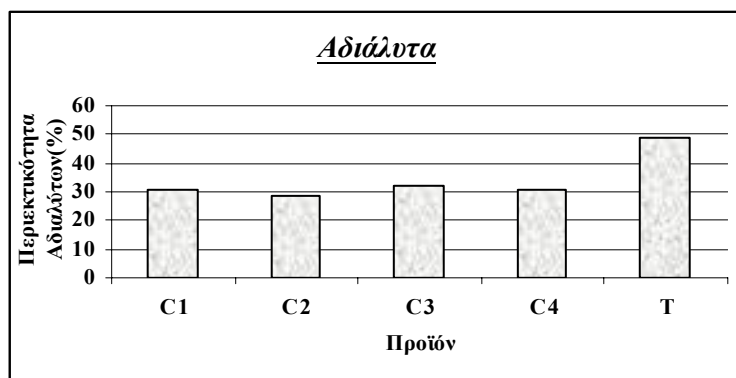
Διάγραμμα 12.3: Περιεκτικότητα  $Fe_2O_3$  στα προϊόντα του Falcon



Διάγραμμα 12.4: Περιεκτικότητα  $MgO$  στα προϊόντα του Falcon



Διάγραμμα 12.5: Περιεκτικότητα  $CaO$  στα προϊόντα του Falcon



Διάγραμμα 12.6: Περιεκτικότητα αδιάλυτων στα προϊόντα του Falcon

## 12.10 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ

Ο Πίνακας 12.5 δημιουργήθηκε θεωρώντας ως προϊόν τα συγκρατηθέντα κλάσματα και ως απόρριμμα τα διαφυγόντα κλάσματα. Τα  $c_{\max}$  για κάθε στοιχείο είναι τα ίδια με αυτά του πίνακα 6.11 και τα  $f'$  είναι οι συνολικές αναλύσεις των κλάσμάτων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.2. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο τύπος (4.6) της παραγράφου 4.3.6.

Στον πίνακα 10.5 φαίνεται ο βαθμός διαχωρισμού για κάθε κλάσμα, και από τον πίνακα αυτόν σχηματίζεται το Διάγραμμα 10.7.

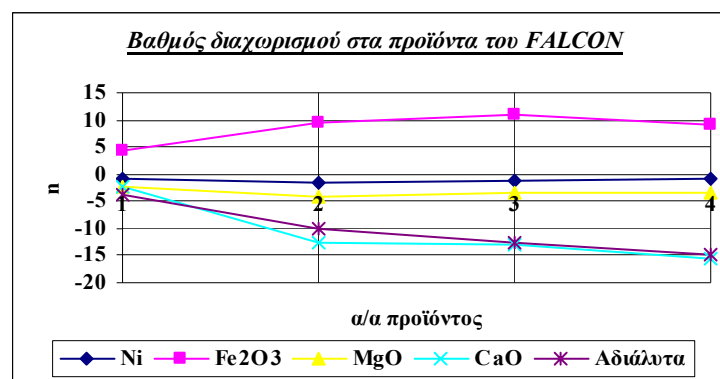
Με βάση τον Πίνακα 10.5 και το Διάγραμμα 10.7 παρατηρείται ότι το Ni, το MgO, το CaO και τα αδιάλυτα έχουν αρνητικό βαθμό διαχωρισμού και συγκαταλέγονται στα διαφυγόντα. Το δε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> έχει θετικό βαθμό διαχωρισμού και αποτελεί το συγκρατηθέν προϊόν. Παρατηρείται ακόμη ότι το Ni που ενδιαφέρει έχει μικρή απόλυτη τιμή βαθμού διαχωρισμού.

Από τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς ότι δεν έλαβε χώρα εμπλουτισμός του Ni, καθώς αφ' ενός μεν δεν απομακρύνθηκε το CaO από τα προϊόντα, αφ' ετέρου γιατί οι απόλυτες τιμές του βαθμού διαχωρισμού του Ni είναι πολύ μικρές. Συνεπώς, ο διαχωρισμός με τον φυγοκεντρικό διαχωριστή κρίνεται ανεπαρκής.



Πίνακας 12.5: Βαθμός Διαχωρισμού για τα διάφορα βαρυτομετρικά προϊόντα

α/α	Αθροιστ. Καταβυθισθέντα (προϊόντα)					Αθροιστ. Υπερχειλίσθέντα (απορρίμματα)					Βαθμός διαχωρισμού				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	0.65	54.71	0.98	0.05	30.87	0.68	48.39	1.11	0.05	35.79	-0.67	4.34	-2.18	-2.37	-3.73
2	0.65	55.25	0.98	0.04	29.58	0.69	45.52	1.16	0.06	38.70	-1.70	9.58	-4.24	-12.56	-9.90
3	0.66	54.02	1.03	0.04	30.30	0.69	42.05	1.19	0.07	42.73	-1.03	10.96	-3.41	-13.03	-12.54
4	0.66	52.76	1.04	0.04	30.31	0.69	40.00	1.24	0.09	49.13	-0.83	9.13	-3.38	-15.51	-14.86

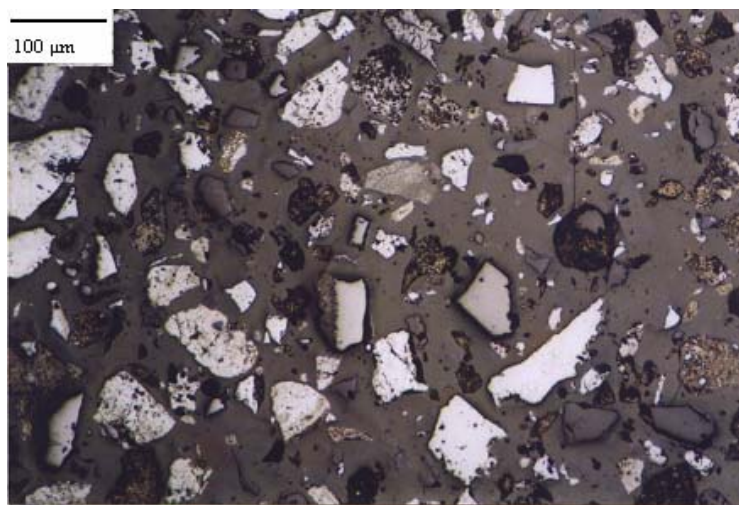


Διάγραμμα 12.7: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει των διαφόρων κλασμάτων

## 12.11 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Τα αποτελέσματα της μικροσκοπικής εξέτασης των προϊόντων του FALCON έχουν ως εξής:

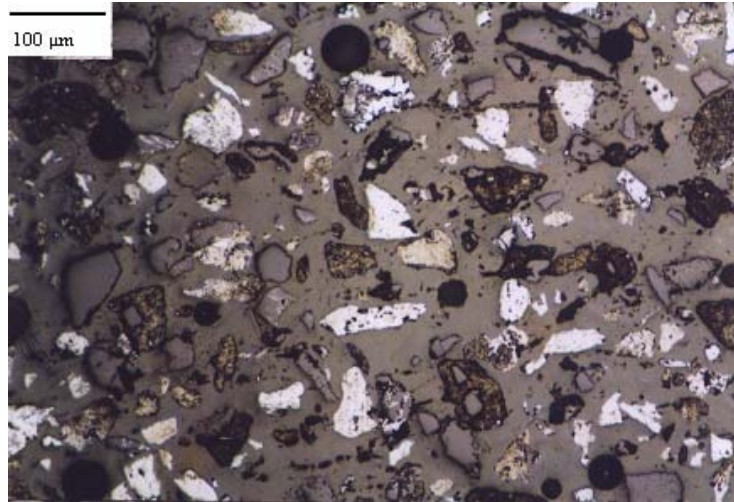
- ✓ Βαριά πρώτου περάσματος (MP 658): Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι στο προϊόν αυτό υπάρχουν αρκετοί κόκκοι αιματίτη, συνδετικής ύλης, χρωμίτη αλλά και κόκκοι χαλαζία. Υπάρχουν αρκετοί αποδεσμευμένοι κόκκοι, αλλά και σε αρκετούς υπάρχουν εγκλείσματα (Βλέπε Εικόνα 10.1)



**Εικόνα 12.1:** Κόκκοι αιματίτη, χρωμίτη, συνδετικής ύλης και λιγότεροι κόκκοι χαλαζία Βαρύ προϊόν πρώτου περάσματος του Falcon (MP 658), ανακλώμενο φως, // Nicols

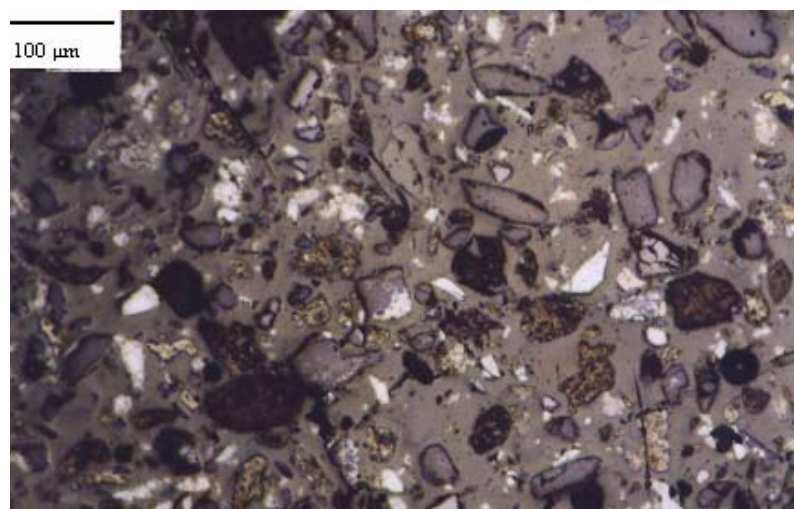
- ✓ Βαριά δεύτερου περάσματος (MP 659): Στο προϊόν αυτό εξακολουθούν να υπάρχουν κόκκοι χαλαζία, χρωμίτη, αιματίτη και συνδετικής ύλης. Η διαφορά όμως από το προηγούμενο προϊόν είναι στο ότι οι κόκκοι του αιματίτη εμφανίζονται ίσως με περισσότερα εγκλείσματα. Είναι σαφές όμως ότι υπάρχουν περισσότεροι σύμμικτοι κόκκοι σε σχέση με το προϊόν του πρώτου περάσματος.
- ✓ Βαριά τρίτου περάσματος (MP 660): Παρατηρείται ποσοτική διαβάθμιση σύμμικτων κόκκων και χαλαζία, που αυξάνουν με το βαθμό του απορρίμματος. Και εδώ η παρουσία της συνδετικής ύλης είναι σημαντική και για το λόγο αυτό το Falcon αδυνατεί να δώσει επιθυμητά αποτελέσματα.

- ✓ Βαριά τέταρτον περάσματος (MP 661): Εξακολουθεί να αυξάνεται η περιεκτικότητα σε σύμμικτους κόκκους και μαζί με αυτήν αυξάνει και η περιεκτικότητα σε χαλαζία, αλλά και σε συνδετική ύλη (Βλέπε Εικόνα 12.2).



**Εικόνα 12.2:** Κόκκοι αιματίτη, συνδετικής ύλης και χαλαζία  
Βαρύ προϊόν τέταρτου περάσματος του Falcon (MP661), ανακλώμενο φως, // Nicols

- ✓ Ελαφρά Falcon (MP 662): Στο ελαφρύ προϊόν του Falcon υπάρχουν πολλοί κόκκοι χαλαζία, αλλά και συνδετικής ύλης. Ο αριθμός κόκκων του αιματίτη είναι σαφώς μικρότερος. Όπως και στα προηγούμενα κλάσματα, εξακολουθούν να υπάρχουν κόκκοι χαλαζία σε επαφή με αιματίτη, πράγμα που δυσχεραίνει τα αποτελέσματα του εμπλουτισμού.



**Εικόνα 12.3:** Κόκκοι χαλαζία, συνδετικής ύλης και ελάχιστοι κόκκοι αιματίτη  
Ελαφρά Falcon (MP 662), ανακλώμενο φως, // Nicols

## 12.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Όπως είχε προαναφερθεί στο κεφάλαιο 9, παρά το λεπτό του μεγέθους της τροφοδοσίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή, στο μέταλλευμα εξακολουθούν να υπάρχουν κόκκοι χαλαζία σε επαφή με τον αιματίτη. Αυτό ήταν αναμενόμενο ότι θα δημιουργούσε προβλήματα στον περαιτέρω εμπλουτισμό του μεταλλεύματος.

Πράγματι, ο φυγοκεντρικός διαχωριστής έδωσε τα ικανοποιητικότερα αποτελέσματα στο προϊόν του πρώτου περάσματος. Αυξανόμενου του βαθμού του απορρίμματος, αύξανε και η περιεκτικότητα σε σύμμικτους κόκκους και σε χαλαζία.

Γενικά, όπως ήδη προαναφέρθηκε τα αποτελέσματα του Falcon δεν ήταν ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη κόκκων συνδετικού υλικού με εγκλείσματα από χαλαζία, καθώς επίσης και στους σύμμικτους κόκκους χαλαζία – αιματίτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13°

### ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ

#### 13.3 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ

##### 13.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η τεταρτοταγής αμίνη ανήκει στην κατηγορία των ιονιζόμενων κατιονικών συλλεκτών. Αυτό σημαίνει ότι αποτελείται από ένα οργανικό και ένα πολικό τμήμα και ο ιονισμός του πολικού της τμήματος στο νερό λαμβάνει θετικό φορτίο. Συνήθως διατίθεται υπό μορφή αλάτων ( $R_4NCl$ )

Μέσα στο νερό το άλας της τεταρτοταγούς αμίνης διίσταται, όπως και τα υπόλοιπα άλατα κατιονικών συλλεκτών. Διαφοροποιείται όμως από τους υπόλοιπους κατιονικούς συλλέκτες στο ότι η συγκέντρωση του κατιόντος στις τεταρτοταγείς αμίνες είναι ανεξέρτητη από το  $PH$ , πράγμα που δεν ισχύει στους υπόλοιπους λόγω ιονισμού της αμίνης ( $RNH_2 + H_2O \leftrightarrow RNH_3^+ + OH^-$ ).

##### 13.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ

Διατέθηκαν 500 g δείγματος, προϊόν το οποίο προέκυψε από τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 10. Το δείγμα έχει κοκκομετρία +10 -100  $\mu m$ .

Επιλέχθηκε η επίπλευση γιατί είναι μία μέθοδος ιδανική για τον διαχωρισμό λεπτόκοκκων υλικών. Δεδομένου ότι το μέταλλευμα του λατερίτη αποτελείται από πολύ μικρούς σύμμικτους κόκκους, για να επιτευχθεί επαρκής αποδέσμευση έπρεπε να λειοτριβηθεί σε χαμηλή κοκκομετρία (-100  $\mu m$ ). Η επίπλευση είναι μία από τις λίγες μεθόδους οι οποίες μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε τόσο λεπτόκοκκο υλικό.

Σκοπός της επίπλευσης με τεταρτοταγή αμίνη είναι ο διαχωρισμός του αιματίτη από τα πυριτικά. Η επίπλευση προς διαχωρισμό πυριτικών από αιματίτη είναι ανάστροφη [13]. Αυτό σημαίνει ότι θα επιπλεύσει το απόρριμμα, δηλαδή τα πυριτικά.

Το σημείο μηδενικού δυναμικού του αιματίτη είναι σε  $\text{pH}=5-5,5$ , ενώ το αντίστοιχο των πυριτικών είναι σε  $\text{pH}= 2,5-3$ . Άρα, επιλέγουμε περιβάλλον επίπλευσης σε  $\text{pH} = 4,5$ . Η ρύθμιση του  $\text{pH}$  θα γίνει με τη βοήθεια προσθήκης στον πολφό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ως ρυθμιστικό αντιδραστήριο.

Η διαδικασία έχει ως εξής: Σε πρώτη φάση προκύπτουν 73 ml διαλύματος το οποίο αποτελείται από τις ακόλουθες ενώσεις:

- ✓ 70 ml diesel: Πρόκειται για μη ιονιζόμενο συλλέκτη (δε διασπάται στο νερό) ο οποίος χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την αμίνη ως ενισχυτικό επίπλευσης.
- ✓ 10 g διμέθυλο-διστεατικό χλωριούχο αμμώνιο (αμίνη): Χρησιμοποιείται ως κατιονικός συλλέκτης με σκοπό να καταστήσει την επιφάνεια των πυριτικών υδρόφοβη
- ✓ 3 ml pine oil (πενκέλαιο): Πρόκειται για φυσικό προϊόν με αρωματικούς δακτυλίους στο μόριό του και αποτελεί ένα από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα αφριστικά διαλύματα.

Τοποθετούμε στη μεσαία κυψέλη (δύλιτρη) τα 500 g δείγματος προσθέτοντας νερό τόσο, ώστε η στάθμη του πολφού να βρίσκεται λίγο πιο κάτω από την υπερχειλίση. Η ανάδευση ξεκινά και μετράται το  $\text{pH}$  του πολφού, το οποίο και υπολογίζεται ότι είναι 8.37. Προσθέτοντας κατάλληλη ποσότητα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ρυθμίζουμε το  $\text{pH}$  στο 4,5.

Έχοντας πάντα σε λειτουργία την ανάδευση ξεκινάει η δοκιμή προσθέτοντας στην κυψέλη ποσότητα αντιδραστηρίου που αντιστοιχεί σε 1 kg αμίνης ανά τόνο μεταλλεύματος. Η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με 3,65 ml διαλύματος. Αναδεύεται ο πολφός για 5 min σε 1500 rpm και κατόπιν ξεκινάει η επίπλευση ανοίγοντας τον αέρα. Συλλέγεται το επιπλεύσαν απόρριμμα.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές, προσέχοντας κάθε φορά η τιμή του  $\text{pH}$  να παραμένει σταθερή στο 4,5. Με τον τρόπο αυτό ελήφθησαν τρία απορρίμματα και ένα συμπύκνωμα. Τα μεν απορρίμματα διηθούνται με κενό και κατόπιν ξηραίνονται, στο δε συμπύκνωμα προστίθεται μια μικρή ποσότητα κροκιδωτικού διαλύματος, υπερχειλίζεται το νερό και στο τέλος οδηγείται κι αυτό στο ξηραντήριο. Λαμβάνονται τα βάρη των προϊόντων και γίνονται χημικές αναλύσεις σε δείγματα από αυτά.

Τα αποτελέσματα που έδωσε η επίπλευση με τεταρτοταγή αμίνη φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

*Πίνακας 13.1: Αποτελέσματα επίπλευσης*

Δείγμα	Κωδικός	Βάρος (g)
T1 (επιπλεύσαν)	MP 663	44,8
T2	MP 664	29,0
T3	MP 665	28,1
C (καταβυθισθέν)	MP 666	385,2
Σύνολο	-	487,1

### 13.3.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπλευσης με αμίνη καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Πίνακας 13.2: Αποτελέσματα επίπλευσης με αμίνη

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ													
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
T1	663	44.80	9.20	0.756	44.346	1.296	0	44.467	11.96	10.42	13.64	-	11.78
T2	664	29.00	5.95	0.735	42.191	1.189	0	39.280	7.52	6.42	8.10	-	6.74
T3	665	28.10	5.77	0.720	42.728	1.149	0	51.645	7.14	6.30	7.58	-	8.58
C	666	385.20	79.08	0.540	38.059	0.781	0	32.004	73.38	76.87	70.68	-	72.90
Σύνολο		487.10	100.00	0.582	39.153	0.874	0	34.716	100.00	100.00	100.00	-	100.00

Πίνακας 13.3: Αθροιστικώς επιπλεύσαν

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΑΝ (ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ)												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	44.8	9.19729	0.756	44.346	1.296	0	44.467	11.96	10.42	13.64	-	11.78
2	73.8	15.1509	0.748	43.499	1.254	0	42.429	19.48	16.83	21.74	-	18.52
3	101.9	20.9197	0.740	43.287	1.225	0	44.970	26.62	23.13	29.32	-	27.10



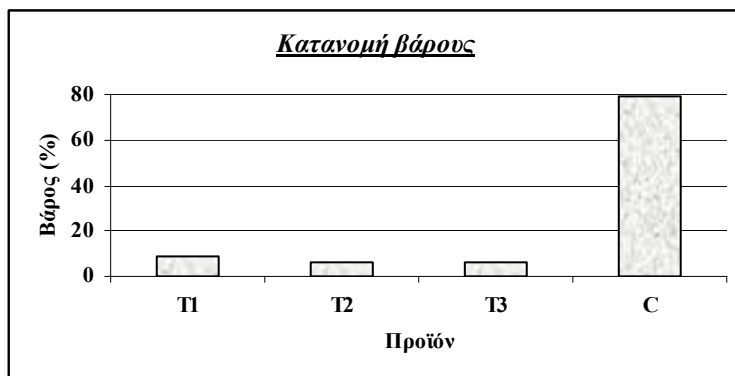
Πίνακας 13.4: Αθροιστικώς παραμένον

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΘΕΝ (ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ)												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	442.3	90.8027	0.564	38.627	0.831	0	33.729	88.04	89.58	86.36	-	88.22
2	413.3	84.8491	0.552	38.377	0.806	0	33.339	80.52	83.17	78.26	-	81.48
3	385.2	79.0803	0.540	38.059	0.781	0	32.004	73.38	76.87	70.68	-	72.90

Πίνακας 13.5: Αποτελέσματα επίπλευσης ανηγμένα ως προς το αρχικό δείγμα

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ ΑΝΗΓΜΕΝΑ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ												
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (%)	Βάρη (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή			
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
T1	663	9.20	5.00	0.76	44.35	1.30	0.00	44.47	5.86	8.03	6.85	4.79
T2	664	5.95	3.24	0.73	42.19	1.19	0.00	39.28	3.68	4.94	4.07	2.74
T3	665	5.77	3.14	0.72	42.73	1.15	0.00	51.65	3.50	4.85	3.81	3.49
C	666	79.08	43.01	0.54	38.06	0.78	0.00	32.00	35.96	59.25	35.48	29.64
Σύνολο		100.00	54.38	0.58	39.15	0.87		34.72	49.00	77.07	50.19	40.65

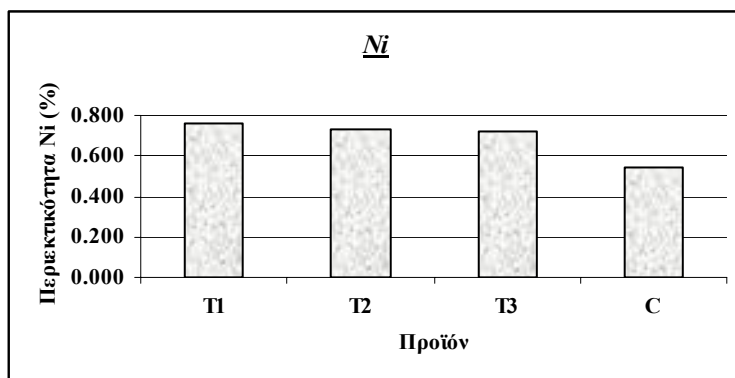
Από τον πίνακα 13.2 προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



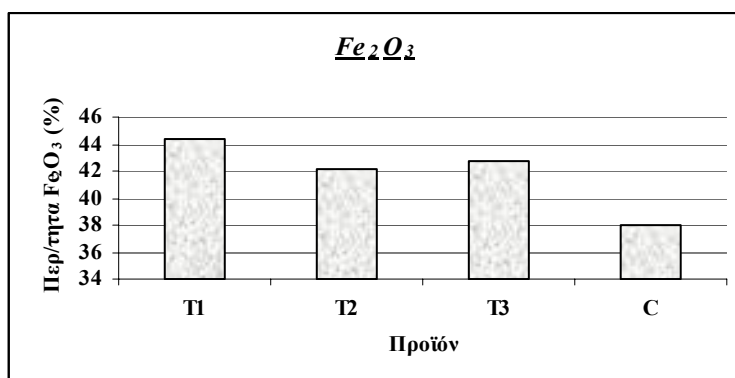
Διάγραμμα 13.1: Κατανομή βάρους στα προϊόντα της επίπλευσης με αμίνη

#### 13.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ

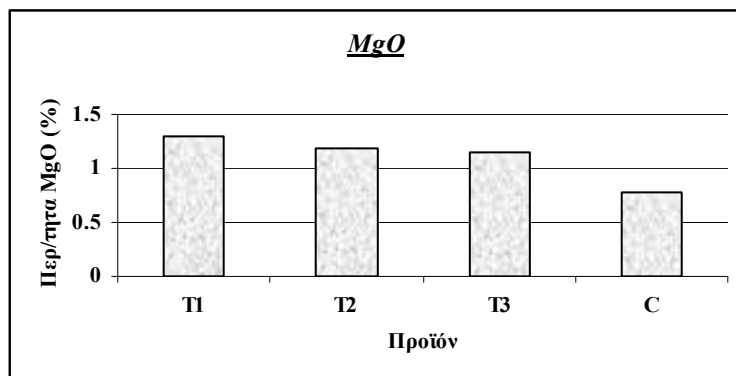
Από τους πίνακες 13.2, 13.3 και 13.4 προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 13.2: Περιεκτικότητα Ni (%) στα προϊόντα της επίπλευσης



Διάγραμμα 13.3: Περιεκτικότητα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%) στα προϊόντα της επίπλευσης



*Διάγραμμα 13.4: Περιεκτικότητα MgO (%) στα προϊόντα της επίπλευσης*



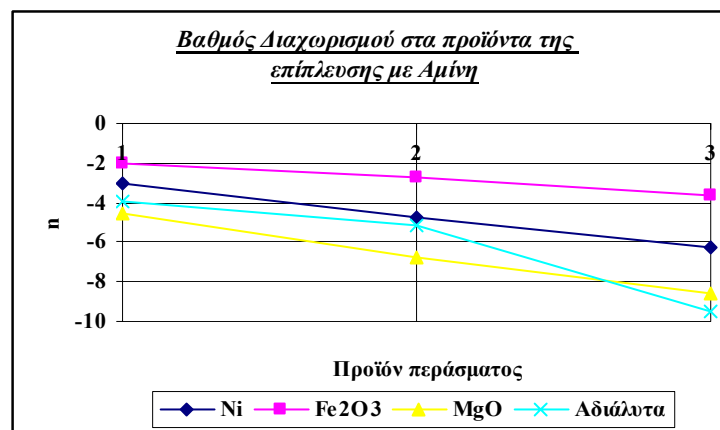
*Διάγραμμα 13.5: Περιεκτικότητα αδιαλύτων (%) στα προϊόντα της επίπλευσης*

### 13.3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΑΜΙΝΗ

Στον Πίνακα 13.6 παρουσιάζεται ο βαθμός διαχωρισμού για τα διάφορα κλάσματα που προέκυψαν από την επίπλευση με αμίνη.

*Πίνακας 13.6: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για τα διάφορα προϊόντα της επίπλευσης με αμίνη*

α/α	Αθροιστ. Καταβυθισθέντα (Συμπυκνώματα)					Αθροιστ.Υπερχειλισθέντα (Απορρίμματα)					Βαθμός Διαχωρισμού				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	0.56	38.63	0.83	0.00	33.73	0.76	44.35	1.30	0.00	44.47	-3.06	-2.00	-4.54	-	-3.96
2	0.55	38.38	0.81	0.00	33.34	0.75	43.50	1.25	0.00	42.43	-4.79	-2.76	-6.74	-	-5.16
3	0.54	38.06	0.78	0.00	32.00	0.74	43.29	1.23	0.00	44.97	-6.31	-3.63	-8.59	-	-9.46



*Διάγραμμα 13.6: Βαθμός διαχωρισμού ανά προϊόντος επίπλευσης με αμίνη*

Από τον πίνακα 13.6 παρατηρείται ότι όλες οι ενώσεις που εξετάστηκαν έχουν αρνητικούς βαθμούς διαχωρισμού. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι ενώσεις συγκαταλλέγονται στα απορρίμματα. Με άλλα λόγια, δεν έλαβε χώρα εμπλουτισμός. Συνεπώς, η δοκιμή της επίπλευσης με τεταρτοταγή αμίνη κρίνεται μη επιτυχής.

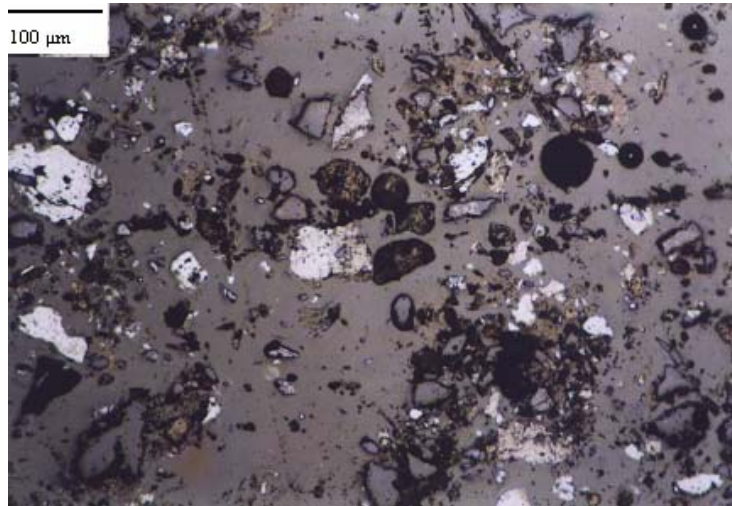
#### **13.3.6 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΕΤΑΡΤΟΤΑΓΗ ΑΜΙΝΗ**

Στο πρώτο επιπλεύσαν της επίπλευσης με αμίνη υπάρχει πολύς χαλαζίας, αρκετή συνδετική ύλη και ελάχιστος αιματίτης. Στα επόμενα περάσματα αυξάνεται η ποσότητα σε χαλαζία, αλλά και σε συνδετική ύλη.

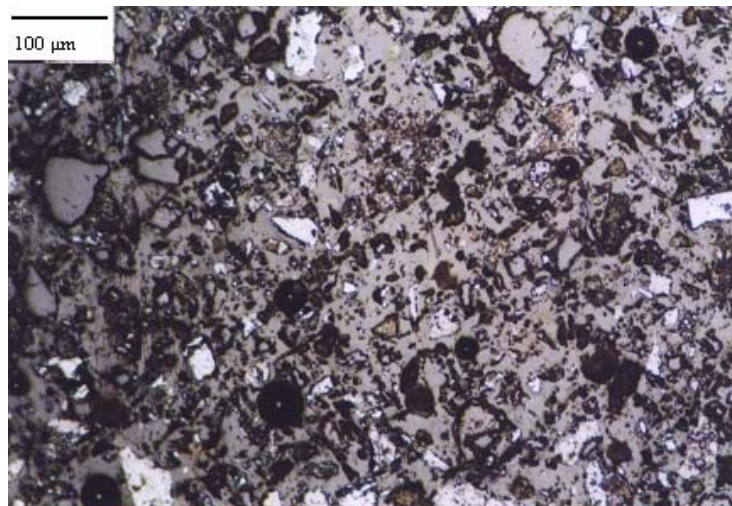
Όπως είχε αναφερθεί στο Κεφάλαιο 9, στην τροφοδοσία της επίπλευσης, παρά το μικρό του μεγέθους της, εξακολουθούν να υπάρχουν κόκκοι χαλαζία σε επαφή με τον αιματίτη. Ήταν αναμενόμενο για τον λόγο αυτό η επίπλευση να δυσκολευτεί. Πράγματι, κύριο χαρακτηριστικό όλων των τομών ήταν η ύπαρξη της συνδετικής ύλης, όχι μόνο στα επιπλεύσαντα (απορρίμματα), αλλά και στο καταβυθισθέν προϊόν (συμπύκνωμα). Αυτός είναι και ο λόγος που όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 13.2 η περιεκτικότητα σε Νί ήταν σχεδόν παρεμφερής σε όλα τα κλάσματα.

Η επίπλευση με αμίνη θα μπορούσε να φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση μεταλλεύματος με καλύτερη αποδέσμευση. Στην περίπτωση αυτή όμως, η επίπλευση αδυνατεί να επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα διότι η συνδετική ύλη υπάρχει παντού.

Ακολούθως παρατίθενται δύο φωτογραφίες οι οποίες πιστοποιούν την έντονη παρουσία της συνδετικής ύλης στο μετάλλευμα.



**Εικόνα 13.1:** Κόκκοι χαλαζία, συνδετικής ύλης και λίγοι κόκκοι αιματίτη  
Δεύτερο επιπλεύσαν (MP 664), ανακλώμενο φως, // Nicols



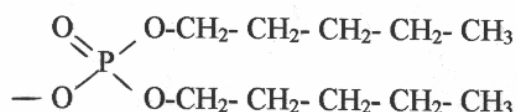
**Εικόνα 13.2:** Κόκκοι αιματίτη, χαλαζία και συνδετικής ύλης  
Καταβυθισθέν (MP 666), 10X10 μεγένθυση, Παράλληλα Nicols

## 13.4 ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ

### 13.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι ορθοφωσφορικές ενώσεις ανήκουν στην κατηγορία των ξανθογονικών ανιονικών συλλεκτών. Έχουν βρει πρακτική εφαρμογή στην επίπλευση και χρησιμοποιούνται ως πρόσθετοι παράγοντες στην αναλυτική χημεία και στην υδρομεταλλουργία

Οι ενώσεις αυτές είναι όμοιες με τις καρβοξυλικές ενώσεις με τη διαφορά όμως ότι το τετρασθενές άτομο του άνθρακα στο μόριο των καρβοξυλικών ενώσεων έχει αντικατασταθεί με το πεντασθενές άτομο του φωσφόρου. Αυτό συνεπάγεται αυτομάτως μία σημαντική διαφορά ανάμεσα στις ορθοφωσφορικές και στις καρβοξυλικές ενώσεις, η οποία είναι η παρουσία δύο υδρογονοανθρακικών αλυσίδων στις ορθοφωσφορικές. Οι δύο αλυσίδες ενώνονται με ένα άτομο φωσφόρου, χωρίς να εξαρτάται η μία από την άλλη.



*Εικόνα 13.3: Συντακτικός τύπος δι-αμυλο- διφωσφορικού ανιόντος*

Το άτομο του φωσφόρου έλκει το ηλεκτρονιακό νέφος του οξυγόνου προς το κέντρο του μορίου δυνατότερα απ' ότι ο άνθρακας στις καρβοξυλικές ενώσεις και για το λόγο αυτό οι ορθοφωσφορικές ενώσεις είναι πιο ασθενείς συλλέκτες σε σχέση με τις αντίστοιχες καρβοξυλικές. Για τον ίδιο λόγο τα ορθοφωσφορικά οξέα είναι ισχυρότερα σε σχέση με τα καρβοξυλικά οξέα και οι ορθοφωσφορικές ενώσεις που περιέχουν βαρυά μέταλλα διαλύονται στο νερό πολύ πιο εύκολα σε σχέση με τις αντίστοιχες καρβοξυλικές.

Έτσι, εφόσον το ορθοφωσφορικό μόριο έχει δύο υδρογονοανθρακικές αλυσίδες, οι ορθοφωσφορικές ενώσεις είναι πιο δραστικοί συλλέκτες κατά την επίπλευση σε σχέση με τους ξανθογονικούς. Ο λόγος είναι ότι η ενέργεια που απαιτείται να ενυδατωθούν οι δύο υδρογονοανθρακικές αλυσίδες στις

ορθοφωσφορικές ενώσεις είναι διπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη απαιτούμενη ενέργεια για τις καρβοξυλικές ενώσεις. [16]

Γενικά, η επίπλευση των οξειδίων και των πυριτικών ορυκτών που περιέχουν Ni είναι πιο δύσκολη από την αντίστοιχη των θειούχων ορυκτών που επιπλέουν ευκολότερα.

#### 13.4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ

Διατέθηκαν 500 g δείγματος, προϊόν το οποίο προέκυψε από τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 10. Το δείγμα έχει κοκκομετρία +10 -100  $\mu\text{m}$ .

Σκοπός της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας είναι ο διαχωρισμός του αιματίτη από τα πυριτικά. Στην επίπλευση προς διαχωρισμό πυριτικών από αιματίτη επιπλέει ο αιματίτης.

Το σημείο μηδενικού δυναμικού του αιματίτη είναι σε  $\text{pH}=5-5,5$ , ενώ το αντίστοιχο των πυριτικών είναι σε  $\text{pH}= 2,5-3$ . Άρα, επιλέγεται περιβάλλον επίπλευσης σε  $\text{pH} = 4,5$ . Η ρύθμιση του  $\text{pH}$  θα γίνει με τη βοήθεια προσθήκης στον πολφό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ως ρυθμιστικό αντιδραστήριο.

Η διαδικασία έχει ως εξής: Σε πρώτη φάση προκύπτουν διάλυμα ορθοφωσφορικού αμμωνίου περιεκτικότητας 5 %.

Τοποθετείται στη δίλιτρη κυψέλη τα 500 g δείγματος προσθέτοντας νερό τόσο, ώστε η στάθμη του πολφού να βρίσκεται λίγο πιο κάτω από την υπερχειλίση. Η ανάδευση ξεκινά και μετράμε το  $\text{pH}$  του πολφού, το οποίο και βρίσκουμε ότι είναι 8.37. Προσθέτοντας κατάλληλη ποσότητα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ρυθμίζεται το  $\text{pH}$  στο 4,5.

Έχοντας πάντα σε λειτουργία την ανάδευση ξεκινάει η δοκιμή προσθέτοντας στην κυψέλη ποσότητα αντιδραστηρίου που αντιστοιχεί σε 0,5 kg ορθοφωσφορικού άλατος ανά τόνο μεταλλεύματος. Η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με 5 ml διαλύματος. Ο πολφός αναδεύεται για 5 min σε 1500 rpm και κατόπιν ξεκινάει η επίπλευση ανοίγοντας τον αέρα και συλλέγοντας το επιπλεύσαν προϊόν.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές, προσέχοντας κάθε φορά η τιμή του  $\text{pH}$  να παραμένει σταθερή στο 4,5. Με τον τρόπο αυτό ελήφθησαν τρία προϊόντα και ένα απόρριμμα. Τα μεν συμπυκνώματα διηθούνται σε κενό και κατόπιν ξηραίνονται, στο δε απόρριμμα προστίθεται μια μικρή ποσότητα κροκιδωτικού



διαλύματος, υπερχειλίζεται το νερό και στο τέλος οδηγείται κι αυτό στο ξηραντήριο. Παίρνονται τα βάρη των προϊόντων και γίνονται χημικές αναλύσεις σε δείγματα από αυτά.

Τα αποτελέσματα που έδωσε η επίπλευση με ορθοφωσφορικό άλας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

#### **13.4.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ**

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας καθώς και οι κατανομές αυτών για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Πίνακας 13.7: Αποτελέσματα επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ													
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
C1	675	115.1	24.05	0.594	40.864	0.821	0	40.149	20.13	19.94	17.38	-	22.75
C2	676	66.9	13.98	0.741	52.768	1.241	0	33.416	14.59	14.97	15.26	-	11.00
C3	677	16.4	3.43	0.598	56.007	0.846	0	32.902	2.89	3.89	2.55	-	2.66
T	678	280.1	58.54	0.757	51.534	1.258	0	46.119	62.39	61.20	64.81	-	63.59
Σύνολο		478.5	100.00	0.710	49.293	1.136	0	42.454	100.00	100.00	100.00	-	100.00

Πίνακας 13.8: Αθροιστικός επιπλεύσαν επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΑΝ												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	115.1	24.05	0.594	40.864	0.821	0	40.149	20.13	19.94	17.38	-	22.75
2	182	38.04	0.648	45.240	0.975	0	37.674	34.72	34.91	32.64	-	33.75
3	198.4	41.46	0.644	46.130	0.964	0	37.280	37.61	38.80	35.19	-	36.41

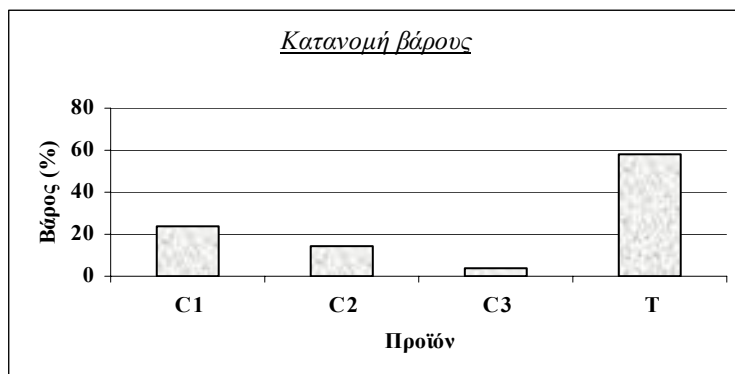
*Πίνακας 13.9: Αθροιστικώς παραμένοντα επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας*

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΘΕΝ												
α/α	Βάρη (g)	Βάρη (%)	Αναλύσεις					Κατανομή				
			Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	363.4	75.95	0.747	51.963	1.236	0	43.184	79.87	80.06	82.62	-	77.25
2	296.5	61.96	0.748	51.781	1.235	0	45.388	65.28	65.09	67.36	-	66.25
3	280.1	58.54	0.757	51.534	1.258	0	46.119	62.39	61.20	64.81	-	63.59

*Πίνακας 13.10: Αποτελέσματα επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας ανηγμένα επί αρχικού δείγματος*

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ ΑΝΗΓΜΕΝΑ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ													
Κλάσμα	Κωδικός	Βάρη (%)	Βάρη (%) επί αρχικού	Αναλύσεις					Κατανομή				
				Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
C1	675	24.05	13.08	0.59	40.86	0.82	0.00	40.15	9.87	15.37	8.72	-	9.25
C2	676	13.98	7.60	0.74	52.77	1.24	0.00	33.42	7.15	11.54	7.66	-	4.47
C3	677	3.43	1.86	0.60	56.01	0.85	0.00	32.90	1.41	3.00	1.28	-	1.08
T	678	58.54	31.84	0.76	51.53	1.26	0.00	46.12	30.57	47.17	32.53	-	25.85
Σύνολο		100.00	54.38	0.71	49.29	1.14	-	42.45	49.00	77.07	50.19	-	40.65

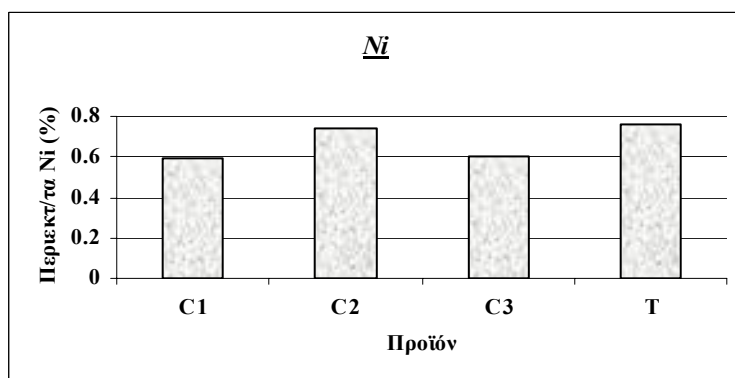
Από τον πίνακα 13.7 προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



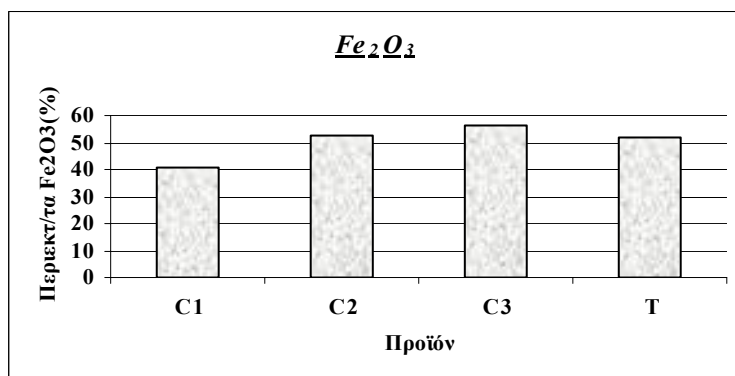
Διάγραμμα 13.7: Κατανομή βάρους στα προϊόντα της επίπλευσης με το ορθοφωσφορικό άλας

#### 13.4.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ

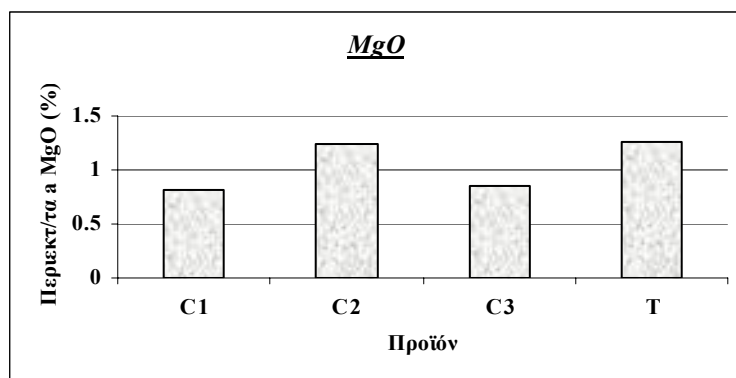
Από τους πίνακες 13.7, 13.8 και 13.9 προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



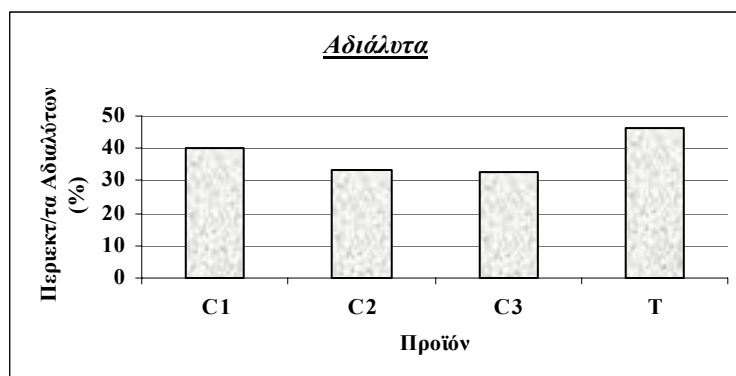
Διάγραμμα 13.8: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας



Διάγραμμα 13.9: Περιεκτικότητα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας



*Διάγραμμα 13.10: Περιεκτικότητα MgO στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας*



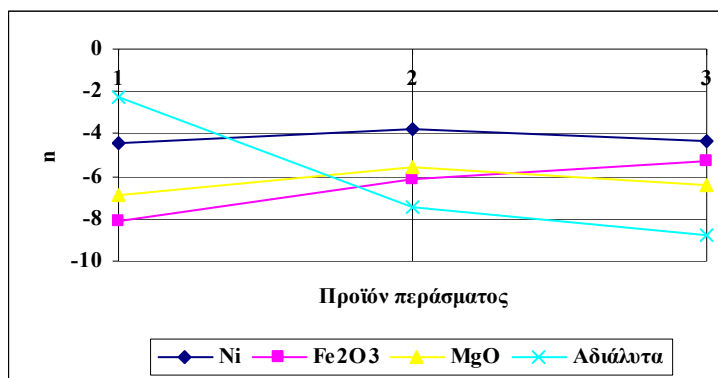
*Διάγραμμα 13.11: Περιεκτικότητα αδιαλύτων στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας*

#### 13.4.5 ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ Ni, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ

Στον πίνακα 13.12 φαίνεται ο βαθμός διαχωρισμού των διάφορων προϊόντων επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας.

**Πίνακας 13.12:** Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για τα διάφορα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας

α/α	Αθροιστ. Καταβυθισθέντα (Απορρίμματα)					Αθροιστ.Υπερχειλισθέντα (Συμπυκνώματα)					Βαθμός Διαχωρισμού				
	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Αδιάλυτα (%)
1	0.75	51.96	1.24	0.00	43.18	0.59	40.86	0.82	0.00	40.15	-4.45	-8.11	-6.87	-	-2.27
2	0.75	51.78	1.24	0.00	45.39	0.65	45.24	0.98	0.00	37.67	-3.76	-6.17	-5.55	-	-7.44
3	0.76	51.53	1.26	0.00	46.12	0.64	46.13	0.96	0.00	37.28	-4.37	-5.25	-6.46	-	-8.78



**Διάγραμμα 13.12:** Βαθμός διαχωρισμού στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας

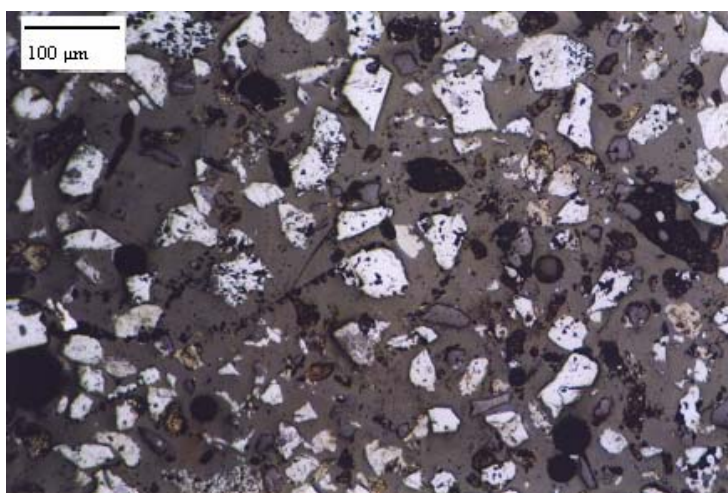
Ο πίνακας 13.12 σχηματίστηκε θεωρώντας συμπύκνωμα τα υπερχειλισθέντα κλάσματα και απόρριμμα το καταβυθισθέν.

Από τον πίνακα 13.12 παρατηρείται ότι όλες οι ενώσεις που εξετάστηκαν έχουν αρνητικούς βαθμούς διαχωρισμού. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα στοιχεία κατανέμονται περισσότερο στα καταβυθισθέντα κλάσματα σε σχέση με τα υπερχειλισθέντα. Με άλλα λόγια, δεν έλαβε χώρα εμπλουτισμός. Συνεπώς, η δοκιμή της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας κρίνεται μη επιτυχής.

#### 13.4.6 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΑΛΑΣ

Όπως στην επίπλευση με αμίνη, έτσι και στην επίπλευση με το ορθοφωσφορικό άλας, πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει η συνδετική ύλη, η οποία υπάρχει σε όλα τα προϊόντα.

Ορυκτά που συναντώνται στα προϊόντα της επίπλευσης με ορθοφωσφορικό άλας είναι ο αιματίτης, ο χαλαζίας, ο χρωμίτης και βεβαίως η συνδετική ύλη. Στο επιπλεύσαν του δεύτερου περάσματος είναι έντονη η παρουσία συσσωματωμάτων και γενικά υπάρχει μη εκλεκτικός διαχωρισμός. Στο επιπλεύσαν του τρίτου περάσματος η περιεκτικότητα σε αιματίτη αυξάνεται και το προϊόν αυτό σε σχέση με το προηγούμενο είναι πιο χοδρόκοκκο. Στο καταβυθισθέν υπάρχει πολύς χαλαζίας και αρκετή συνδετική ύλη, ενώ ο αιματίτης είναι λιγότερος.



*Εικόνα 13.4: Κόκκοι αιματίτη, συνδετικής ύλης και κάποιοι κόκκοι χαλαζία  
Τρίτο επιπλεύσαν (MP 677), ανακλώμενο φως, // Nicols*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14°

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 14.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

##### 14.4.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η παρούσα εργασία ερευνά τη δυνατότητα εμπλουτισμού του λατεριτικού κοιτάσματος της περιοχής Τριάδας Ευβοίας. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι οι ακόλουθοι:

- Θραύση
- Υγρή λειοτρίβηση (αυτογενής, σε σφαιρόμυλο, σε ραβδόμυλο)
- Κοσκίνιση (υγρή, ξηρή)
- Υδροταξινόμηση
- Διαχωρισμός με Βαρέα Υγρά
- Μαγνητικός διαχωρισμός
- Επίπλευση (με αμίνη, με ορθοφωσφορικό άλας)
- Βαρυτομετρικός διαχωρισμός με φυγοκεντρικό διαχωριστή

Η θραύση και η αυτολειοτρίβηση έγινε για την ελάττωση του μεγέθους των τεμαχιδίων του μεταλλεύματος σε διάφορα μεγέθη. Μελετάται η δυνατότητα εμπλουτισμού του μεταλλεύματος στα μεγέθη αυτά. Παρατηρείται όμως ότι στα μεγέθη που θραύεται η κυρίως μάζα του μεταλλεύματος από τις διεργασίες αυτές, η αποδέσμευση δεν είναι επαρκής. Έτσι, μολονότι οι μέθοδοι εμπλουτισμού που εφαρμόζονται μετά από τις διεργασίες αυτές (μαγνητικός διαχωρισμός και βαρέα υγρά) έχουν επιθυμητά αποτελέσματα, δεν αρκούν, γιατί εξακολουθεί στο μετάλλευσμά μας να υπάρχει στείρο υλικό με τη μορφή σύμμικτων κόκκων σε μεγέθη μικρότερα από τις μέσες κοκκομετρίες των κλασμάτων αυτών.

Κρίθηκε έτσι αναγκαίο να γίνει λειοτρίβηση σε ραβδόμυλο του υλικού μας σε διάφορους χρόνους, προκειμένου, μετά από μικροσκοπική εξέταση, να εντοπισθεί το μέγεθος στο οποίο το υλικό πρέπει να σπάσει, για να επιτευχθεί επαρκής



αποδέσμευση. Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι το υλικό πρέπει να λειοτριβηθεί σε μέγεθος μικρότερο από 100  $\mu\text{m}$ . Σε τόσο μικρά μεγέθη κόκκων ο εμπλουτισμός καθίσταται πραγματικά δύσκολος. Η κατάσταση αναμένεται να δυσχαιρεθεί περισσότερο, καθώς, ακόμη και σε τόσο μικρά μεγέθη κόκκων, η συνδετική ύλη του μεταλλεύματος δεν έχει ακόμη αποδεσμευθεί από κόκκους χαλαζία (στείρου ορυκτού) και αιματίτη (χρήσιμου ορυκτού).

Στο κλάσμα +100  $\mu\text{m}$  που προέκυψε από τη λειοτρίβηση σε ραβδόμυλο το οδηγούμε σε μαγνητικό διαχωριστή, για την απομάκρυνση των πυριτικών ορυκτών. Η απόδοση του μαγνητικού διαχωριστή του εργαστηρίου (induced Roll) όμως σε αυτά τα μεγέθη είναι μικρή, με αποτέλεσμα να μην επιτευχθούν επαρκή αποτελέσματα.

Γνωρίζοντας λοιπόν ότι η περαιτέρω διεργασία θα δυσκολέψει αρκετά, λειοτριβούμε το υλικό μας σε σφαιρόμυλο. Επιλέγουμε σφαιρόμυλο για μεγαλύτερο κοκκομετρικό εύρος αφενός, και, αφετέρου, για τη δημιουργία περισσότερων ψιλών.

Το προϊόν (+10-100)  $\mu\text{m}$  του σφαιρόμυλου διαιρείται σε τρία κλάσματα. Το πρώτο από αυτά οδηγείται στο φυγοκεντρικό διαχωριστή (Falcon), για βαρυτομετρικό εμπλουτισμό. Το Falcon επίσης δε δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η μικροσκοπική ανάλυση των προϊόντων του Falcon δείχνει ότι για την αποτυχία του διαχωρισμού δεν οφείλεται το μηχάνημα, αλλά η δομή του μεταλλεύματος, καθώς η συνδετική ύλη βρισκόταν προκολλημένη σε όλους σχεδόν τους κόκκους, με αποτέλεσμα να «μπερδεύει» το μηχάνημα ως προς το ειδικό βάρος των κόκκων.

Το δεύτερο κλάσμα εμπλουτίστηκε με επίπλευση με τεταρτοταγή αμίνη. Τα αποτελέσματα επίσης δεν είναι επιθυμητά. Η μικροσκοπική ανάλυση δείχνει ότι και αυτή τη φορά, υπαίτια της αποτυχίας ήταν επίσης η συνδετική ύλη. Το ίδιο ακριβώς έγινε και στο τρίτο κλάσμα, με το ορθοφωσφορικό άλας. Και εδώ ο εμπλουτισμός ήταν ανεπαρκής για τον ίδιο ακριβώς λόγο.

Στα πλαίσια της αυτολειοτρίβησης, της λειοτρίβησης στο ραβδόμυλο και στο σφαιρόμυλο λαμβάνεται το κλάσμα -10  $\mu\text{m}$ . Το σύνολο του -10  $\mu\text{m}$  αποτελεί ένα πολύ καλό εμπλούτισμα, με ανάλυση σχεδόν διπλάσια από αυτή της αρχικής τροφής.

#### 14.4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Από το σύνολο δοκιμών εμπλουτισμού που πραγματοποιήθηκαν στο κλάσμα +10 -100  $\mu\text{m}$ , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από την κοκκομετρική ανάλυση της αυτολειοτρίβησης παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα σε Ni αυξάνει συνεχώς όσο μικραίνει το μέγεθος κόκκων. Αναμενόμενο αυτό και οφείλεται στο εύθρυπτο της συνδετικής ύλης.
- Ο εμπλουτισμός με βαρέα υγρά απομάκρυνε ένα σημαντικό κομμάτι του στείρου υλικού, το οποίο είχε μικρή περιεκτικότητα σε Ni. Ως μέθοδος επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα και ο διαχωρισμός ήταν ικανοποιητικός. Το μέγεθος κόκκων όμως ήταν μεγάλο (+4-16mm), η αποδέσμευση δεν ήταν πλήρης και για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητος ο περαιτέρω εμπλουτισμός του μεταλλεύματος σε μικρότερα μεγέθη.
- Από τα αποτελέσματα δοκιμών του μαγνητικού διαχωρισμού παρατηρείται ότι τα μαγνητικά κλάσματα είναι πλουσιότερα σε Ni σε σχέση με τα μη μαγνητικά. Καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού παρουσιάζουν τα μικρότερα κοκκομετρικά μεγέθη. Αυτό οφείλεται στο ότι στα μικρότερα κοκκομετρικά μεγέθη έχουμε καλύτερη αποδέσμευση. Το Ni,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και  $\text{MgO}$  συγκεντρώνονται στα μαγνητικά, ενώ το  $\text{CaO}$  και τα αδιάλυτα στα μη μαγνητικά. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός είχε σαν αποτέλεσμα την απόρριψη σημαντικού τμήματος του στείρου υλικού (πυριτικά ορυκτά). Επειδή όμως επιτελέσθηκε σε μεγέθη κόκκων που η αποδέσμευση δεν είναι επαρκής εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές ποσότητες στείρων στο υλικό μας.
- Από τη δοκιμή της λειοτρίβησης σε ραβδόμυλο προέκυψε ότι:
  - ✓ Αυξανόμενου του χρόνου λειοτρίβησης αυξάνονται βεβαίως τα ψιλά.
  - ✓ Ο ρυθμός λειοτρίβησης  $\text{kg/min}$  είναι μεγαλύτερος για τα μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων. (Stamboliadis, Gaganis)
  - ✓ Όσο αφορά τη σχέση ειδικής ενέργειας και μέγεθος κόκκων, το υλικό μας δεν ακολουθεί κάποια από τις κλασικές θεωρίες και αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στο νόμο του Bond ( $2n-3=-0.5$ ) και στο νόμο του Rittinger ( $2n-3=-1$ ).
  - ✓ Αυξανόμενης της δαπανώμενης ενέργειας για τη λειοτρίβηση του υλικού, αυξάνει και η επιφάνεια ( $\text{m}^2$ ).

- ✓ Και αυτή τη φορά τα ψιλότερα κλάσματα της λειοτριβήσης ήταν πλουσιότερα σε Ni σε σχέση με τα πιο χονδρά.
- ✓ Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι το υλικό προκειμένου να αποδεσμευθεί επαρκώς πρέπει να λειοτριβηθεί σε μέγεθος μικρότερο από 100 μm. Στο μέγεθος αυτό υπάρχουν αρκετοί αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία και κάποιοι λιγότεροι αιματίτη. Σε πολλούς από αυτούς επαφύεται περιμετρικά συνδετική ύλη, πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο περαιτέρω εμπλουτισμός αναμένεται να δυσκολευθεί περισσότερο. Το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότεροι αποδεσμευμένοι κόκκοι χαλαζία σε σχέση με τον αιματίτη, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο χαλαζίας αποδεσμεύεται ευκολότερα σε σχέση με τον τελευταίο. Γενικά όμως, παρατηρούμε ότι συνδετική ύλη είναι προσκολλημένη στους περισσότερους κόκκους. Για το λόγο αυτό, ακόμη και σε τόσο μικρό μέγεθος, δε θεωρείται ότι υπάρχει η επαρκής αποδέσμευση.
- Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές των επιπλεύσεων το συγκεκριμένο μετάλλευμα είναι πολύ δύσκολο να εμπλουτιστεί καλά. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της συνδετικής ύλης, η οποία προσκολλάται και στους κόκκους του χαλαζία και στους κόκκους του αιματίτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κόκκοι χαλαζία και αιματίτη οι οποίοι περικλύονται εξωτερικά από μάζα συνδετικής ύλης να συμπεριφέρονται το ίδιο και να μην μπορούν να διαχωριστούν. Οι επιπλεύσεις θα είχαν επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν, με κάποιο τρόπο, μπορούσαμε να «διαλύσουμε» αυτή τη συνδετική ύλη, ώστε να απομακρυνθεί από τους κόκκους άλλων ορυκτών. Μια τέτοια λύση θα μπορούσε να είναι η εκχύλιση με  $H_2SO_4$ .
- Τα ίδια αποτελέσματα με τις επιπλεύσεις έδωσε σε γενικές γραμμές και ο φυγοκεντρικός διαχωριστής. Οι κόκκοι χαλαζία που είχαν αποδεσμευθεί πλήρως, αλλά και κάποιοι κόκκοι επίσης αποδεσμευμένου αιματίτη, διαχωρίστηκαν μεταξύ τους. Και εδώ όμως, τα αποτελέσματα δεν ήταν τα επιθυμητά, εξαιτίας πάλι της συνδετικής ύλης. Το γεγονός ότι υπήρξε διαχωρισμός στους αποδεσμευμένους κόκκους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το Falcon θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα εάν οι κόκκοι του μεταλλεύματός είχαν αποδεσμευθεί, όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά και από τη συνδετική ύλη.

## 14.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με τον εμπλουτισμό λατερίτη από την Περιοχή Τριάδα Ευβοίας, με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς του συγκεκριμένου μεταλλεύματος σε διάφορες μεθόδους εμπλουτισμού, αποτελώντας έναν πρώτο δείκτη κατευθύνσεων, με σκοπό τον καλύτερο εμπλουτισμό του.

Φάνηκε λοιπόν, ότι παρά τη θραύση του μεταλλεύματος σε πολύ μικρά μεγέθη κόκκων, εξακολουθούν να υπάρχουν σε καθόλου ευκαταφρόνητες ποσότητες σύμμικτοι κόκκοι, ή κόκκοι περιβαλλόμενοι από συνδετική ύλη. Συμπερασματικά λοιπόν θα προτεινόταν την μελέτη διάλυσης της συνδετικής ύλης, έπειτα από εκχύλιση του μεταλλεύματος με  $H_2SO_4$ .

Μελετήθηκε η επίπλευση με ορθοφωσφορικό άλας. Η μέθοδος αυτή έδειξε ότι θα μπορούσε να επιφέρει αποτέλεσμα σε μέταλλευμα λατερίτη, με την προϋπόθεση βεβαίως καλής αποδέσμευσης. Προτείνεται λοιπόν η έρευνα της εν λόγω μεθόδου, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες επίπλευσης.

Προτείνεται τέλος και η μελέτη εμπλουτισμού με τη χρήση του φυγοκεντρικού διαχωριστή. Και το Falcon, αλλά και οι επιπλεύσεις αποτελούν πολλά υποσχόμενες εμπλουτιστικές μεθόδους για το συγκεκριμένο κοίτασμα, εφόσον βεβαίως μπορέσει και επιτευχθεί επ' αυτού καλύτερη αποδέσμευση ορυκτών.

Φάνηκε ότι δημιουργήθηκε ένα εμπλούτισμα ψιλόκοκκου υλικού που περιέχει το 50% του νικελίου, ενώ αποτελεί μόνο το 25% της αρχικής τροφής, με αποτέλεσμα να έχει διπλάσια περιεκτικότητα νικελίου από την αρχική τροφή.

## 14.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Να μελετηθεί η δυνατότητα συσσωματώματος του λεπτόκοκκου συμπυκνώματος -10  $\mu m$ .
- Να ερευνηθεί η ανάκτηση Ni από το κλάσμα (+10 -100)  $\mu m$  με εκχύλιση ή άλλο τρόπο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Αλεβίζος Γ. (1977), "Ορυκτολογία, γεωχημεία και γένεση ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Λοκρίδας (Κεντρική Ελλάδα)", Διαδικαστική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ.267
- 2 Δάβη Ν. Ελευθερία (1991), "Πετρολογία"
- 3 Δρακάκης Δημήτριος (2000) "Εμπλουτισμός Αυτόχθονου Λατερίτη της περιοχής Καστοριάς", Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- 4 Θεοδωρίκας Σ. Στέργιος (1996): "Ορυκτολογία - Πετρολογία", Θεσσαλονίκη
- 5 Κωστάκης Γ (1988) "Κεφάλαια Ακτινοσκοπίας των Κρυστάλλων". Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 6 Κωστάκης Γ (1992), "Ορυκτοδιαγνωστική". Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- 7 Μαράτος Ν. Γεώργιος (1972), "Γεωλογία της Ελλάδος". Γεωτεχνικό γραφείο ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΡ., Αθήνα
- 8 "Μελέτη αποδέσμευσης και Εμπλουτισμού λατεριτικού σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος". ΠΕΝΕΔ 2001, Έντυπα υποβολής προτάσεων.
- 9 Μπόσκος Ε, Ορφανουδάκη Α, Περράκη Θ: "Κατανομή του Νικελίου στις Ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni-ούχων λατεριτών του Ελλαδικού χώρου"
- 10 Πετράκης Α. Ευάγγελος (2004), "Σχέση Ενέργειας και μεγέθους κόκκων κατά τη λειοτρίβηση ψαθυρών υλικών". Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης
- 11 Σκλαβούνος Γ. Μιχαήλ (1999), "Διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Ευβοίας", Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 12 Σταμπολιάδης Η (1993), "Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων Ι", Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 13 Σταμπολιάδης Η, (1993) "Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων ΙΙ". Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

- 14 Σταμπολιάδης Η, Τζαχρήστα Β (1996), "Μελέτη Εμπλουτισμού του Σιδηρονικελιούχου Λατεριτικού Μεταλλεύματος του κοιτάσματος Κωπαΐδος", Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- 15 Stamboliadis E (2002), "Impact crushing approach to the relationship of energy and particle size in communication". The European journal of Mineral Processing and Enviromental Protection.
- 16 Stamboliadis Elias: "The Surface Chemistry of the flotation of Millerite, Pyrrhotite and Pentlandite with dialkin-dithiophosphates". Διδακτορική διατριβή
- 17 Stamboliadis E, Alevizos G, Zafiratos J (2004), "Leaching residue of nickeliferous laterites as a source of iron concentrate" Mineral ergeeneering 17 pp.245-252
- 18 Stamboliadis E, Gaganis V (2004), "Application of computer assisted mathematical analysis for the interpretation of mineral grinding data". 1st IC-SCCE.
- 19 Vesa Kirjavainen, Nora Schreithofer, Kari Heiskanen (2002) "Effect of some process variables on flotability of sulphide nickel ores". Int. J. Miner. Process. 65 pp: 59-72
- 20 Φραγκίσκος, Α & Σ. Κατράκης (1979), "Εισαγωγή εις τον Εμπλουτισμόν των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- 21 Χριστίδης Γ (1999) "Κοιτασματολογία Ι (Γενικές αρχές - μεταλλικά ορυκτά)". Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

## ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

[www.webelements.com](http://www.webelements.com)

[www.nrm.qld.gov.au](http://www.nrm.qld.gov.au)

[www.lme.co.uk](http://www.lme.co.uk)

[www.ame.com.au](http://www.ame.com.au)

[www.dupla.com](http://www.dupla.com)

56.1911encyclopedia.org

[www.nipera.org](http://www.nipera.org)

[www.infomine.com](http://www.infomine.com)

[www.metalprice.com](http://www.metalprice.com)

Mineral information institute –

NICKEL:

<http://www.mii.org/minerals/photoni>  
ckl.html-9k

[www.concentrators.net](http://www.concentrators.net)

