



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών
Πόρων

Διπλωματική Εργασία:

“ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΑΥΤΟΧΘΟΝΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ”

ΔΡΑΚΑΚΗΣ Ε. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

Η. Σταμπολιάδης
Θ. Μαρκόπουλος
Γ. Αλεβίζος

(Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων)
(Καθηγητής)
(Διδάκτωρ)

ΧΑΝΙΑ, 2000

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα εργασία ερευνά τη δυνατότητα εμπλουτισμού του αυτόχθονου λατερίτη από το κοίτασμα Καστοριάς. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι:

- ◆ Θραύση
- ◆ Υγρή αυτολειοτριβήση, λειοτριβήση σε ραδβόμυλο
- ◆ Κοσκίνηση
- ◆ Υδροταξινόμηση
- ◆ Διαχωρισμός με βαρέα υγρά
- ◆ Μαγνητικός διαχωρισμός
- ◆ Επίπλευση

Η αυτολειοτριβήση του μεταλλεύματος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αν θεωρηθεί το ψιλό κλάσμα ως προϊόν και το χονδρό ως απόρριμμα, επιτυγχάνεται κάποιος εμπλουτισμός διότι το ψιλό κλάσμα είναι αρκετά πλούσιο σε νικέλιο. Πρόβλημα της αυτολειοτριβήσης είναι το χονδρό κλάσμα το οποίο περιέχει σημαντική ποσότητα νικελίου.

Από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης διαπιστώθηκε ότι ο εμπλουτισμός με τα βαρέα υγρά δεν είναι ικανοποιητικός και αυτό λόγω της ανεπαρκούς αποδέσμευσης μεταξύ πυριτικών και σιδηρούχων ορυκτών.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έδειξε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εμπλουτισμό λατερίτη. Το νικέλιο κατανέμεται στα μαγνητικά προϊόντα και παρουσιάζει ικανοποιητικό διαχωρισμό κυρίως στα μικρότερα μεγέθη κόκκων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δοκιμή της επίπλευσης διαπιστώνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο ως προς την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου.

Σε γενικές γραμμές μπορεί να επιτευχθεί εμπλουτισμός λατερίτη από το κοίτασμα της Καστοριάς με κατάλληλο συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Καθ. Η. Σταμπολιάδη.

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ο υποψήφιος είχε την ευκαιρία να συνεργαστεί με μέρος του επιστημονικού προσωπικού του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και να αποκομίσει ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και τεχνικών γνώσεων και εμπειριών.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος είναι η ραγδαία αύξηση της τιμής του νικελίου τα τελευταία χρόνια, καθώς και το ότι η ελληνική βιομηχανία νικελίου αποτελεί έναν από τους βασικότερους τομείς της ελληνικής βαρείας βιομηχανίας και συγχρόνως μια από τις πιο σημαντικές πλουτοπαραγωγικές μονάδες της εθνικής οικονομίας.

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή απαρτίζεται από τους Επίκ. Καθ. Η. Σταμπολιάδη (επιβλέπων καθηγητής), Καθ. Θ. Μαρκόπουλο και Δρ. Γ. Αλεβίζο.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Επίκ. Καθ. Η. Σταμπολιάδη για την ουσιαστική συμβολή και συνεχείς καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, η οποία βοήθησε στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις χρήσιμες συμβουλές του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του. Ευχαριστώ ακόμη τον Καθ. Θ. Μαρκόπουλο και Δρ. Γ. Αλεβίζο, οι οποίοι συνέβαλαν στην τελική διαμόρφωση της εργασίας καθώς και στην αποδοχή τους να αξιολογήσουν την παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ ακόμη θερμά τον Δρ. Γ. Αλεβίζο για την σημαντική του βοήθεια στην μικροσκοπική και ακτινοσκοπική (XRD) εξέταση των δειγμάτων.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την επιστημονική συνεργάτιδα του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης Ο. Παντελάκη, καθώς και την επιστημονική συνεργάτιδα του εργαστηρίου Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας Δ. Πεντάρη για την βοήθεια τους στις εργαστηριακές δοκιμές και τις 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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων	1
1.1 Τι είναι ο εμπλουτισμός μεταλλευμάτων	1
1.2 Η σημασία του εμπλουτισμού στην παραγωγή νικελίου στην Ελλάδα	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	4
Νικέλιο (Ni)	4
2.1 Ιδιότητες Ni	4
2.2 Αγορά Ni	5
2.3 Μεταλλευτικές δραστηριότητες	7
2.4 Χρήσεις νικελίου	8
2.5 Προέλευση Νικελίου	10
2.6 Λατεριτικά μεταλλεύματα	11
2.7 Γένεση και κοιτασματολογία λατεριτικών κοιτασμάτων	11
2.8 Ελληνικά σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα	13
2.9 Κοιτάσματα περιοχής Καστοριάς	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
Μεταλλουργία νικελίου	19
3.1 Μεταλλουργία εξαγωγής Ni	19
3.2 Προϊόντα της εταιρείας ΛΑΡΚΟ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	22
Δείγμα αυτόχθονου λατερίτη από το κοιτάσμα Καστοριάς	22
4.1 Περιγραφή του δείγματος	22
4.2 Ορυκτολογική ανάλυση	22
4.3 Χημική ανάλυση	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	30
Δοκιμή αυτογενούς λειοτρίβησης	30
5.1 Αυτογενής λειοτρίβηση λατερίτη	30
5.1.1 Μηχανισμός αυτολειοτρίβησης	30
5.2 Διαδικασία υγρής αυτογενούς λειοτρίβησης λατερίτη	31
5.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα αυτολειοτρίβησης	33
5.4 Κατανομή της περιεκτικότητας των Ni, MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ και των αδιάλυτων των προϊόντων της αυτολειοτρίβησης	37
5.5 Η ταξινόμηση κατά μέγεθος ως μέθοδος εμπλουτισμού	43
5.5.1 Βαθμός διαχωρισμού	43
5.6 Βαθμός διαχωρισμού Ni, MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ και των αδιάλυτων ...	45
5.7 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της αυτολειοτρίβησης	47
5.8 Συμπεράσματα από την δοκιμή της αυτολειοτρίβησης	48

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 6	50
Δοκιμές με βαρέα υγρά	50
6.1 Γενικά στοιχεία της μεθόδου	50
6.2 Διαδικασία για ανάλυση με βαρέα υγρά.....	51
6.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	52
6.4 Κατανομή της περιεκτικότητας των Ni, MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ και των αδιάλυτων στα προϊόντα της δοκιμής με τα βαρέα υγρά	58
6.5 Βαθμός διαχωρισμού των Ni, MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ και των αδιάλυτων συναρτήσει της πυκνότητας του βαρέως υγρού	67
6.6 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	71
6.7 Συμπεράσματα δοκιμών με βαρέα υγρά	72
 Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 7	 74
Δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού	74
7.1 Γενικές αρχές τις μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού	74
7.2 Διαδικασία δοκιμών μαγνητικού διαχωρισμού	75
7.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού.....	78
7.4 Περιεκτικότητες των Ni, Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού	83
7.5 Βαθμός διαχωρισμού Ni, Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού	91
7.6 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού	95
7.7 Συμπεράσματα από τις δοκιμές του μαγνητικού διαχωρισμού	98
 Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 8	 99
Δοκιμή επίπλευσης	99
8.1 Βασικές αρχές και περιγραφή λειτουργίας της επίπλευσης.....	99
8.2 Διαδικασία επίπλευσης λατερίτη Καστοριάς	100
8.3 Κατανομή του βάρους στα προϊόντα της επίπλευσης	103
8.4 Κατανομή των περιεκτικότητων του Ni, Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα της επίπλευσης	103
8.5 Βαθμός διαχωρισμού των Ni, Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα της επίπλευσης	108
8.6 Ορυκτολογική εξέταση των προϊόντων της επίπλευσης	111
8.7 Συμπεράσματα από την δοκιμή της επίπλευσης	111
 Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 9	 112
Σύνθετες δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη.....	112
9.1 Σύνθετες δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη	112
9.2 Πρώτη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη	112
9.2.1 Διαδικασία δοκιμής	112
9.2.2 Αποτελέσματα της πρώτης σύνθετης δοκιμής εμπλουτισμού. 114	
9.2.3 Εμπλουτισμός κατά την πρώτη σύνθετη δοκιμή	120
9.2.4 Συμπεράσματα από την πρώτη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη	124
9.3 Δεύτερη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη	124

9.3.1 Διαδικασία διεξαγωγής της δεύτερης σύνθετης δοκιμής.....	124
9.3.2 Αποτελέσματα της δεύτερης σύνθετης δοκιμής εμπλουτισμού	126
9.3.3 Εμπλουτισμός κατά την δεύτερη σύνθετη δοκιμή	130
9.3.4 Συμπεράσματα από την δεύτερη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη	132
9.4 Σύγκριση των δύο σύνθετων δοκιμών εμπλουτισμού λατερίτη	132
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 10	134
Συμπεράσματα - Προτάσεις	134
10.1 Συμπεράσματα	134
10.1.1 Ανακεφαλαίωση.....	134
10.1.2 Συμπεράσματα δοκιμών εμπλουτισμού	135
10.2 Προτάσεις.....	137
Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α	138
Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Ι	141
Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Ι Ι	154

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής, είναι η εργαστηριακή διερεύνηση εμπλουτισμού λατεριτικού μεταλλεύματος. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι από το αυτόχθονο κοίτασμα της περιοχής της Καστοριάς.

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

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι η θραύση, η υγρή αυτολειοτριβήση, λειοτριβήση σε ραδβόμυλο, κοσκίνηση, υδροταξινόμηση, ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά, ο μαγνητικός διαχωρισμός και η επίπλευση.

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

Η κοσκίνηση έχει σαν στόχο τον κατά μέγεθος διαχωρισμό του θραυσθέντος μεταλλεύματος, σε ομάδες ισοδιάστατων ή περίπου ισοδιάστατων τεμαχίων.

Η υδροταξινόμηση σε υδροκυκλώνα, αποσκοπεί στον διαχωρισμό του πολύ λεπτόκοκκου υλικού (μεγέθους μερικών μm) από το μέταλλευμα, το οποίο εκτός το ότι αναμένεται να είναι αρκετά πλούσιο σε νικέλιο, δυσχεραίνει και την εφαρμογή άλλων μεθόδων στο μέταλλευμα.

Ο στόχος της μεθόδου των βαρέων υγρών είναι ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη. Εκμεταλλευόμενοι την διαφορά των ειδικών βαρών των ορυκτών, μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός των ορυκτών του μεταλλεύματος, ανάλογα με τα ειδικά τους βάρη.

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

Η μέθοδο της επίπλευσης επιλέχθηκε, διότι μπορεί να επεξεργασθεί μεταλλεύματα σε πολύ μικρά μεγέθη, όπου επιτυγχάνεται ικανοποιητική αποδέσμευση μεταξύ των ορυκτών.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εμπλουτισμού, θα συμβάλλει στην επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ των μεθόδων, ώστε να επιτευχθεί η ανάκτηση ενός συμπυκνώματος με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε νικέλιο.

Στην αρχή της εργασίας περιγράφονται γενικά θέματα, όπως για τον εμπλουτισμό μεταλλευμάτων, γενικά στοιχεία για το νικέλιο, για την γένεση και την κοιτασματολογία των λατεριτικών μεταλλευμάτων, γεωλογικά στοιχεία του κοιτάσματος λατερίτη της Καστοριάς, καθώς και για την μεταλλουργία και τα προϊόντα που παράγονται από την καμίνευση λατεριτικών μεταλλευμάτων στην Ελλάδα.

Στην συνέχεια ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας, όπου αναφέρεται η ορυκτολογική και χημική σύσταση του δείγματος, καθώς και οι δοκιμές εμπλουτισμού του μεταλλεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων

1.1 Τι είναι ο εμπλουτισμός μεταλλευμάτων

Εμπλουτισμός ενός μεταλλεύματος ονομάζεται το σύνολο των διαδικασιών που πρέπει να υποστεί το μετάλλευμα για να διαχωριστεί το χρήσιμο ορυκτό από τα συνυπάρχοντα στείρα, με αποτέλεσμα την ανάκτηση ενός «πλούσιου» συμπυκνώματος από ένα αρχικό «πτωχό» μετάλλευμα (Σταμπολιάδης, 1993).

Ο διαχωρισμός είναι συνήθως φυσικός και κατά τον εμπλουτισμό δεν αλλοιώνεται η φυσική και η χημική υπόσταση των ορυκτών. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού βασίζονται στις διαφορές φυσικών και χημικών ιδιοτήτων που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων ορυκτών, μέσω των οποίων, επιτυγχάνεται ο μεταξύ αυτών διαχωρισμός.

Οι κυριότερες ιδιότητες που εκμεταλλεύεται ο εμπλουτισμός για το διαχωρισμό των ορυκτών μεταξύ τους είναι: το χρώμα, το σχήμα, το ειδικό βάρος, η μαγνητική διαπερατότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η φυσικοχημεία της επιφάνειας κ.ά. Από τις παραπάνω ιδιότητες αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι εμπλουτισμού όπως ο οπτικός διαχωρισμός, ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός, ο μαγνητικός διαχωρισμός, ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός, η επίπλευση κ.ά (Φραγκίσκος, 1979).

Με τον εμπλουτισμό επιτυγχάνεται:

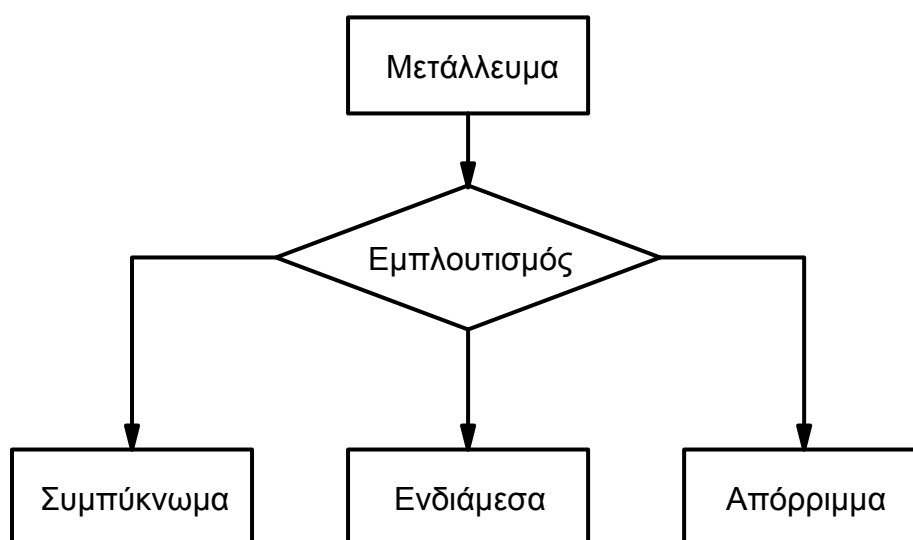
- 1) Η εκμετάλλευση κοιτασμάτων με χαμηλή περιεκτικότητα.
- 2) Η απομάκρυνση ορισμένων βλαπτικών προσμείξεων, οι οποίες επιδρούν αρνητικά κατά τη μεταλλουργική διαδικασία.
- 3) Εκμετάλλευση συμμείκτων μεταλλευμάτων με εκλεκτικό διαχωρισμό.

Με τις διαδικασίες εμπλουτισμού παράγονται κυρίως δύο προϊόντα: το συμπύκνωμα (εμπλουτισμένο προϊόν) και το απόρριμμα (στείρο). Κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού συνήθως παράγεται και ένα τρίτο προϊόν, το οποίο ονομάζεται

ενδιάμεσο και δεν θεωρείται ούτε συμπύκνωμα ούτε απόρριμμα και ανακυκλώνεται συνεχώς στο κύκλωμα (Σχήμα 1.1).

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η δυνατότητα εμπλουτισμού αυτόχθονου λατερίτη της περιοχής Καστοριάς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι εμπλουτισμού:

- ◆ Θραύση
- ◆ Υγρή αυτολειοτριβήση, λειοτριβήση σε ραδβόμυλο
- ◆ Κοσκίνηση
- ◆ Υδροταξινόμηση
- ◆ Διαχωρισμός με βαρέα υγρά
- ◆ Μαγνητικός διαχωρισμός
- ◆ Επίπλευση



Σχήμα 1.1: Σχηματική παράσταση απλού διαχωρισμού και παραγομένων προϊόντων (Φραγκίσκος, 1979).

1.2 Η σημασία του εμπλουτισμού στην παραγωγή νικελίου στην Ελλάδα

Η εκμετάλλευση των λατεριτικών κοιτασμάτων στην χώρα μας γίνεται από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ.

Για την παραγωγή ενός τόννου νικελίου, από την συγκεκριμένη εταιρεία, απαιτούνται 120 τόνοι μεταλλεύματος, 26 τόνοι λιθάνθρακα και λιγνίτη καθώς και ποσότητες

πυρίμαχων, οξυγόνου, προπανίου, αζώτου και σκραπ. Η απαιτούμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή ενός τόνου Ni ανέρχεται σε 55.000KWh (Παπαμαντέλλος, 1990).

Επίσης, μεγάλη σημασία έχει η ποσότητα του Fe_2O_3 στην τροφοδοσία που μαζί με το SiO_2 και το MgO καθορίζουν το σημείο τήξης της σκουριάς στην ηλεκτρική κάμινο.

Εξ αιτίας των τεράστιων ποσοτήτων πρώτων υλών και ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή ενός τόνου νικελίου είναι φανερή η σημασία που μπορεί να έχει ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος πριν την μεταλλουργική επεξεργασία, αφού όσο εμπλουτίζεται η τροφοδοσία σε Ni, τόσο μεγαλώνει η παραγωγή και μικραίνει το κόστος.

Έτσι, οι αντικειμενικοί στόχοι του εν λόγω εμπλουτισμού είναι:

- ◆ Η αναβάθμιση όσο το δυνατόν της ποιότητας του μεταλλεύματος σε περιεκτικότητα νικελίου.
- ◆ Η απόρριψη όσο το δυνατόν περισσότερου στείρου υλικού με ελάχιστη ανάλυση σε νικέλιο.
- ◆ Η επιλογή της οικονομικότερης και πιο συμφέρουσας μεθόδου εμπλουτισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Νικέλιο (Ni)

2.1 Ιδιότητες Ni

Το νικέλιο (Ni) έχει ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,69 (Πίνακας 2.1). Η θέση του, στον Περιοδικό Πίνακα των στοιχείων, είναι στην πρώτη τριάδα της Ομάδας VIII, μετά το σίδηρο (Fe) και το κοβάλτιο (Co), και πριν το χαλκό (Cu) από την ομάδα 1B.

Το καθαρό, κατεργασμένο νικέλιο έχει αργυροειδής εμφάνιση με μικρές κίτρινες κηλίδες. Είναι ελατό, όλκιμο και κατέχει εξαιρετικές μαγνητικές ιδιότητες. Επιδεικνύει καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και έχει μέτρια σκληρότητα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Αν και το νικέλιο είναι εύπλαστο με μέτρια σκληρότητα, ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες, έχει την ικανότητα να στιλβώνεται και να διατηρεί τη στιλπνότητά του (The Economics of Nickel, 1996).

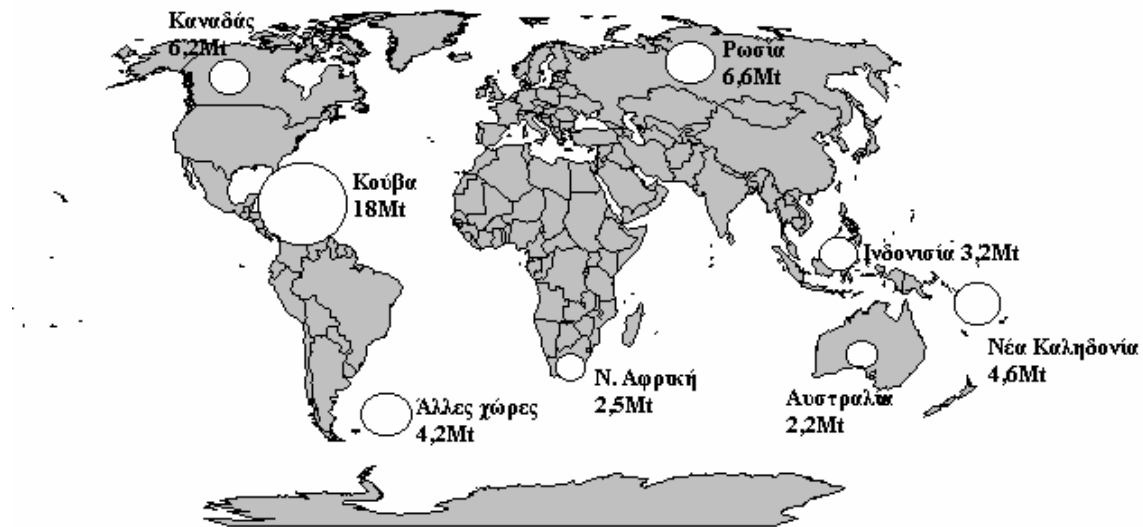
Η πιο σημαντική φυσική ιδιότητα του νικελίου, η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές από τις εφαρμογές του, είναι η ικανότητα του να διατηρεί τη σταθερότητα, σκληρότητα και αντοχή του σε οξείδωση και διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Το νικέλιο μοιάζει με το σίδηρο στη σταθερότητα και τη σκληρότητα, αλλά παρουσιάζει παρόμοια αντίσταση σε οξείδωση και διάβρωση με το χαλκό (British Columbia Institute of Technology, 1998).

Πίνακας 2.1: Επιλεκτικές ιδιότητες του νικελίου (Encyclopedia of Materials Science and Engineering, Pergamon Press, 1986)

Ατομικός Αριθμός	28
Ατομικό Βάρος	58,69
Σημείο Βρασμού (⁰ C)	2732
Συντελεστής Αγωγιμότητας (cal/cm/cm ² /sec/ ⁰ C)	0,142
Ειδική Θερμότητα (cal/g/deg C)	0,1095
Πυκνότητα (g/cm ³)	8,9
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Cu=100%)	16
Σκληρότητα (Moh's)	7,12
Σημείο Τήξης (⁰ C)	1455

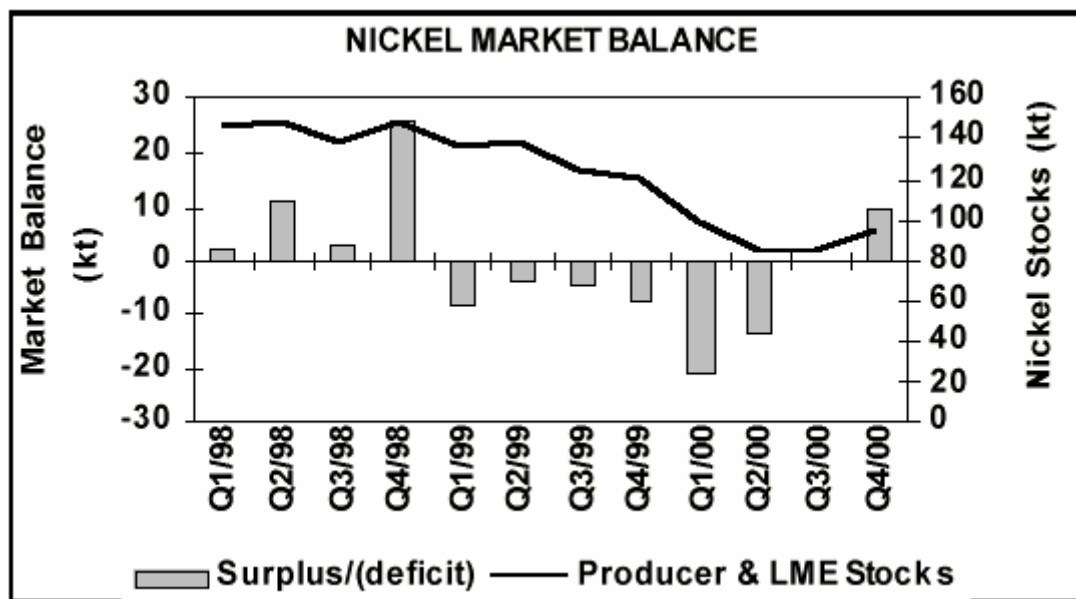
2.2 Αγορά Ni

Η παραγωγή νικελίου γίνεται από ελάχιστες σε αριθμό χώρες, οι οποίες ελέγχουν και την αγορά. Το 1995, η Ρωσία, ο Καναδάς, η Νέα Καληδονία, η Αυστραλία και η Ινδονησία παρήγαγαν το 75% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου (Canadian Mining Journal, Febr. 1996). Οι εταιρείες των χωρών αυτών δραστηριοποιούνται κυρίως σε χώρες του τρίτου κόσμου, οι οποίες διαθέτουν και τα πλουσιότερα κοιτάσματα νικελίου. Τα κυριότερα κοιτάσματα νικελίου φαίνονται στο σχήμα 2.1.

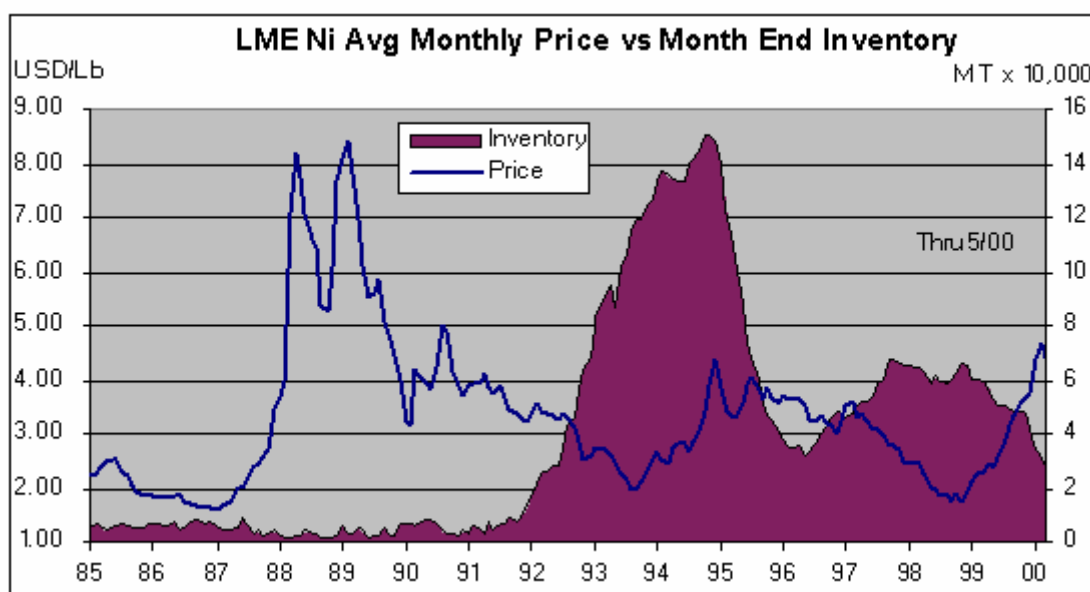


Σχήμα 2.1: Τα σπουδαιότερα κοιτάσματα νικελίου ανά το κόσμο (US Geological Survey)

Η αγορά νικελίου αντιμετώπισε τα τελευταία χρόνια μία από τις σοβαρότερες κρίσεις. Η αυξημένη απαίτηση για νικέλιο, η μείωση της παραγωγής από τις εταιρείες δυτικών συμφερόντων, οι μειωμένες εξαγωγές της ρωσικής βιομηχανίας, τα μικρότερα αποθέματα σκραπς νικελίου και η αποτελεσματική ελάττωση των αποθεμάτων, βοήθησαν στην σταθερή αύξηση της τιμής του νικελίου από τον Ιανουάριο του 1999 (Yip, S & M. Kirves, 1999). Στο σχήμα 2.2 αποτυπώνεται το ισοζύγιο της αγοράς νικελίου ανά τρίμηνο, από το 1998 έως και το 2000, και στο σχήμα 2.3 φαίνεται η διακύμανση της τιμής του νικελίου και των αποθεμάτων του, από το 1985 έως το Μάιο του 2000.



Σχήμα 2.2: Ισοζύγιο αγοράς νικελίου (Yip, S & M. Kirves, 2000)

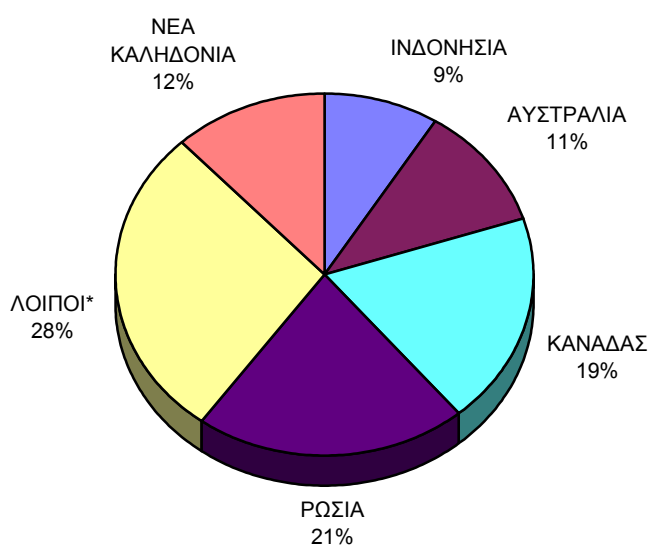


Σχήμα 2.3: Μεταβολή τιμών και αποθεμάτων νικελίου (Metal price.com)

2.3 Μεταλλευτικές δραστηριότητες

Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία, η παγκόσμια παραγωγή νικελίου κατά το έτος 1999 έφτασε τα 930.000 ton και αναμένεται να ξεπεράσει τους 980.000 ton για το 2000 (Yip, S & M. Kirves, 1999). Στον πίνακα A.I.1 αναγράφεται η παραγωγή νικελίου ανά χώρα από το 1988 έως το 1995.

Η εκμετάλλευση σιδηρονικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα, γίνεται από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ, η οποία αποτελεί μία από τις κυριότερες μεταλλουργικές βιομηχανίες παραγωγής FeNi στην Ευρώπη. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις 16 λοιπές χώρες, οι οποίες κατέχουν συνολικά το 28% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου (Σχήμα. 2.4) (Canadian Mining Journal, Febr. 1996).



* Περιλαμβάνει 16 χώρες

Σχήμα 2.4: Παγκόσμια παραγωγή νικελίου (Canadian Mining Journal, Febr. 1996)

2.4 Χρήσεις νικελίου

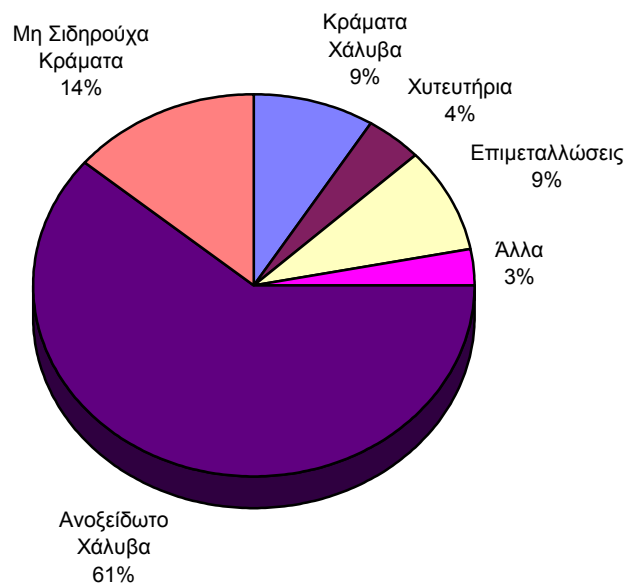
Το νικέλιο είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο στοιχείο το οποίο κατέχει αρκετά καλές ιδιότητες. Οι παράγοντες οι οποίοι κάνουν το νικέλιο και τα κράματα του εμπορικά πολύτιμο προϊόν, είναι η σκληρότητα του, η αντίσταση σε διάβρωση, η υψηλή ελατότητά του, η καλή θερμική και ηλεκτρική του αγωγιμότητα, τα μαγνητικά χαρακτηριστικά και οι καταλυτικές του ιδιότητες (NiPERA, 1998).

Οι εμπορικές εφαρμογές του νικελίου είναι (British Columbia Institute of Technology):

- ♦ Η κατασκευή νομισμάτων.

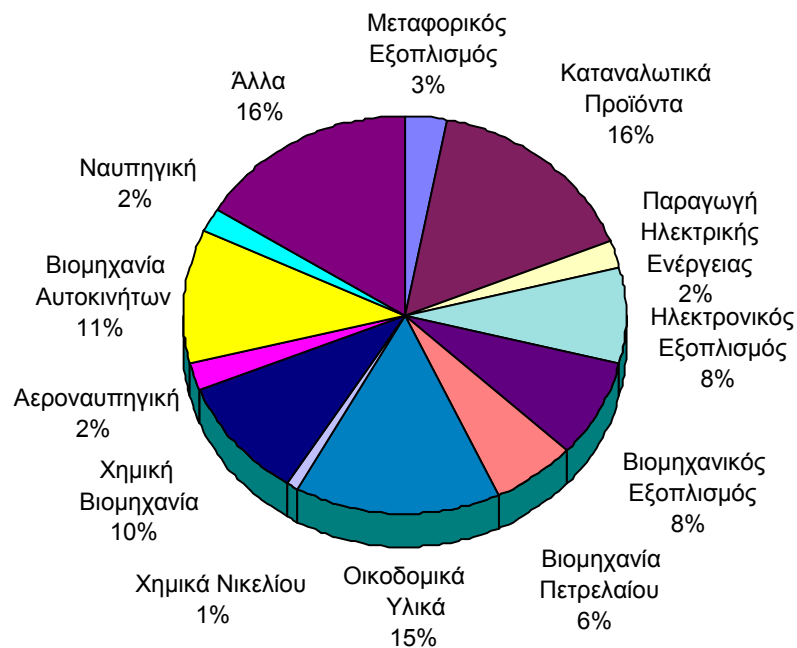
- ◆ Χρησιμοποιείται στη προστασία του σιδήρου και του χάλυβα από την οξείδωση.
- ◆ Τα κράματα σιδήρου.
- ◆ Η δημιουργία μόνιμων μαγνητών.
- ◆ Δημιουργία κράματος νικελίου, χρωμίου, σιδήρου.
- ◆ Η κατασκευή δοχείων, για την μεταφορά ισχυρών υδροξειδίων του νατρίου και καλίου.
- ◆ Χρησιμοποιείται για την κατασκευή μπαταριών νικελίου - καδμίου.
- ◆ Χρησιμοποιείται με την μορφή πούδρας, ως καταλύτης υδρογονώσεως.

Περισσότερο από το 80% του παραγόμενου νικελίου καταναλώνεται σε περίπου 3.000 διαφορετικά κράματα ανοξειδωτου χάλυβα, κράματα χάλυβα, και άλλα μη σιδηρούχα κράματα (σχήμα 2.5) (NiPERA, 1998).



Σχήμα 2.5: Κατανομή του παραγόμενου νικελίου στην βιομηχανία (NiPERA, 1998)

Το νικέλιο χρησιμοποιείται στην βιομηχανία καταναλωτικών αγαθών, στην βιομηχανία αυτοκινήτων, στη χημική βιομηχανία, στην αεροναυπηγική, στην κατασκευή οικοδομικών υλικών, στην βιομηχανία πετρελαίου κ.ά. (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Χρήσεις νικελίου (NiPERA, 1998)

2.5 Προέλευση Νικελίου

Η παγκόσμια παραγωγή σε καθαρό νικέλιο Ni είναι της τάξεως των 900 χιλιάδων τόννων ετησίως και προέρχεται από δύο τύπους μεταλλευμάτων, τα θειούχα και τα λατεριτικά με συνολικά αποθέματα 60 εκατ. τόννους Ni (Ζευγώλης, 1984).

Τα θειούχα κοιτάσματα αποτελούν το 40% των παγκοσμίων αποθεμάτων Ni και παράγουν το 60% του Ni. Ευρίσκονται στον Καναδά, Αυστραλία, Ρωσία και Νότιο Αφρική (The Economics of Nickel, 1996).

Τα σημαντικότερα λατεριτικά κοιτάσματα ανά τον κόσμο είναι αυτά της Ρωσίας, Αλβανίας, Ελλάδας, Αυστραλίας, Νέα Καληδονίας κ.α. (The Economics of Nickel, 1996).

Επίσης, υπάρχουν αποθέματα Ni σε μαγγανιούχους κονδύλους σε υποθαλάσσια κοιτάσματα (Σκαρπέλης, 1994).

Η παραγωγή νικελίου από θειούχα κοιτάσματα θεωρείται οικονομικότερη σε σχέση με αυτή από λατερίτες, διότι τα θειούχα ορυκτά είναι ευκολότερα στον εμπλουτισμό.

Στην Ελλάδα υπάρχουν λατεριτικά κοιτάσματα νικελίου, που συναντώνται κυρίως στην Εύβοια, Λοκρίδα και την Καστοριά.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα λατεριτικά κοιτάσματα στην περιοχή της Καστοριάς, για τον λόγο αυτό παρουσιάζονται περισσότερες πληροφορίες για την γένεση και την κοιτασματολογία μόνο των λατεριτικών κοιτασμάτων.

2.6 Λατεριτικά μεταλλεύματα

Σε τροπικά κλίματα όπου τα χουμικά οξέα βρίσκονται σε επαρκείς συγκεντρώσεις, η έκπλυση χημικών στοιχείων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Μόνο ο Fe και το Al παραμένουν ως αδιάλυτα στην επιφάνεια, σχηματίζοντας οξείδια. Αυτά τα Fe - Al - πλούσια εδάφη είναι γνωστά και ως λατερίτες. Τα λατεριτικά εδάφη των τροπικών - υποτροπικών ζωνών αποτελούνται κυρίως από οξείδια, σε αντίθεση με αυτά των εύκρατων κλιμάτων που αποτελούνται κυρίως από πυριτικές ενώσεις (Σκαρπέλης, 1994).

2.7 Γένεση και κοιτασματολογία λατεριτικών κοιτασμάτων

Οι νικελιούχοι λατερίτες προέρχονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών κυρίως πετρωμάτων, δηλαδή δουνίτες, περιδοτίτες, σερπεντινίτες, και των μεταμορφωμένων αναλόγων τους.

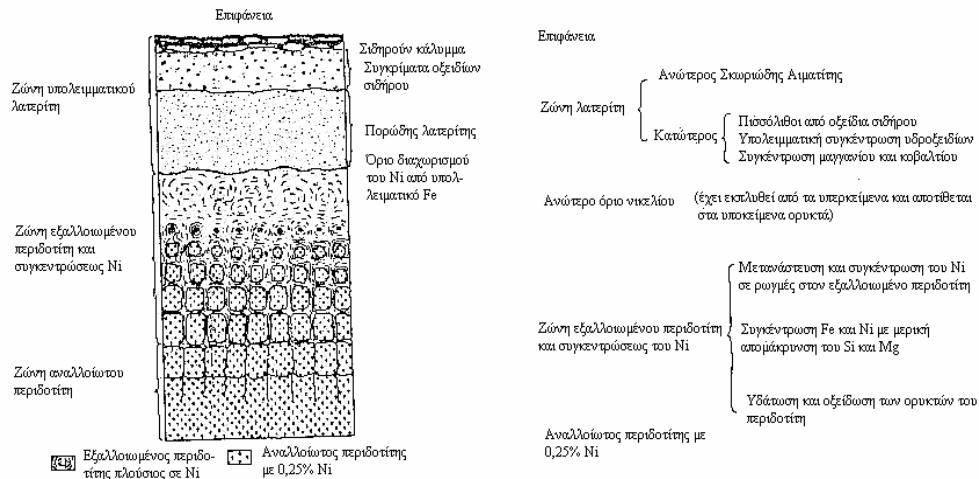
Το μετεωρικό νερό περιέχει διαλυμένο CO₂, με αποτέλεσμα να είναι ελαφρά όξινο. Επιπλέον το εδαφικό νερό περιέχει διάφορα χουμικά οξέα, και έχει pH που κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5. Όλα τα πετρογενετικά ορυκτά είναι διαλυτά κάτω από ευνοϊκές φυσικοχημικές συνθήκες, όπως αυτές που δημιουργούνται από τα όξινα και οξειδωτικά εδαφικά νερά. Το αποτέλεσμα της αποσύνθεσης των ορυκτών είναι η μετακίνηση ορισμένων στοιχείων σε βαθύτερους ορίζοντες, ενώ αντίθετα άλλα στοιχεία παραμένουν στις θέσεις αποσάθρωσης. Ο σίδηρος, ως το λιγότερο διαλυτό στοιχείο, σχηματίζει οξείδια του σιδήρου κοντά στην επιφάνεια. Το μαγνήσιο και το πυρίτιο είναι περισσότερο διαλυτά με αποτέλεσμα να παρασύρονται και να απομακρύνονται. Το νικέλιο εναποτίθεται βαθύτερα, όπου το νερό γίνεται πλέον βασικό. Κατά την διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων η αποσάθρωση του πετρώματος συνεχίζεται, όλο και περισσότερος ολιβίνης αποσυντίθεται, με

αποτέλεσμα να έχουμε έναν συνεχόμενο εμπλουτισμό του λατερίτη (σχήμα 2.7) (The Economics of Nickel, 1996 & Μιχαηλίδης, 1988).

Το νικέλιο βρίσκεται σε μικρά ποσά στο πλέγμα ορυκτών όπως ο ολιβίνης (0,3%) και οι πυρόξενοι (0,03 - 0,06% Ni) αντικαθιστώντας το Mg. Ένας περιδοτίτης περιέχει περίπου 0,2% Ni, ενώ ένας πυροξενίτης 0,15% Ni. Οι σερπεντινίτες περιέχουν λίγο μεγαλύτερα ποσοστά νικελίου. Η αποσάθρωση οδηγεί σε απομάκρυνση του Mg, Si και Ca με αποτέλεσμα την δημιουργία λατερίτη που είναι εμπλουτισμένος σε Ni, το οποίο βρίσκεται κυρίως σε δευτερογενή πυριτικά ορυκτά όπως ο πιμελίτης (Ni - τάλκης), ο νεπούιτης (Ni - σερπεντίνης) ή ο νιμίτης (Ni - χλωρίτης). Συχνά αναφέρεται ο όρος γαρνιερίτης για να περιγράψει μίγματα Ni - τάλκης και Ni - σερπεντίνης και ίσως και άλλων πυριτικών ορυκτών (Σκαρπέλης, 1994).

Η λατεριτίωση (παράρτημα A.I.1) είναι πολύ αποτελεσματική φυσική διαδικασία αφού οδηγεί σε εμπλουτισμό σε νικέλιο που φτάνει 10 ως 30 φορές την αρχική. Η διαδικασία αυτή ελέγχεται από την τοπογραφία, ενώ έχει δειχθεί ότι τα καλύτερα κοιτάσματα σχηματίζονται σε ομαλά πρανή. Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην λατεριτίωση είναι οι εξής (Σκαρπέλης, 1994):

- α) Σταθερό τροπικό κλίμα που ευνοεί τη χημική αποσάθρωση σε βάθος.
- β) Μεγάλες εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων.
- γ) Κλίση 20° στα πρανή.
- δ) Επίπεδο ανάγλυφο των εμφανίσεων ώστε να προκαλείται σταθερή και αργή κίνηση νερού κάτω από την επιφάνεια.
- ε) Χρόνος.



Σχήμα 2.7: Σχηματική κατανομή κοιτάσματος σιδηρονικελιούχου λατερίτη στην Νέα Καληδονία (Μιχαηλίδης, 1988)

2.8 Ελληνικά σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα

Τα Ελληνικά σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα διακρίνονται σε δύο γενετικές κατηγορίες (Μαράτος, 1972):

α) Τα αυτόχθονα, τα οποία σχηματίστηκαν από την χημική αποσάθρωση αρχικώς υπάρχοντων πετρωμάτων. Τα διαλυμένα και αποσαθρωμένα υλικά απομακρύνονται, ενώ το υπόλειμμα συνεχώς εμπλουτίζεται σε μη διαλυτά και ανθεκτικά υλικά. Οπότε, στο μέταλλευμα πραγματοποιείται συνεχής εμπλουτισμός, χωρίς την μετακίνησή του από το μητρικό πέτρωμα (in situ).

β) Τα ετερόχθονα, στα οποία το μέταλλευμα έχει αποτεθεί δευτερογενώς, υπό την επίδραση εξωγενών παραγόντων, επάνω σε ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθους).

Ο Augustithis (1962) εισαγάγει και μία τρίτη κατηγορία μεταλλευμάτων, τα ψευδοαυτόχθονα, τα οποία μεταφέρθηκαν από τα μητρικά πετρώματα και αποτέθηκαν πάλι επάνω σε οφιολίθους.

Οι σημαντικότερες συγκεντρώσεις σιδηρονικελιούχων λατεριτικών μεταλλευμάτων εμφανίζονται στις περιοχές Λοκρίδας, Εύβοιας, Έδεσσας, Καστοριάς κ.α.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα αυτόχθονα λατεριτικά κοιτάσματα της Καστοριάς.

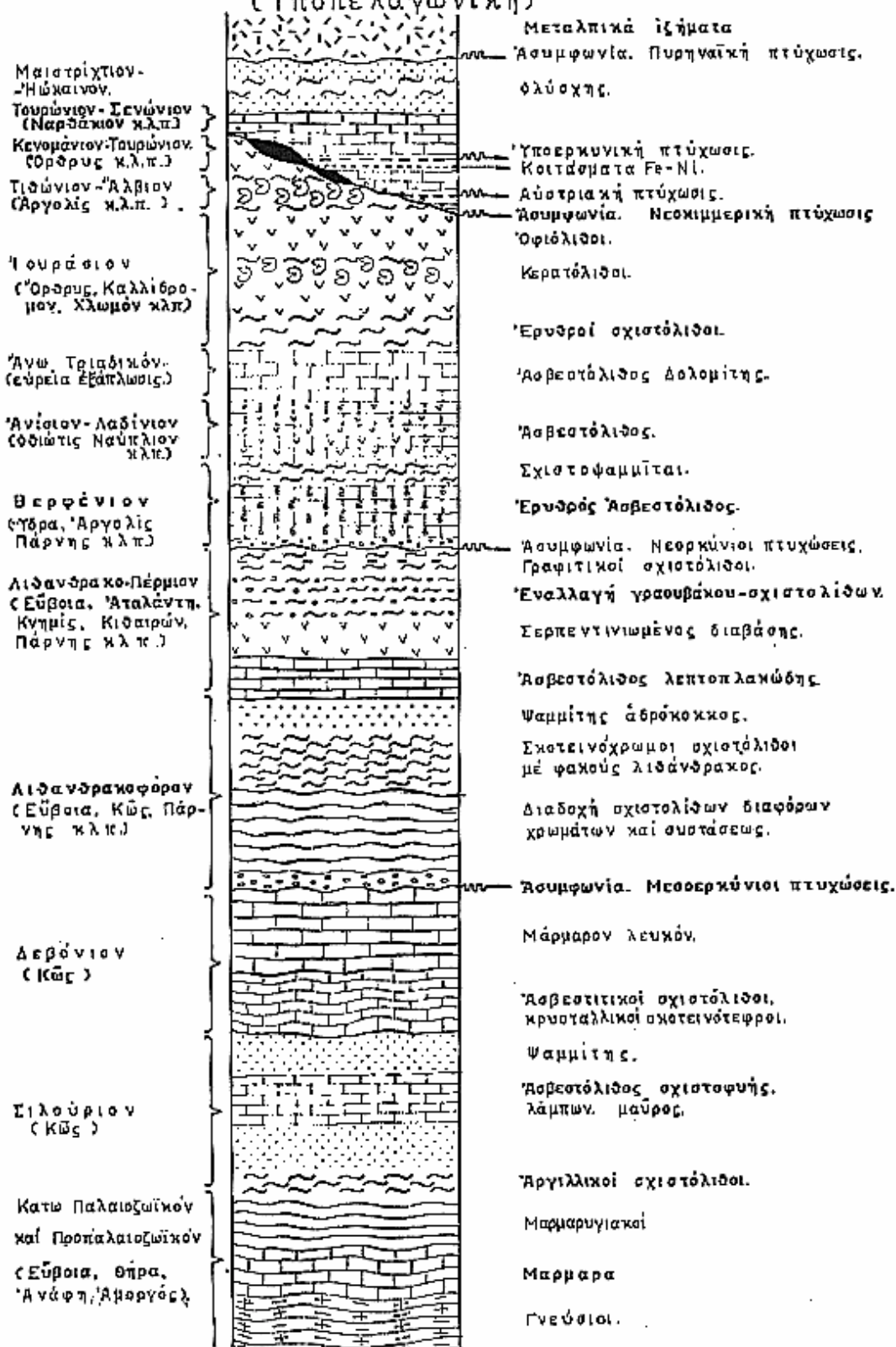
2.9 Κοιτάσματα περιοχής Καστοριάς

Τα νικελιούχα λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα της ευρύτερης περιοχής της Καστοριάς θεωρούνται λιθοστρωματογραφικώς αντίστοιχα των σιδηρομεταλλευμάτων της Ηπειρωτικής Ελλάδας, Εύβοιας και Αλβανίας (Μουντράκης, 1983). Η υπό εξέταση περιοχή θεωρείται, ότι ανήκει κυρίως στη ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονική) (σχήμα 2.8) και μερικώς στη Πελαγονική ζώνη. Τα κοιτάσματα αυτά συνδέονται άμεσα με σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα και έχουν επικαλυφθεί από κροκαλοπαγή μολάσσα (σχήμα 2.9). Σύμφωνα με την εμφάνιση, την ορυκτολογική και γεωχημική σύστασή τους, τα κοιτάσματα αυτά χαρακτηρίζονται σαν νικελιούχοι λατερίτες (Skarpelis et al., 1993).

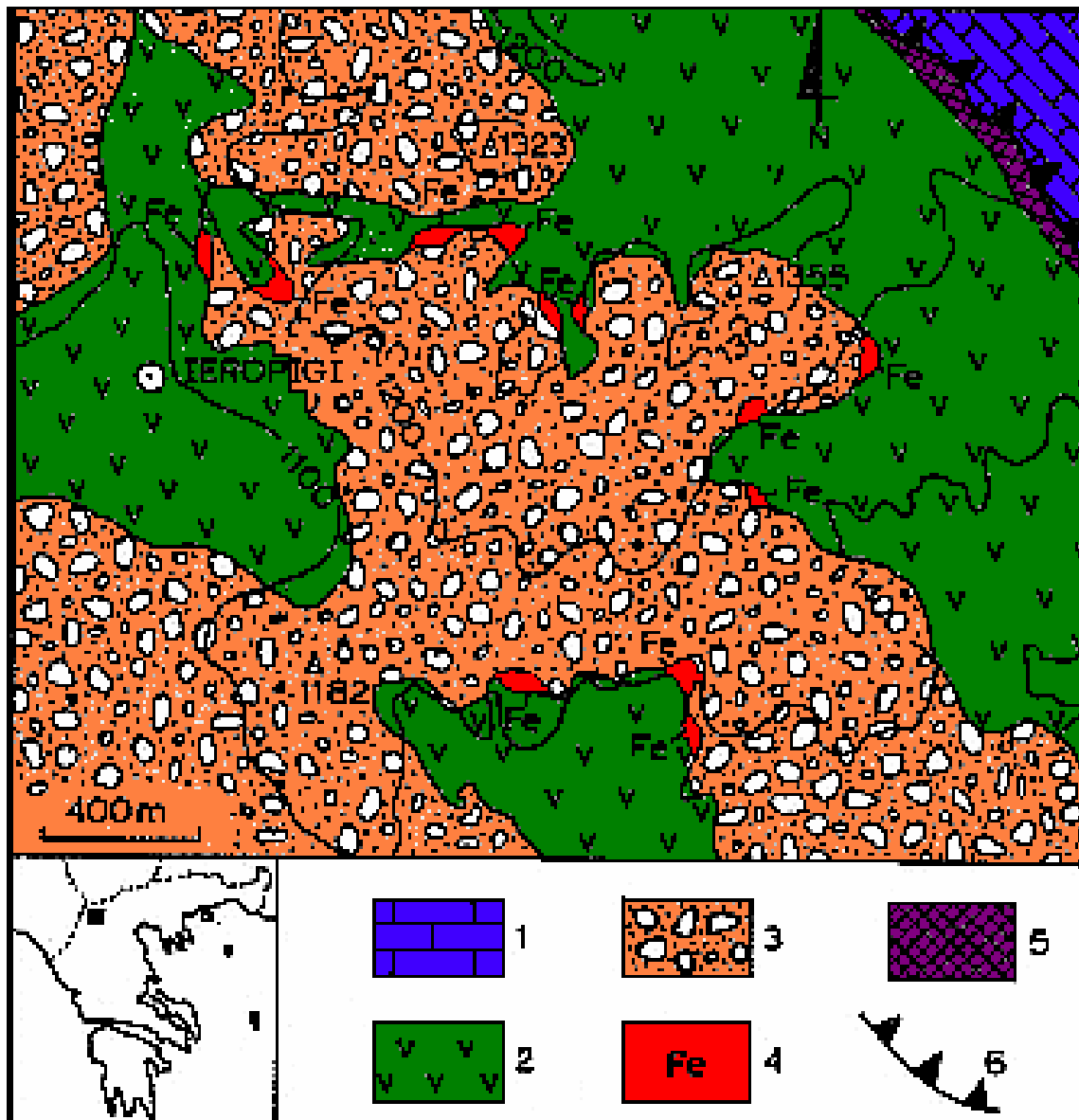
Τα υπερβασικά πετρώματα ορίζονται από οφιολιθικές εμφανίσεις με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ από Αλβανία προς την νότια περιοχή της Καστοριάς. Σερπεντινωμένοι περιδοτίτες και δουνίτες, σπιλίτες και πυριτικά ιζήματα περιγράφονται ως η κύρια λιθολογία της περιοχής (Μουντράκης, 1982).

Το χαρακτηριστικό των σιδηρονικελιούχων πετρωμάτων και των υποκείμενων οφιόλιθων της περιοχής της Καστοριάς, είναι το ότι καλύπτονται από κροκαλοπαγή μολάσσα ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου, σε αντίθεση με αυτά της Ηπειρωτικής Ελλάδας και Ευβοίας που επικαλύφθηκαν από ανθρακικά πετρώματα (Μουντράκης, 1983).

ΣΕΙΡΑ ΑΝΑΤ. ΕΛΛΑΔΟΣ
(Υποπελαγονική)



Σχήμα 2.8: Σειρά Ανατολικής Ελλάδος (Μαράτος, 1972)



1. Ασβεστολιθικά πετρώματα Ανώτερου Τριαδικού - Ανώτερου Ιουρασικού.
2. Υπερβασικά και βασικά πετρώματα.
3. Μολασσικά Ιζήματα Μειόκαινου.
4. Εμφανίσεις σιδηρονικελιούχων λατεριτικών πετρωμάτων.
5. Οφιολιθικά συμπλέγματα.
6. Τριτογενής επώθηση.

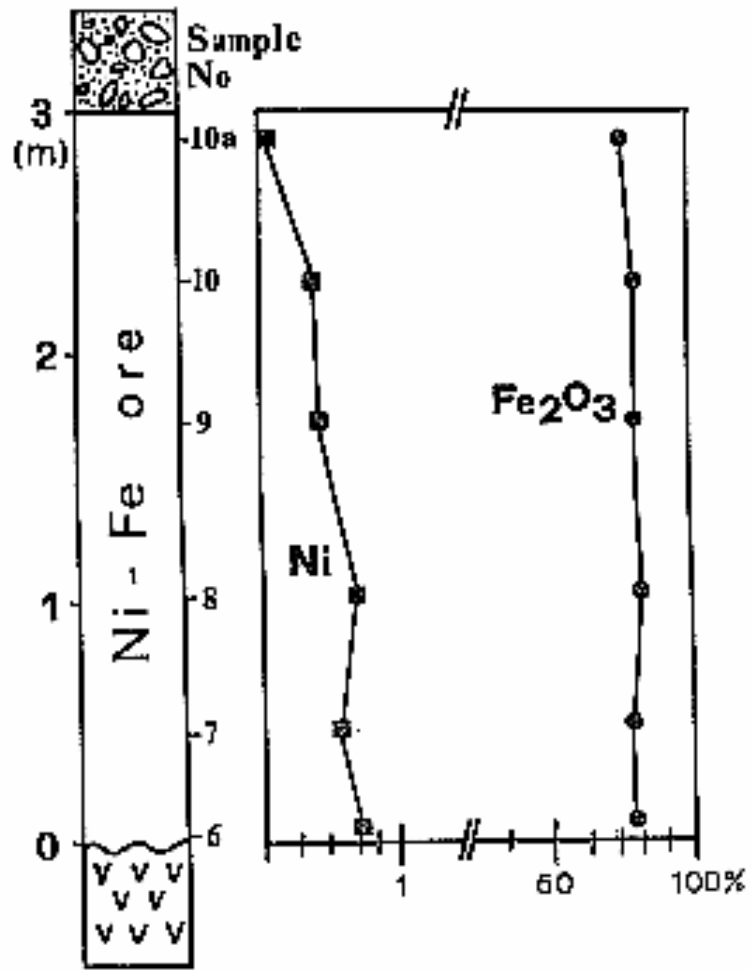
Σχήμα 2.9: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Ιεροπηγής Καστοριάς (Plastiras, 1979- Mountrakis, 1983)

Τα κύρια πετρώματα στην Καστοριά εμφανίζουν φακούς από κατακερματισμένο σκούρο καφέ έως μαύρο υλικό. Παρατηρούνται δύο τύποι μεταλλεύματος το

συμπαγής και το πισσολιθικό. Εμφανίζονται λεπτά κοκκινωπά στρώματα σε διάφορα επίπεδα μέσα στο κύριο πέτρωμα. Οι ψαμμίτες στα ανώτερα τμήματα ορισμένων πετρωμάτων υποδηλώνουν τα τελικά τμήματα του κοιτάσματος και περιέχουν γωνιώδες τεμάχια από σερπεντίνη, ολιβίνη, σιδηρούχα και ανθρακικά ορυκτά (Μουντράκης, 1983).

Οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, χρωμίτες, χαλαζίας, σερπεντίνης, και χλωρίτες είναι τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του πισσολιθικού και συμπαγούς μεταλλεύματος. Νικελιούχα πυριτικά ορυκτά, χαλαζίας και οξειδία του μαγνησίου εμφανίζονται ως επίστρωση μέσα σε ρωγμές του πετρώματος (Skarpelis et al., 1993).

Παρατηρείται ακόμη μια αύξηση της περιεκτικότητας Ni προς τη βάση των κοιτασμάτων, που αποδίδεται σε διακίνηση του Ni κατά το διαγενετικό και μεταδιαγενετικό στάδιο (σχήμα 2.10) (Skarpelis et al., 1993).



Σχήμα 2.10: Κατακόρυφη περιγραφή περιεκτικότητας Fe₂O₃ και Ni κατά μήκος αντιπροσωπευτικής τομής του κοιτάσματος (Skarpelis et al., 1993)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μεταλλουργία νικελίου

3.1 Μεταλλουργία εξαγωγής Ni

Η εξαγωγή του μεταλλικού Ni από λατεριτικά κοιτάσματα, που γίνεται στις εγκαταστάσεις της ΛΑΡΚΟ με πυρομεταλλουργική κατεργασία είναι η εξής (Σκλαβούνος, 1999):

Αρχικά γίνεται ανάμιξη των διαφόρων ποιοτήτων μεταλλεύματος με τα στερεά καύσιμα (λιγνίτης, γαιάνθρακας) και το μείγμα που προκύπτει, οδηγείται στις περιστροφικές κάμινους, όπου γίνεται προαναγωγή των οξειδίων Ni και μέρους των οξειδίων του Fe.

Η θέρμανση του μεταλλεύματος βοηθείται από καυστήρα μαζούτ, ενώ συγχρόνως τροφοδοτείται αέρας από τα πλάγια της καμίνου. Η θερμοκρασία του μεταλλεύματος φθάνει τους 850-900⁰C. Η λεπτή σκόνη που παρασύρεται από τα καυσαέρια της καμίνου, συλλέγεται, μορφοποιείται σε σφαιρίδια και ανακυκλώνεται στην περιστροφική κάμινο.

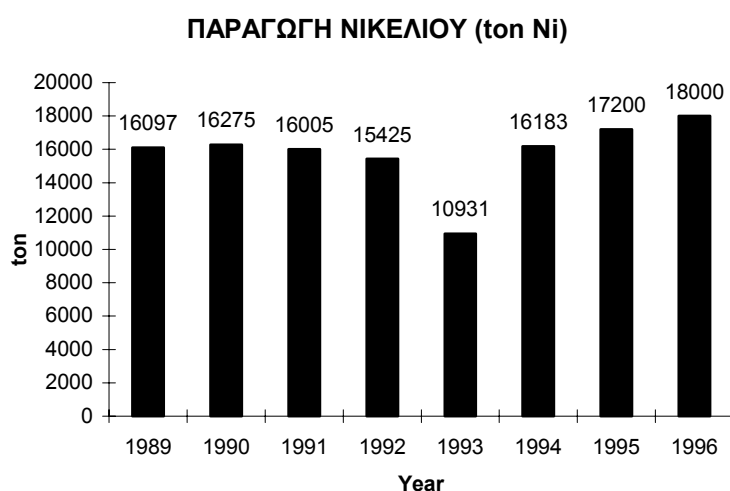
Το προϊόν των καμίνων μεταφέρεται στα ηλεκτροκάμινα αναγωγικής τήξης, όπου γίνεται μία επιπλέον αναγωγή των οξειδίων του Fe. Έτσι προκύπτει ένα σιδηρονικελιούχο προϊόν με 14% σε Ni καθώς και ποσότητα από σκωρία, η οποία αποβάλλεται, ψύχεται και σφαιροποιείται. Η θερμοκρασία του σιδηρονικελιούχου κράματος είναι 1500⁰C ενώ της σκωρίας είναι 1400⁰C.

Το σιδηρονικελιούχο προϊόν οδηγείται στο τμήμα των μεταλλακτών, όπου οξειδώνεται και καθαρίζεται από θειάφι και φώσφορο. Με εμφύσηση οξυγόνου-προπανίου, μέρος του Fe φεύγει ως σκουριά και γίνεται εμπλουτισμός σε Ni.

Η μεταλλική φάση είναι σε μέγεθος 3-35mm, που αποτελεί και το τελικό προϊόν προς πώληση. Η τελική περιεκτικότητα σε Ni κυμαίνεται μεταξύ 20-25% Ni ανάλογα με τις ζητούμενες προδιαγραφές.

Η συνολική παραγωγή του εργοστασίου είναι περίπου στους 17.000 τόνους νικελίου ανά έτος που προέρχονται από 1.800.000 τόνους λατερίτη.

Η εταιρεία λειτουργεί σήμερα μεταλλεία σε τρεις περιοχές της Ελλάδας (Αγ. Ιωάννη, Εύβοια, Καστοριά). Η ετήσια παραγωγή νικελίου της εταιρείας αντιστοιχεί στο 2-3% της παραγωγής του Δυτικού κόσμου (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Παραγωγή νικελίου της εταιρείας ΛΑΡΚΟ τα τελευταία χρόνια (Ζευγώλης, 1995 - The Economics of Nickel, 1996)

3.2 Προϊόντα της εταιρείας ΛΑΡΚΟ

Τα προϊόντα που παράγει η εταιρεία ΛΑΡΚΟ από την καμίνευση των ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων είναι:

- ◆ Κονιοποιημένο σιδηρονικέλιο με περιεκτικότητα σε νικέλιο 18-20% (17.000tn/έτος Ni ή 80.000tn/έτος FeNi 20%) παραγωγής μεταλλακτών οξυγόνου, ελεύθερο άνθρακα χαμηλής περιεκτικότητας σε Ni. Πρώτη ύλη παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα.
- ◆ Σκουριά ηλεκτροκαμίνων αναγωγής (1.700.000tn/έτος) κοκκοποιημένη πρώτη ύλη για την τσιμεντοβιομηχανία, υλικό αμμοβολής και επίστρωση δρόμων.

◆ Σκουριά μεταλλακτών (70.000tn/έτος) θρυμματισμένη, υλικό για βαρύ σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται για την πάκτωση νησίδων πετρελαίου, σαν περίβλημα υποθαλάσσιων αγωγών κ.α.

Το τελικό προϊόν της ΛΑΡΚΟ είναι FeNi το οποίο εξάγεται σε ευρωπαϊκές χαλυβουργίες ανοξείδωτου χάλυβα και αξιολογείται ως άριστο προϊόν για την παραγωγή ωστενικού ανοξείδωτου χάλυβα, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας του σε C%, S% και P%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δείγμα αυτόχθονου λατερίτη από το κοίτασμα Καστοριάς

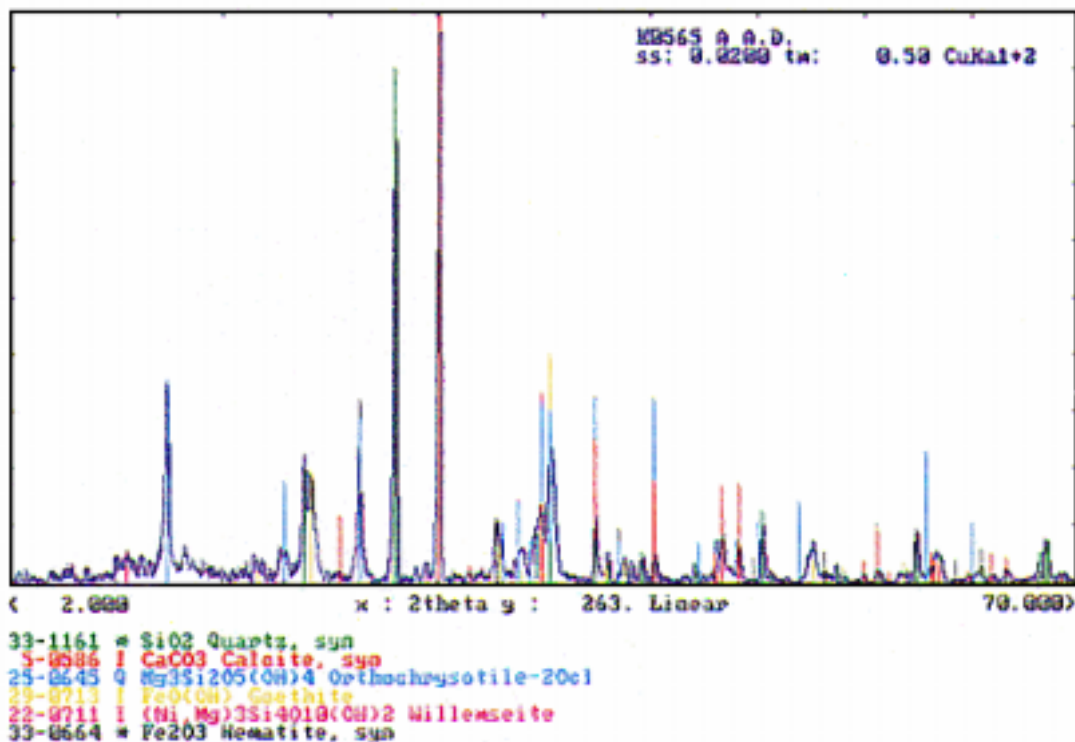
4.1 Περιγραφή του δείγματος

Το δείγμα προέρχεται από το κοίτασμα αυτόχθονου λατερίτη της Καστοριάς και στάλθηκε από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ. Το δείγμα είναι μέρος από το υλικό τροφοδοσίας του εργοστασίου εμπλουτισμού της συγκεκριμένης εταιρείας. Το βάρος του αρχικού δείγματος είναι 20Kg με υγρασία 13.4 %. Το χρώμα του είναι καφέ, καστανό με κοκκομετρία τα -20.00mm.

4.2 Ορυκτολογική ανάλυση

Η ορυκτολογική εξέταση του δείγματος έγινε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτινών X (XRD: X Ray Diffraction Analysis) τύπου D 500 της εταιρείας SIEMENS (παράρτημα Α.Ι.2) και μεταλλογραφικού μικροσκοπίου σε στιλπνές τομές.

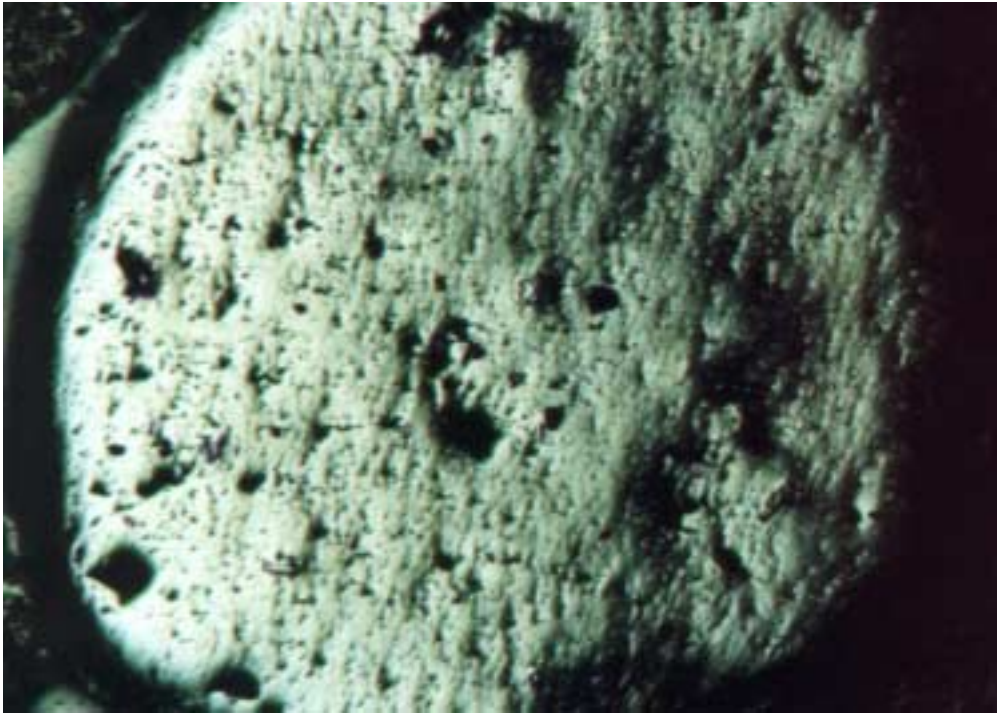
Από το ακτινοδιάγραμμα 4.1 που αντιστοιχεί στην εξέταση του αρχικού δείγματος, προέκυψε ότι περιέχονται τα εξής ορυκτά: χαλαζίας (SiO_2), ασβεστίτης (CaCO_3), γκαιτίτης (FeOOH), αιματίτης (Fe_2O_3), σερπεντίνης ($\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$) και ίχνη βιλλεμζεΐτη ($\text{Ni}_3\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). Το νικέλιο, το οποίο είναι και το στοιχείο που μας ενδιαφέρει, συνήθως εμπεριέχεται στο πλέγμα των μητρικών ορυκτών με μερική αντικατάσταση του Mg π.χ. ολιβίνης, καθώς και σε δευτερογενή πυριτικά ορυκτά π.χ. νεπούιτης, νιμίτης κ.ά. Ο βιλλεμζεΐτης (νικιλιούχος τάλκης) ανιχνεύθηκε στο δείγμα σε σχετικά μικρά ποσοστά.



Σχήμα 4.1: Ακτινοδιάγραμμα που ελήφθη με το περιθλασίμετρο από το αρχικό δείγμα λατερίτη Καστοριάς

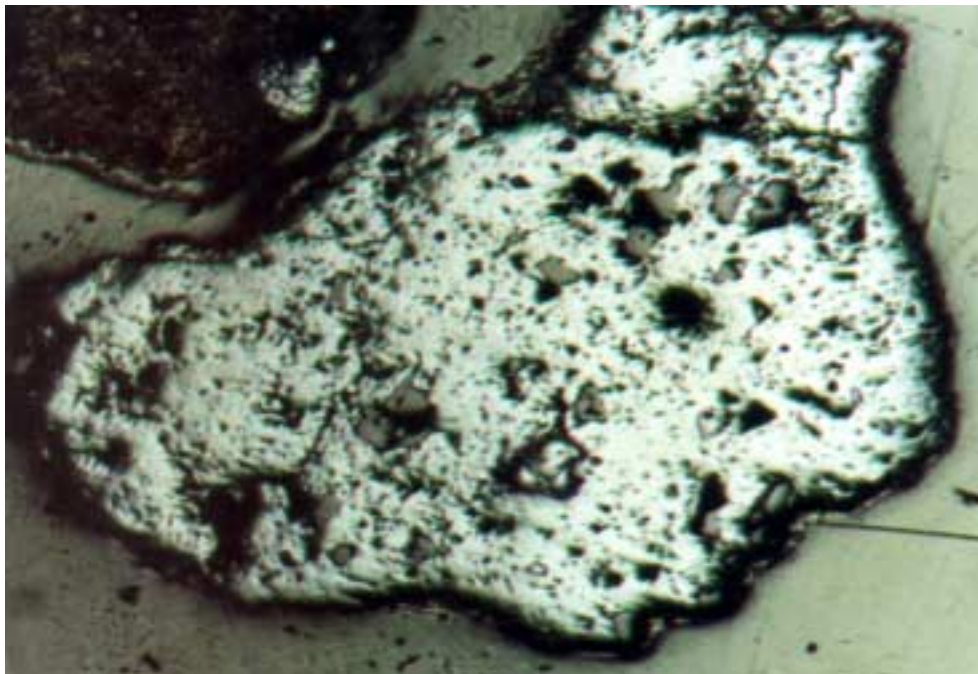
Από τις στυλπνές τομές του υλικού ελήφθησαν φωτογραφίες, από τις οποίες παρατηρούμε τα εξής:

Στην εικόνα 4.1 παρατηρούμε ένα μεγάλο κόκκο γκαιίτη, που αναγνωρίζεται από τις κίτρινες - καστανές εσωτερικές του ανακλάσεις όταν διασταυρωθούν τα Nickols, ο οποίος φέρει μεγάλο αριθμό. Στην εικόνα 4.2 φαίνεται ένας κόκκος γκαιίτη μεγέθους 2,3mm, ο οποίος περιέχει εγκλείσματα χαλαζία. Στην τρίτη εικόνα (εικόνα 4.3) παρατηρούμε ένα κόκκο ασβεστίτη, ενώ στην εικόνα 4.4 ένα μεγάλο κόκκο χαλαζία. Στην εικόνα 4.5 φαίνεται ένας χαρακτηριστικός κόκκος σερπεντίνη. Στην εικόνα 4.6 παρατηρούμε ένα μέρος από ένα κόκκο σερπεντίνη που περιέχει φλεβίδια από γκαιίτη. Το ίδιο φαίνεται και στην εικόνα 4.7 όπου έχουμε σύμφυση μεταλλικού ορυκτού (γκαιίτη) και σερπεντίνη.



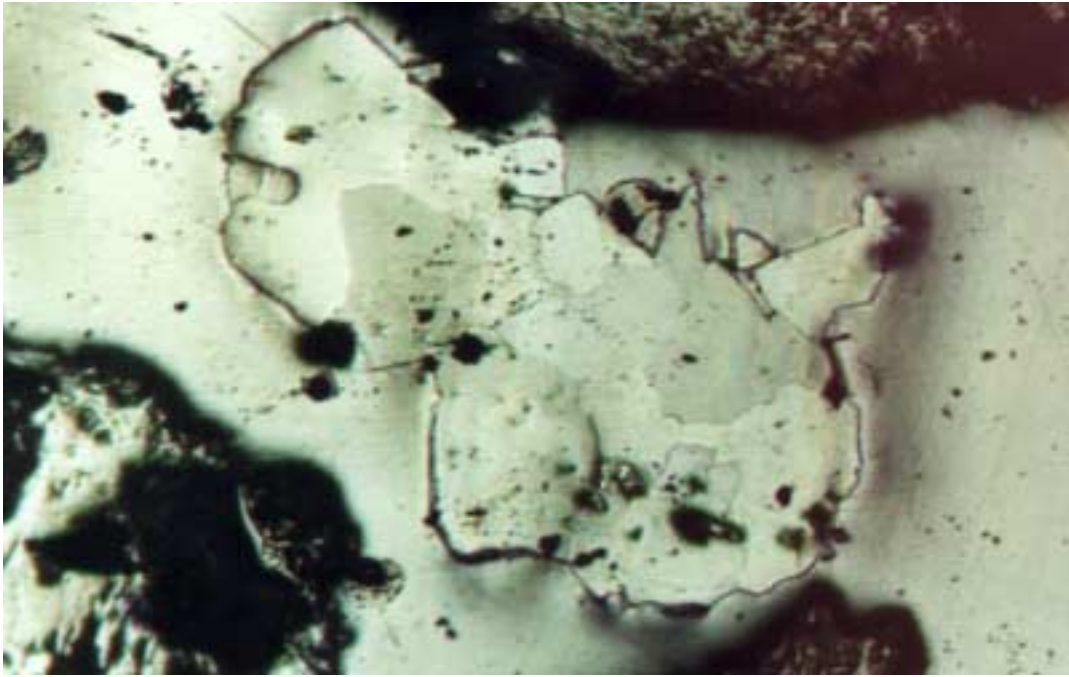
Εικόνα 4.1: Κόκκος γκαιτίτη με μεγάλο αριθμό πόρων.

Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, // N. Μεγέθυνση x 50.

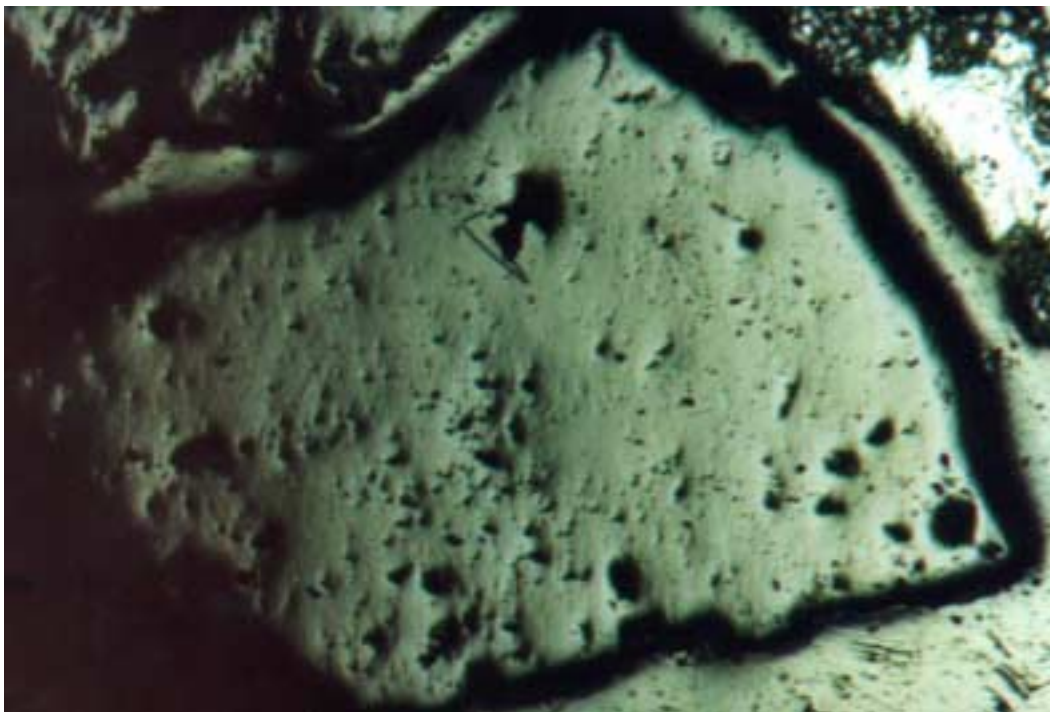


Εικόνα 4.2: Κόκκος γκαιτίτη ο οποίος περιέχει εγκλείσματα χαλαζία (τεφρά).

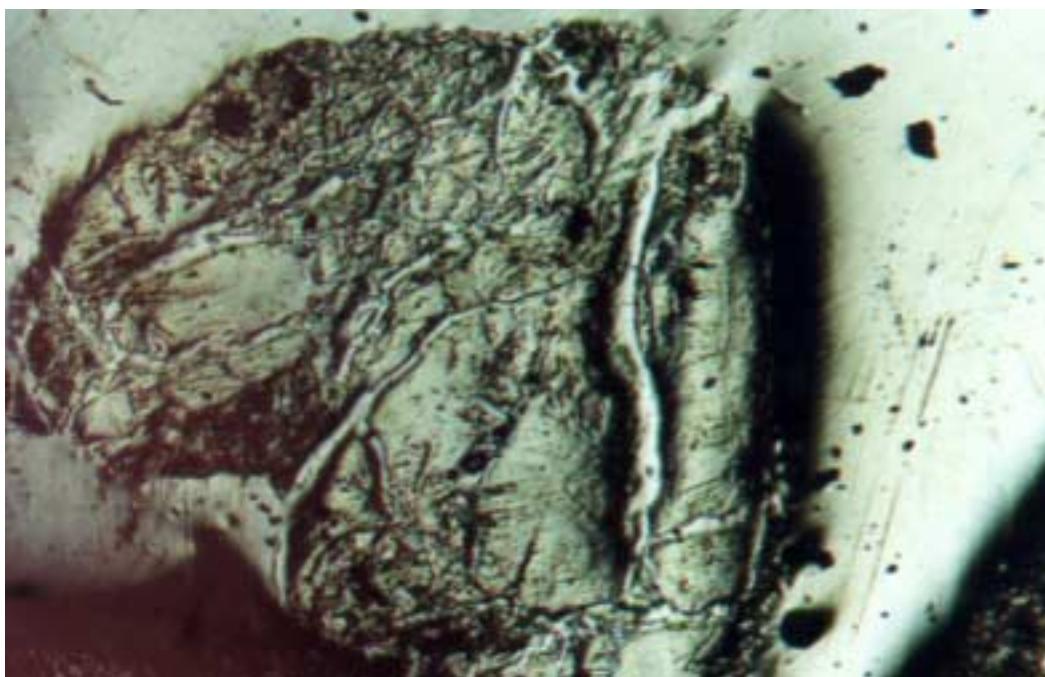
Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 50.



Εικόνα 4.3: Χαρακτηριστικός κόκκος ασβεστίτη με εγκλείσματα από γκαϊτίτη.
Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 50.

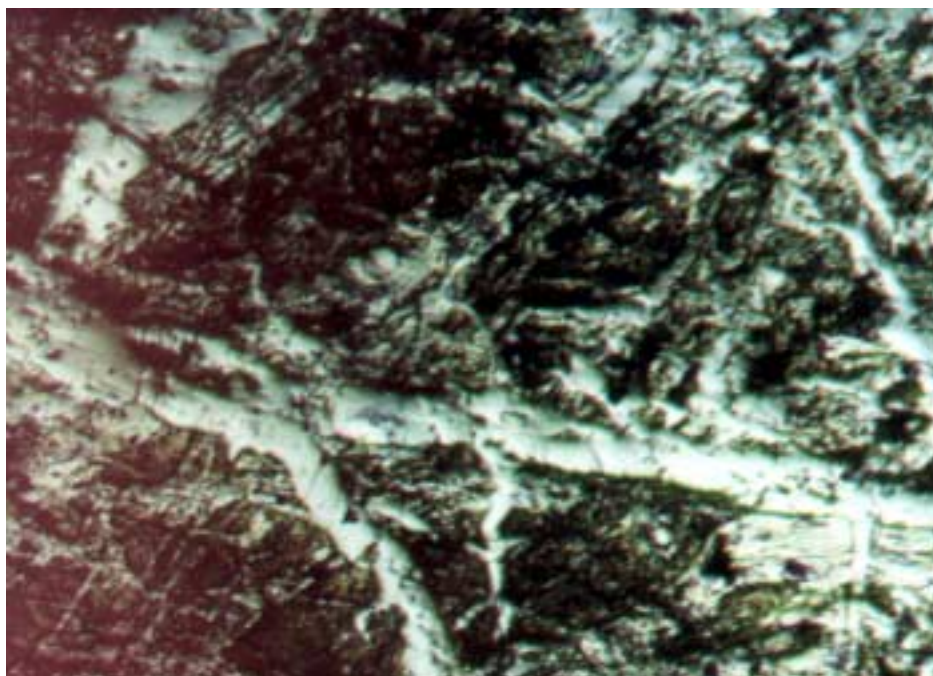


Εικόνα 4.4: Κρύσταλλος χαλαζία.
Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 50.



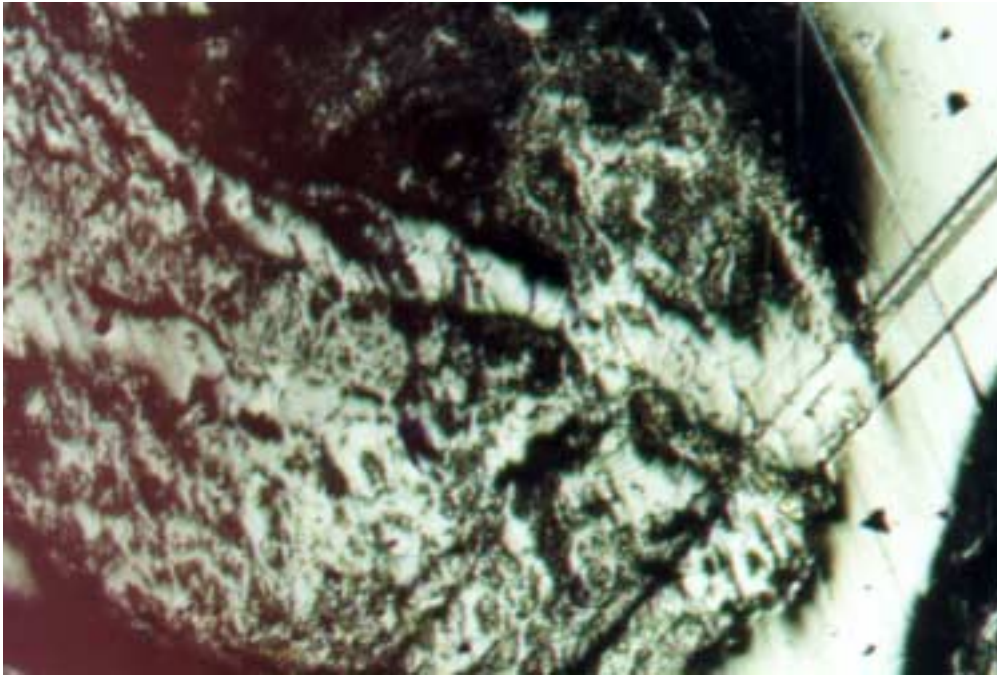
Εικόνα 4.5: Χαρακτηριστικός κόκκος σερπεντίνη.

Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 50.



Εικόνα 4.6: Κόκκος σερπεντίνη που περιέχει φλεβίδια από γκαιτίτη.

Δείγμα -16+4mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 10.



Εικόνα 4.7: Σύμφυση μεταλλικού ορυκτού (γκαιίτη) και σερπεντίνη.

Δείγμα -4+1mm. Ανακλώμενο φως, //N. Μεγέθυνση x 50.

Από την μελέτη των στιλπνών τομών διαπιστώνεται ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρξει ικανοποιητική αποδέσμευση των ορυκτών φάσεων. Παρατηρήθηκαν μόνο καθαροί κρύσταλλοι ασβεσίτη και χαλαζία, ενώ αυτοί του γκαίιτη σπάνια δεν περιέχουν πόρους και εγκλείσματα από άλλα ορυκτά. Επίσης, παρατηρούμε πολλούς σύμμεικτους κόκκους, όπου μεταλλικά ορυκτά (κυρίως γκαίιτης) εισέβαλαν δευτερογενώς σε πυριτικά.

Από την ορυκτολογική εξέταση του δείγματος διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν ευκρινώς αναγνωριζόμενα ορυκτά του νικελίου, εκτός του βιλλεμζείτη, ο οποίος εμπεριέχεται στο δείγμα αλλά σε μικρή ποσότητα. Από προηγούμενες μελέτες (Σταμπολιάδης et al., 1994) που έχουν γίνει σε μεταλλεύματα λατερίτη, έχει διαπιστωθεί ότι το νικέλιο εμπεριέχεται κατά μεγάλο ποσοστό και σε άλλα πυριτικά ορυκτά του μαγνησίου, όπου αντικαθιστά το Mg. Επίσης έχει εντοπιστεί λίγο νικέλιο στον γκαίιτη και ακόμη λιγότερο στον αιματίτη (Skarpelis et al., 1993).

Το συμπέρασμα από την ορυκτολογική εξέταση είναι ότι το νικέλιο πρέπει να βρίσκεται σε αποδεσμευμένα ορυκτά στα πολύ μικρά κλάσματα αλλά και

εγκλωβισμένο μέσα στους κόκκους γκαιίτη και αιματίτη. Επίσης, η παρουσία σύμμεικτων κόκκων και η έλλειψη πλήρους αποδέσμευσης μεταξύ των σιδηρούχων και πυριτικών ορυκτών καθώς και η έλλειψη περισσότερων ορυκτών του νικελίου, δυσχεραίνουν την ανάκτηση ενός ικανοποιητικού συμπυκνώματος νικελίου.

4.3 Χημική ανάλυση

Όλες οι χημικές αναλύσεις έγιναν στο Εργαστήριο Ανόργανου Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (Παράρτημα Α.Ι.3).

Από όλα τα δείγματα συλλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές ποσότητες με διαδοχικές τεταρτοδιαιρέσεις με την μέθοδο του σταυρού. Αφού λειοτριβήθηκαν, έγινε διαλυτοποίηση των δειγμάτων με μείγμα ισχυρών οξέων σύμφωνα με τις οδηγίες υπευθύνων του χημείου της εταιρείας ΛΑΡΚΟ. Στα διαλύματα που προέκυψαν έγινε διήθηση για την συγκέντρωση των αδιάλυτων. Τα μεν αδιάλυτα αφού κάηκαν στους 950 °C για 2 ώρες, ζυγίστηκαν και υπολογίστηκε το ποσοστό τους στο κάθε δείγμα, τα δε διαλύματα τοποθετούνταν στην ατομική απορρόφηση και υπολογίζονταν οι περιεκτικότητες του δείγματος σε Ni, Ca, Mg, και Fe. Τα αποτελέσματα όλων των χημικών αναλύσεων βρίσκονται συγκεντρωτικά στον πίνακα Α.Π.1. Η ακριβής διαδικασία που ακολουθήθηκε για τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων περιγράφεται αναλυτικότερα στο παράρτημα Α.Ι.4. Σύμφωνα με πληροφορίες από το χημείο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ το 85% περίπου των αδιάλυτων αντιστοιχούν στην περιεκτικότητα του SiO₂ στο δείγμα. Το υπόλοιπο 15% αντιστοιχεί σε άλλα ορυκτά (χρωμίτες), τα οποία δεν διαλυτοποιήθηκαν με την συγκεκριμένη μέθοδο διαλυτοποίησης, καθώς και σε γυαλί το οποίο σχηματίστηκε κατά την διαλυτοποίηση του δείγματος. Επίσης σε πολλά δείγματα έγινε ανάλυση για CaCO₃, με την μέθοδο «Karbonatbombe» (παράρτημα Α.Ι.5), ώστε να διαπιστωθεί το ποσοστό του CaO που ανήκει στον ασβεστίτη.

Το δείγμα από το κοίτασμα της Καστοριάς που στάλθηκε από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ, χωρίστηκε σε μικρότερα αντιπροσωπευτικά δείγματα με διαδοχικές τεταρτοδιαιρέσεις. Συλλέχθηκε μικρή αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος, έγινε χημική ανάλυση και έδωσε τα αποτελέσματα του πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Χημική ανάλυση αρχικού δείγματος

Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Απώλεια Πύρωσης %
1,35	24,55	6,72	12,33	37,10	14,80

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο αρχικό δείγμα την έχουν τα αδιάλυτα της διαλυτοποίησης που περιέχουν περίπου κατά 85% SiO₂.

Ακολουθεί το Fe₂O₃, που αντιστοιχεί στον Fe του γκαιίτη και του αιματίτη.

Η απώλεια πύρωσης, που αντιστοιχεί στο κρυσταλλικό νερό και το CO₂ που υπάρχει στο δείγμα. Το CO₂ υπολογίστηκε με την μέθοδο «Karbondombombe» 4,05%, άρα το κρυσταλλικό νερό είναι το 10,75% του δείγματος, το οποίο ανήκει κυρίως στον γκαιίτη αλλά και στα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά.

Το MgO, απαντάται κυρίως στα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά.

Το CaO ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό στον ασβεστίτη CaCO₃. Το CaCO₃ μετρήθηκε με την μέθοδο «Karbondombombe» και περιέχεται κατά 9,21% στο αρχικό δείγμα. Συγκρίνοντας τις τιμές του CaO και του CaCO₃ διαπιστώθηκε ότι το Ca του δείγματος ανήκει σχεδόν εξ ολοκλήρου στον ασβεστίτη.

Τέλος, το νικέλιο το οποίο δεν ανιχνεύθηκε σε κάποια συγκεκριμένη ορυκτολογική μορφή, αλλά φαίνεται να αντικαθιστά το Mg στα πυριτικά ορυκτά του Mg και τον Fe στον γκαιίτη και λιγότερο στον αιματίτη.

Επίσης υπολείπεται ένα 3,15% το οποίο περιέχει άλλα στοιχεία που δεν αναλύθηκαν, όπως το Al των αργιλοπυριτικών ορυκτών.

Στην συνέχεια για λόγους απλούστευσης των παρουσιαζομένων αποτελεσμάτων κατά τα διάφορα στάδια εμπλουτισμού παρουσιάζονται τα στοιχεία Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτα. Σε πολλά δείγματα έγινε μέτρηση του CaCO₃ με την μέθοδο «Karbondombombe» και τα αποτελέσματα βρίσκονται συγκεντρωτικά στον πίνακα Α.Π.1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δοκιμή αυτογενούς λειοτριβήσης

5.1 Αυτογενής λειοτριβήση λατερίτη

Η αυτογενής λειοτριβήση ή αυτολειοτριβήση έγινε μέσα σε μύλο λειοτριβήσης, όπου το ίδιο το μέταλλευμα θραύεται με την βοήθεια του ίδιου του βάρους. Η πτώση και η κρούση των μεγάλων τεμαχίων, δημιουργεί θραύση τόσο στα μικρότερα τεμάχια όσο και στα ίδια. Η κίνηση του μεταλλεύματος εντός του μύλου έγινε με την βοήθεια νερού. Ο μηχανισμός αυτογενούς λειοτριβήσης περιγράφεται αναλυτικότερα στο 5.1.1.

Η μέθοδος της αυτογενούς λειοτριβήσης επιλέχθηκε γιατί με την μέθοδο αυτή πετυχαίνεται μία σχετικά ήπια λειοτριβήση σε σχέση με τους σφαιρόμυλους. Το υλικό τείνει να σπάσει στα όρια των κρυστάλλων, οι οποίοι αποδεσμεύονται χωρίς να κατακερματίζονται και έτσι παράγεται ένα ομοιόμορφο υλικό στο μέγεθος των κρυστάλλων με λίγα ψιλομερή. Μελέτες προηγούμενων ετών έδειξαν ότι η μέθοδος αποδίδει καλύτερα με την παρουσία νερού.

5.1.1 Μηχανισμός αυτολειοτριβήσης

Με την κίνηση του κελύφους του μύλου τα τεμαχίδια του μεταλλεύματος ανυψώνονται μέχρι που κυλίνουν πάνω στο υπόλοιπο υλικό. Μερικά τεμάχια ανυψώνονται περισσότερο, μέχρι ενός σημείου από το οποίο πέφτουν ελεύθερα προς τα κάτω ακολουθώντας συνέχεια μία παραβολική τροχιά.

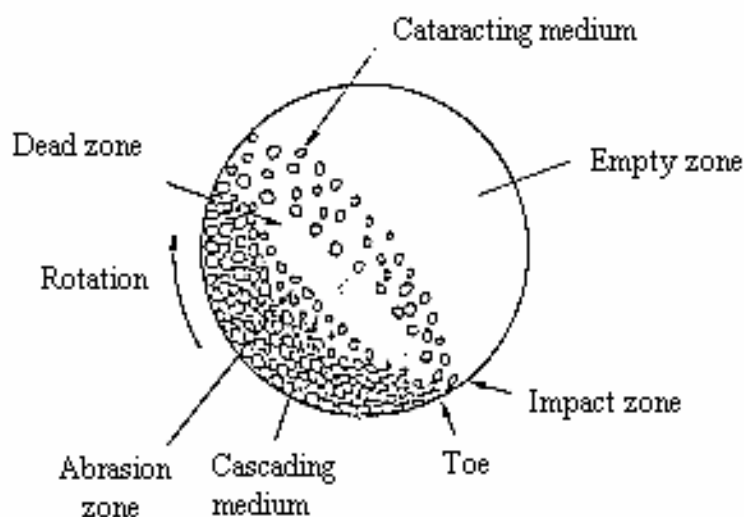
Η πτώση και το κατρακύλισμα των τεμαχιδίων του υλικού λειοτριβεί το μέταλλευμα που υπάρχει στον μύλο. Οι δυνάμεις που ασκούνται στους κόκκους του μεταλλεύματος είναι οι δυνάμεις κρούσης, από την ελεύθερη πτώση των τεμαχιδίων και τριβής, που δημιουργούνται από την κύλιση των τεμαχιδίων μεταξύ τους. Στο

σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η κίνηση του μεταλλεύματος εντός περιστρεφόμενου μύλου αυτολειοτριβής.

Όταν η περιστροφική κίνηση του μύλου είναι αργή, τότε δεν γίνεται ελεύθερη πτώση των τεμαχιδίων που απλά κυλίνουνται το ένα πάνω στο άλλο. Η κίνηση αυτή δεν είναι επιθυμητή και δημιουργεί πολύ λεπτό υλικό.

Όταν η κίνηση του μύλου είναι γρήγορη, τα τεμαχίδια του μεταλλεύματος δεν πέφτουν πάνω στο φορτίο του μύλου αλλά στο απέναντι κέλυφος.

Στην υγρή αυτολειοτριβή το ποσοστό των στερεών μέσα στον μύλο πρέπει να είναι 60-70%. Περισσότερο νερό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία λεπτότερου υλικού.



Σχήμα 5.1 Κίνηση φορτίου εντός περιστρεφόμενου μύλου (Σταμπολιάδης, 1993)

5.2 Διαδικασία υγρής αυτογενούς λειοτριβής λατερίτη

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε, προήλθε από τεταρτοδιαίρεση του αρχικού δείγματος και είχε βάρος 5,5Kg με κοκκομετρία -20mm. Η αυτολειοτριβή έγινε σε εργαστηριακό σφαιρόμυλο, από τον οποίο είχαν προηγουμένως αφαιρεθεί οι μεταλλικές μπίλιες και υπήρχε μόνο το μέταλλευμα. Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά

του μύλου είναι: διάμετρος 30cm και μήκος 45cm. Η δοκιμή έγινε εν υγρό με 35% νερό. Ο χρόνος αυτολειοτριβήσης ρυθμίστηκε στα 10 min.

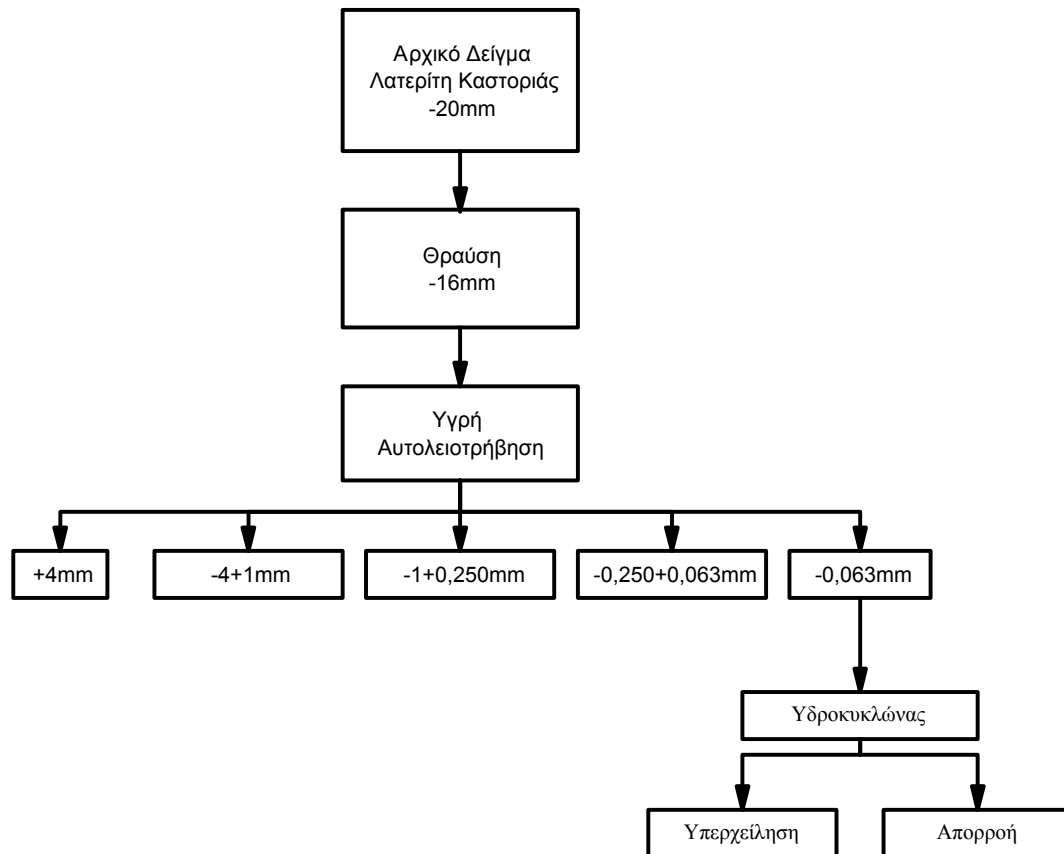
Το προϊόν της υγρής αυτολειοτριβήσης οδηγήθηκε για κοκκομετρική ανάλυση (παράρτημα Α.Ι.7), η οποία έγινε με κόσκινα τετραγωνικής βροχίδας διαστάσεων: 16mm, 4mm, 1mm, 0.250mm, 0.063mm.

Η κοσκίνηση περιλάμβανε τα εξής στάδια:

- ◆ Το προϊόν της υγρής αυτολειοτριβήσης αρχικά πλύθηκε στο κόσκινο 0.250mm, για την απομάκρυνση των πολύ μικρών κόκκων (slimes).
- ◆ Το κλάσμα +0.250mm ξηράθηκε και οδηγήθηκε σε ξηρή κοσκίνηση στα κόσκινα 16mm, 4mm, 1mm, 0.250mm.
- ◆ Στο κλάσμα -0.250mm έγινε υγρή κοσκίνηση σε κόσκινο των 0.063mm.
- ◆ Το -0.063mm αποτέλεσε την τροφοδοσία υδροκυκλώνα, στον οποίο το υλικό διαχωρίστηκε στα 9μm. Οι συνθήκες του υδρομηχανικού εμπλουτισμού και τα χαρακτηριστικά του υδροκυκλώνα βρίσκονται στο παράρτημα Α.Ι.6.

Τα αποτελέσματα της αυτολειοτριβήσης εξετάζονται τόσο από άποψη της κατανομής του βάρους, όσο και της κατανομής των χημικών αναλύσεων των στοιχείων στα διάφορα κλάσματα, τα οποία εξετάστηκαν και ορυκτολογικά.

Η διαδικασία φαίνεται γραφικά στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Διαδικασία δοκιμής της αυτογενούς λειοτριβήσης

5.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα αυτολειοτριβήσης

Το υλικό της κατεργασίας κοκκομετρήθηκε και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3.

Από το σύνολο του βάρους του αρχικού δείγματος παρατηρήθηκε ότι η κατανομή του μεταλλεύματος σχετικά με το μέγεθος των παραγόμενων τεμαχίων έδωσε μεγαλύτερα ποσοστά βάρους στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα. Η γραφική παράσταση της κατανομής του βάρους στα προϊόντα της υγρής αυτολειοτριβήσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.1.

Κοκκομετρική Ανάλυση Αυτολειοτριβήσης												
			Περιεκτικότητα					Κατανομή				
Μέγεθος (mm)	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
-16+4	1782,7	37,4	1,15	27,10	6,03	11,21	35,18	32,45	41,51	37,69	32,77	36,63
-4+1	1198,7	25,2	1,33	24,96	6,23	13,52	34,47	25,23	25,70	26,17	26,57	24,14
-1+0,25	616,5	12,9	1,38	23,77	7,64	13,00	33,20	13,46	12,59	16,51	13,14	11,96
-0,25+0,063	429	9,0	1,44	21,52	7,90	13,90	35,25	9,79	7,93	11,87	9,77	8,83
-0,063+0,009	399,1	8,4	1,58	21,04	3,93	15,17	38,69	10,00	7,22	5,50	9,92	9,02
-0,009	336,9	7,1	1,70	17,44	1,91	14,17	47,89	9,08	5,05	2,26	7,83	9,42
Σύνολο	4762,9	100,0	1,32	24,44	5,99	12,81	35,94	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

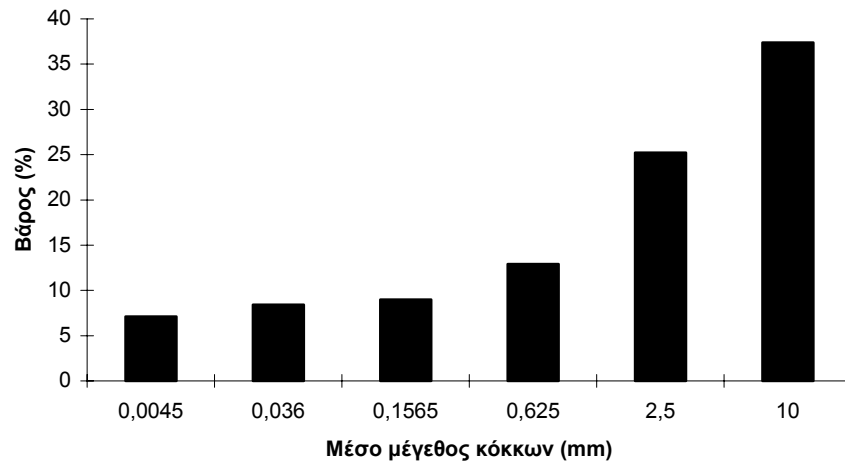
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης στο προϊόν της αυτολειοτριβήσης

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ												
			Περιεκτικότητα					Κατανομή				
Μέγεθος (mm)	Αθροιστικώς Διερχόμενο (gr)	Αθροιστικώς Διερχόμενο (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
16	4762,9	100	1,32	24,44	5,99	12,81	35,94	100	100	100	100	100
4	2980,2	62,6	1,43	22,84	5,97	13,76	36,40	67,55	58,49	62,31	67,23	63,37
1	1781,5	37,4	1,50	21,42	5,79	13,92	37,70	42,32	32,79	36,14	40,67	39,23
0,25	1165	24,5	1,56	20,18	4,81	14,41	40,08	28,87	20,20	19,63	27,53	27,28
0,063	736	15,5	1,63	19,39	3,01	14,71	42,90	19,08	12,26	7,76	17,75	18,44
0,009	336,9	7,1	1,70	17,44	1,91	14,17	47,89	9,08	5,05	2,26	7,83	9,42

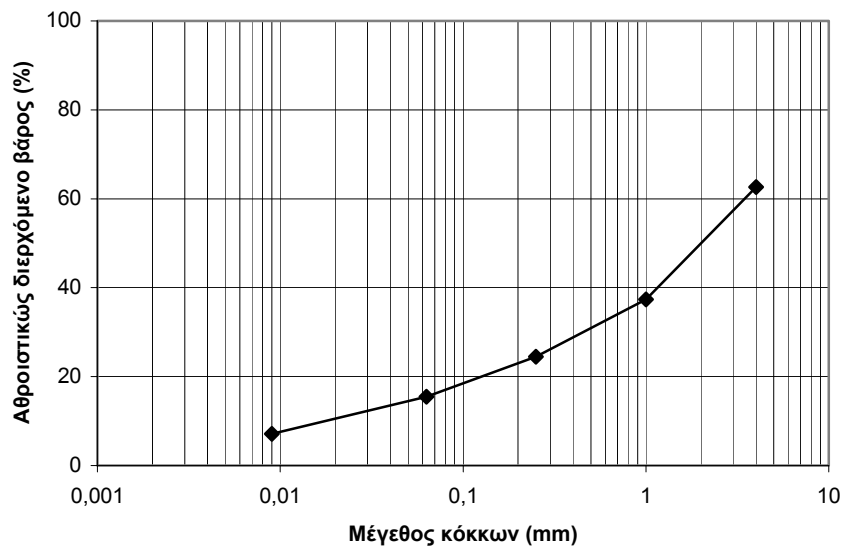
Πίνακας 5.2: Υπολογισμός βάρους και χημικής ανάλυσης του αθροιστικώς διερχόμενου υλικού για κάθε μέγεθος του κόσκινου

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ ΒΑΡΟΣ												
			Περιεκτικότητα					Κατανομή				
Μέγεθος (mm)	Αθροιστικώς Παραμένον (gr)	Αθροιστικώς Παραμένον (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
4	1782,7	37,4	1,15	27,10	6,03	11,21	35,18	32,45	41,51	37,69	32,77	36,63
1	2981,4	62,6	1,22	26,24	6,11	12,14	34,89	57,68	67,21	63,86	59,33	60,77
0,25	3597,9	75,5	1,25	25,82	6,38	12,29	34,60	71,13	79,80	80,37	72,47	72,72
0,063	4026,9	84,5	1,27	25,36	6,54	12,46	34,67	80,92	87,74	92,24	82,25	81,56
0,009	4426,0	92,9	1,29	24,97	6,30	12,70	35,03	90,92	94,95	97,74	92,17	90,58
Σύνολο	4762,9	100,0	1,32	24,44	5,99	12,81	35,94	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός βάρους και χημικής ανάλυσης του αθροιστικώς παραμένοντος υλικού για κάθε μέγεθος του κόσκινου



Διάγραμμα 5.1: Κατανομή του βάρους (%) συναρτήσει του μέσου μεγέθους



Διάγραμμα 5.2: Κατανομή του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων

Στον πίνακα 5.2 υπολογίστηκε το αθροιστικό βάρος των προϊόντων που διέρχονται από κάθε μέγεθος κόσκινου. Στο διάγραμμα 5.2 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης.

5.4 Κατανομή της περιεκτικότητας των Ni, MgO, CaO, Fe₂O₃ και των αδιάλυτων των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης

Από τον πίνακα 5.1 παρατηρείται ότι τα λεπτότερα κλάσματα είναι πλουσιότερα σε Ni, MgO και αδιάλυτα και φτωχότερα σε Fe₂O₃ και CaO. Στους πίνακες 5.2 και 5.3 υπολογίστηκε το βάρος, η χημική ανάλυση και η κατανομή του αθροιστικώς διερχόμενου και παραμένου υλικού για κάθε μέγεθος κόσκινου.

Από τις χημικές αναλύσεις των Ni, MgO, Fe₂O₃, CaO και των αδιάλυτων που φαίνονται στον πίνακα 5.1 μπορεί να υπολογιστούν οι περιεκτικότητες των παραπάνω στοιχείων στο αρχικό δείγμα. Οι περιεκτικότητες των στοιχείων στο αρχικό δείγμα είναι: 1,32% Ni, 12,81% MgO, 24,44% Fe₂O₃, 5,99% CaO και 35,94% των αδιάλυτων.

Αναλυτικότερα παρατηρούμε ότι ο Fe₂O₃ εμφανίζει περιεκτικότητα 27.1% στο κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm, η οποία μειώνεται όσο μειώνεται το μέγεθος των κόκκων. Στο κοκκομετρικό κλάσμα -9μm η περιεκτικότητα του Fe₂O₃ φθάνει στο 17,44%. Στο διάγραμμα 5.3 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της ανάλυσης (%) του Fe₂O₃ σε σχέση με το μέσο μέγεθος των κόκκων.

Το CaO εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με το Fe₂O₃. Από 6.03% CaO που υπάρχει στο μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα φθάνει στο 1,91% στο μικρότερο κλάσμα. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε CaO παρατηρείται στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,250 +0,063mm με τιμή 7,9% σε CaO. Γενικά το CaO παρουσιάζει καλύτερη αποδέσμευση σε μεγέθη -1 +0,063mm (διάγραμμα 5.4).

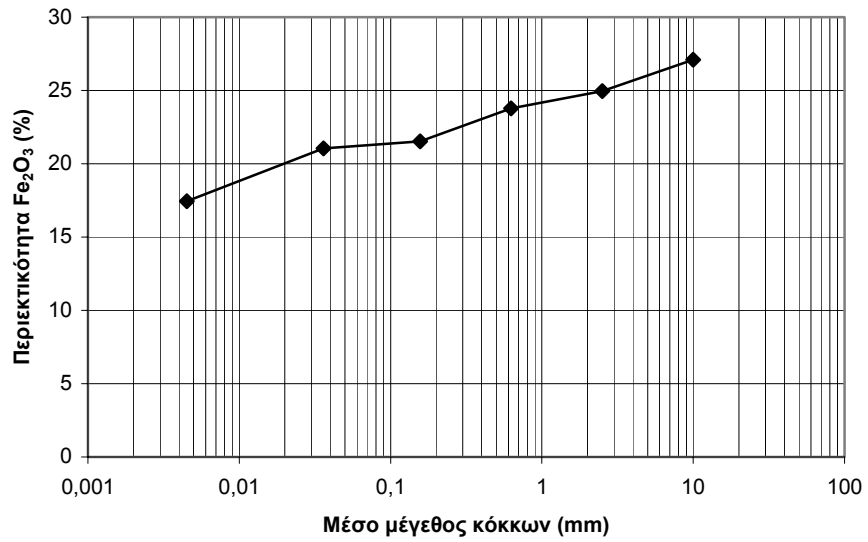
Το MgO έχει μία τάση αύξησης της περιεκτικότητας του στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα. Η μικρότερη τιμή περιεκτικότητας σε MgO (11,21%) παρατηρείται στο κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm και η μεγαλύτερη αυτή στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,063mm +9μm με 15,17% σε MgO. Η κατανομή της περιεκτικότητας του MgO φαίνεται στο διάγραμμα 5.5.

Τα αδιάλυτα συστατικά του δείγματος αυξάνουν την περιεκτικότητά τους στα μικρότερα μεγέθη κόκκων. Η περιεκτικότητά τους στο κλάσμα $-9\mu\text{m}$ φθάνει το 40,7%. Πρέπει να αναφερθεί ότι το 85% των αδιάλυτων αποτελείται από SiO_2 (διάγραμμα 5.6).

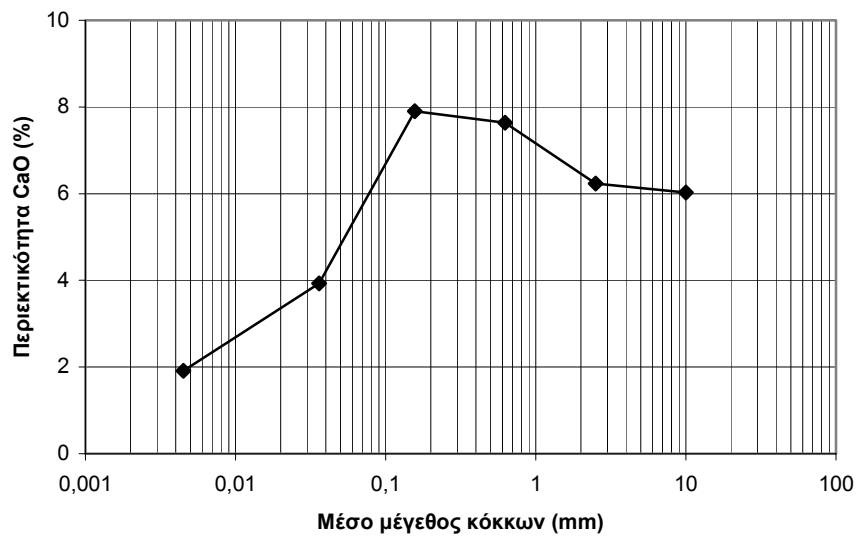
Το Ni παρουσιάζει συνεχόμενη αύξηση της περιεκτικότητάς του καθώς μικραίνει το μέγεθος των κόκκων (διάγραμμα 5.7). Από το 1,15% σε Ni στο κοκκομετρικό κλάσμα $-16+4\text{mm}$ η περιεκτικότητά φθάνει στο 1,70% στο μέγεθος $-9\mu\text{m}$. Στα διαγράμματα 5.8 και 5.9 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις της ανάλυσης και της κατανομής του Ni, στο αθροιστικώς διερχόμενο υλικό.

Οι κατανομές των στοιχείων συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.10. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι όλα τα στοιχεία παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή και κατανέμονται στα μεγαλύτερα μεγέθη των κόκκων.

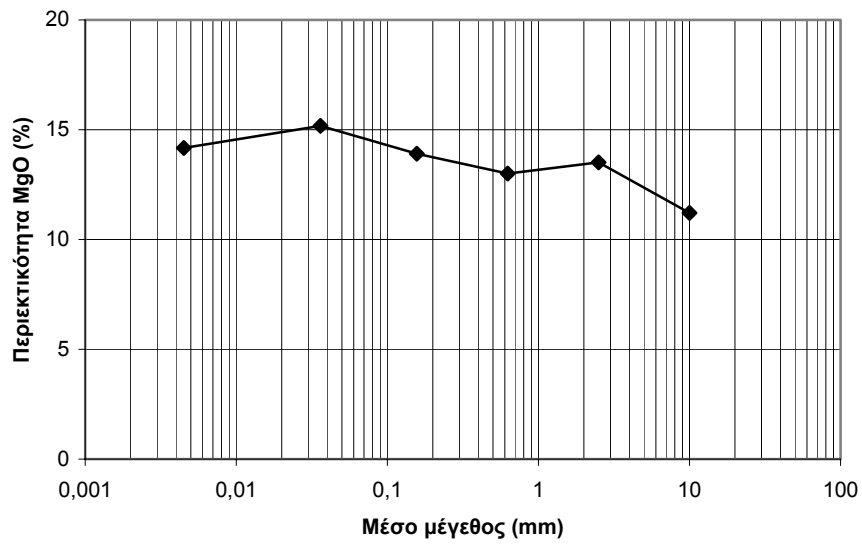
Γενικά παρατηρείται αύξηση των περιεκτικότητων για τα στοιχεία Ni, MgO και των αδιάλυτων όσο μειώνεται το μέγεθος του κοκκομετρικού κλάσματος ενώ αντίθετα μειώνονται οι αναλύσεις του Fe_2O_3 και του CaO. Η παρόμοια κατανομή των περιεκτικότητων του Ni, MgO και των αδιάλυτων υποδηλώνουν ότι το νικέλιο μπορεί να βρίσκεται εγκλωβισμένο μέσα σε πυριτικά ορυκτά του Mg, αντικαθιστώντας το Mg, όπως σερπεντίνη, τάλκη κ.α.



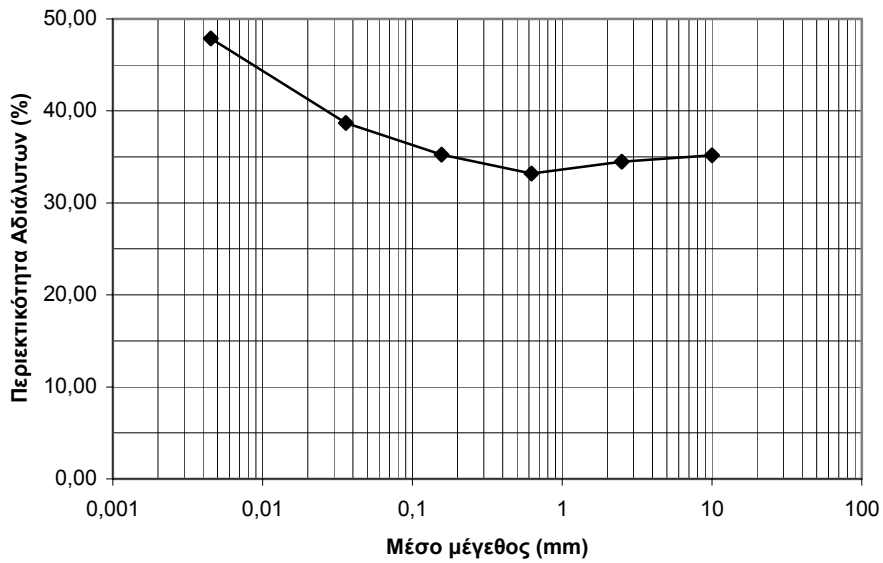
Διάγραμμα 5.3: Περιεκτικότητα (%) Fe_2O_3 συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων



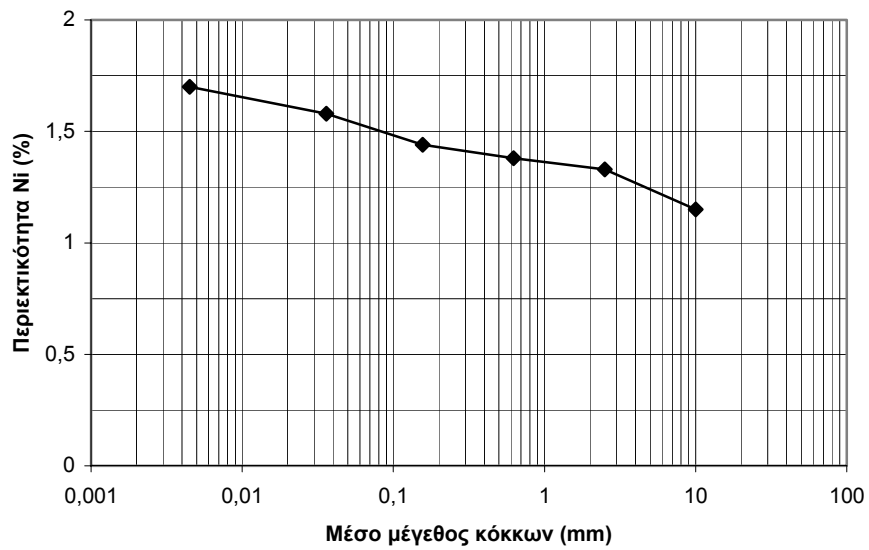
Διάγραμμα 5.4: Περιεκτικότητα CaO συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων



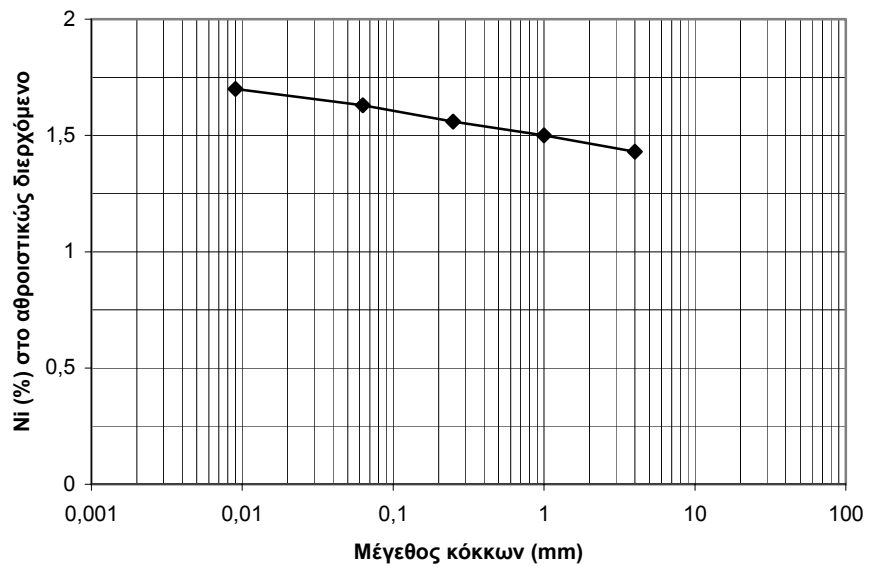
Διάγραμμα 5.5: Περιεκτικότητα MgO συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων



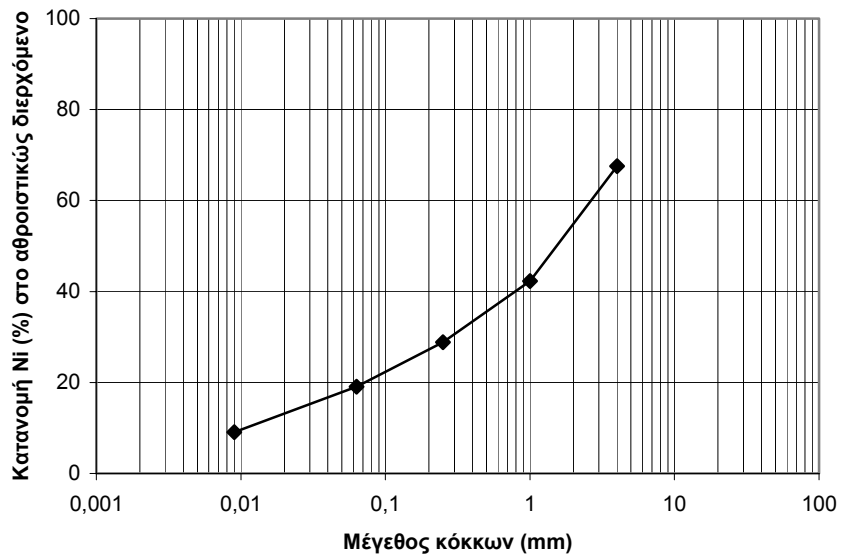
Διάγραμμα 5.6: Περιεκτικότητα αδιάλυτων συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων



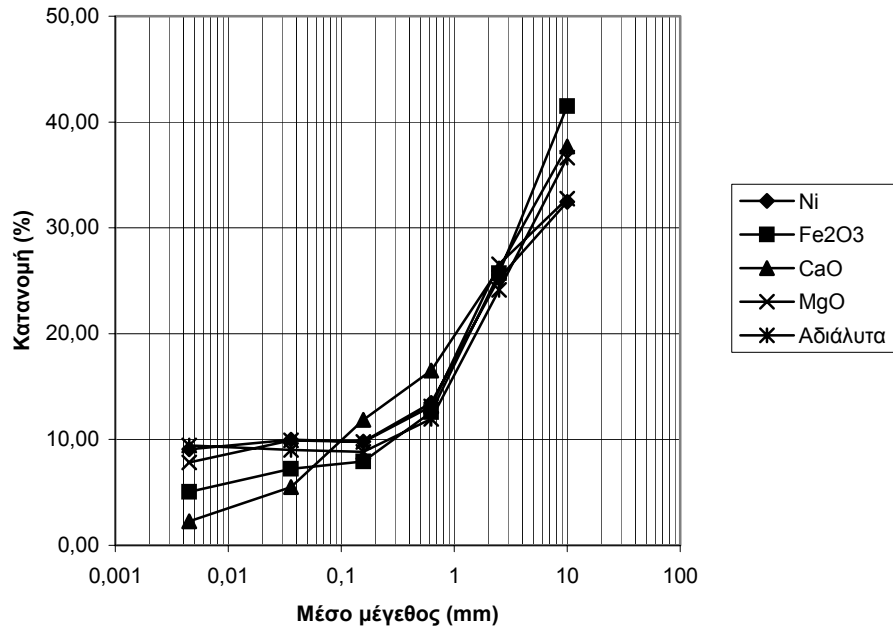
Διάγραμμα 5.7: Περιεκτικότητα Ni συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων



Διάγραμμα 5.8: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς διερχόμενο, συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων



Διάγραμμα 5.9: Κατανομή Ni στο αθροιστικώς διερχόμενο υλικό συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων



Διάγραμμα 5.10: Κατανομή των στοιχείων συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων

5.5 Η ταξινόμηση κατά μέγεθος ως μέθοδος εμπλουτισμού

Αν η ταξινόμηση κατά μέγεθος θεωρηθεί σαν μία διαδικασία εμπλουτισμού, και το αθροιστικό διερχόμενο βάρος από κάθε άνοιγμα κόσκινου θεωρηθεί ως προϊόν, το αθροιστικώς παραμένων βάρος σε κάθε κόσκινο ως απόρριμμα και το βάρος της αρχικής κοκκομετρίας ως τροφοδοσία τότε μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός διαχωρισμού για κάθε στοιχείο που αντιστοιχεί σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. Υπολογίζοντας τον βαθμό διαχωρισμού για κάθε στοιχείο στο συγκεκριμένο κλάσμα μπορεί να αξιολογηθεί ο επιτυγχανόμενος διαχωρισμός.

Όταν ο βαθμός διαχωρισμού έχει αρνητική τιμή σημαίνει ότι το συγκεκριμένο στοιχείο κατανέμεται στο απόρριμμα, δηλαδή στο χονδρό κλάσμα. Αντίθετα όταν ο βαθμός διαχωρισμού είναι θετικός σημαίνει ότι το συγκεκριμένο στοιχείο κατανέμεται κατά προτίμηση στο ψιλό κλάσμα ως προϊόν. Η απόλυτη τιμή του βαθμού διαχωρισμού είναι σημαντική για τον διαχωρισμό ενός στοιχείου. Μεγάλη απόλυτη τιμή του βαθμού διαχωρισμού δηλώνει καλό διαχωρισμό του στοιχείου στο οποίο αναφέρεται.

5.5.1 Βαθμός διαχωρισμού

Ως βαθμός διαχωρισμού η , μιας διαδικασίας εμπλουτισμού, ορίζεται η εκατοστιαία σχέση του επιταγχανόμενου μέτρου διαχωρισμού δ , προς το μέγιστο δυνατό να επιτευχθεί Δ (Σταμπολιάδης 1984).

$$\eta = \frac{\delta}{\Delta} \times 100\% \quad (\text{Σχέση 1})$$

Το μέτρο διαχωρισμού δ ορίζεται από την σχέση:

$$\delta = \frac{2}{100} \times \frac{(f - t) \times (c - f)}{(c - t)} \quad (\text{Σχέση 2})$$

όπου f : η επί της εκατό περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στη τροφοδοσία

c : η επί της εκατό περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στο προϊόν

t : η επί της εκατό περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στο απόρριμμα

Το μέγιστο μέτρο διαχωρισμού Δ , επιτυγχάνεται όταν $c=100$ και $t=0$, οπότε από τη σχέση 2 προκύπτει:

$$\Delta = \frac{2}{100} \times \frac{f \times (100 - f)}{100} \quad (\text{Σχέση 3})$$

Από τις σχέσεις (1), (2), (3) προκύπτει:

$$\eta = \frac{100 \times (f - t) \times (c - f)}{f \times (100 - f) \times (c - t)} \quad (\text{Σχέση 4})$$

Επειδή δεν έχουμε την εκατοστιαία περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στα διάφορα προϊόντα διαχωρισμού, χρησιμοποιούμε τις χημικές αναλύσεις οξειδίων, κάνοντας την παραδοχή ότι το αντίστοιχο στοιχείο που δίνεται με τη χημική ανάλυση υπάρχει σαν συστατικό μόνο στο χρήσιμο ή μόνο στο στείρο ορυκτό. Από την παραπάνω παραδοχή προκύπτει:

$$f = f' \times \frac{100}{c_{\max}}, \quad c = c' \times \frac{100}{c_{\max}}, \quad t = t' \times \frac{100}{c_{\max}} \quad (\text{Σχέση 5})$$

όπου: c_{\max} η μέγιστη ανάλυση του χημικώς αναλυμένου στοιχείου στο καθαρό χρήσιμο ορυκτό. Το c_{\max} μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά από το χημικό τύπο του χρήσιμου ορυκτού ή αναλύοντας επιλεγμένους καθαρούς κόκκους του χρήσιμου ορυκτού.

Από τη σχέση 5 η σχέση 4 γίνεται:

$$\eta = \frac{(f' - t') \times (c' - f') \times c_{\max}}{f' \times (c' - t') \times (c_{\max} - f')} \times 100 \quad (\text{Σχέση 6})$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του βαθμού διαχωρισμού αφού απαιτεί μόνο τη γνώση των χημικών αναλύσεων. Έτσι αν θεωρηθεί η κοκκομετρική ανάλυση σαν μια διαδικασία εμπλουτισμού, και το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος από κάθε άνοιγμα του κόσκινου ως προϊόν, το αθροιστικώς παραμένον βάρος σε κάθε κόσκινο ως απόρριμμα και το βάρος της αρχικής κοκκομετρίας ως τροφοδοσία τότε μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός

διαχωρισμού για κάθε στοιχείο που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο κοκκομετρικό κλάσμα.

Έτσι στην σχέση $\eta = \frac{(f' - t') \times (c' - f') \times c_{\max}}{f' \times (c' - t') \times (c_{\max} - f')} \times 100$ έχουμε:

f' : η χημική ανάλυση της τροφοδοσίας

c' : η χημική ανάλυση του αθροιστικώς διερχόμενου

t' : η χημική ανάλυση του αθροιστικώς παραμένου

c_{\max} : η μέγιστη χημική ανάλυση που έχει το καθαρό χρήσιμο ορυκτό που μπορεί να ανακτηθεί.

Στην προκειμένη περίπτωση για το κάθε ορυκτό και για το Ni έχουμε:

$c_{\max} \text{Fe}_2\text{O}_3 = 100$ για τον αιματίτη

$c_{\max} \text{CaO} = 100$ για τον ασβεστίτη

$c_{\max} \text{MgO} = 40$ για τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά

$c_{\max} \text{Αδιάλυτων} = 100$ για τον χαλαζία

$c_{\max} \text{Ni} = 6$ κατά εκτίμηση για νικελιούχα ορυκτά

5.6 Βαθμός διαχωρισμού Ni, MgO, CaO, Fe₂O₃ και των αδιάλυτων

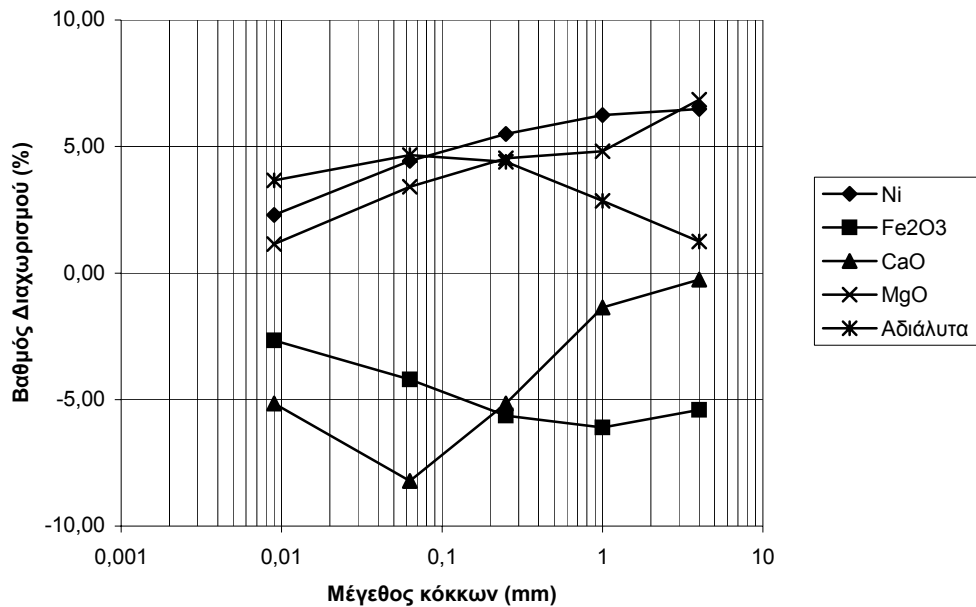
Τα αποτελέσματα του βαθμού διαχωρισμού των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4. Για τον υπολογισμό του βαθμού διαχωρισμού θεωρήθηκε ότι το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος ως προϊόν και το αθροιστικώς παραμένου ως απόρριμμα. Στο διάγραμμα 5.11 δίνεται η γραφική παράσταση του βαθμού διαχωρισμού κάθε στοιχείου συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

Από το διάγραμμα 5.11 φαίνεται ότι το Fe₂O₃ και το CaO έχουν αρνητικό βαθμό διαχωρισμού και κατανέμονται στο απόρριμμα (χονδρό κλάσμα). Το Fe₂O₃ διαχωρίζεται καλύτερα στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα αφού παρουσιάζει μεγαλύτερες απόλυτες τιμές βαθμού διαχωρισμού σε αυτά. Αντίθετα το CaO διαχωρίζεται καλύτερα στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα.

Το Ni, MgO και τα αδιάλυτα έχουν θετικές τιμές και κατανέμονται στο προϊόν (ψιλό κλάσμα). Το Ni και το MgO διαχωρίζεται καλύτερα στα μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων, ενώ τα αδιάλυτα διαχωρίζονται καλύτερα στα μικρά.

Μέγεθος (mm)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
4	1,43	22,84	5,97	13,76	36,40	1,15	27,10	6,03	11,21	35,18	6,48	-5,40	-0,26	6,85	1,25
1	1,50	21,42	5,79	13,92	37,70	1,22	26,24	6,11	12,14	34,89	6,24	-6,11	-1,36	4,81	2,85
0,25	1,56	20,18	4,81	14,41	40,08	1,25	25,82	6,38	12,29	34,60	5,49	-5,63	-5,16	4,53	4,39
0,063	1,63	19,39	3,01	14,71	42,90	1,27	25,36	6,54	12,46	34,67	4,43	-4,21	-8,21	3,41	4,66
0,009	1,70	17,44	1,91	14,17	47,89	1,29	24,97	6,30	12,70	35,03	2,30	-2,67	-5,16	1,15	3,66

Πίνακας 5.4: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για κάθε μέγεθος κόκκων



Διάγραμμα 5.11: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων

5.7 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης

Η ορυκτολογική εξέταση των προϊόντων της αυτολειοτριβήσης έγινε με την χρήση του περιθλασιμέτρου ακτίνων X και του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου σε στιλπνές τομές.

Ορυκτολογική εξέταση έγινε στα κλάσματα +4mm, +1mm, +0,250mm και στο -9μm, ενώ στιλπνές τομές έγιναν στα κλάσματα +4mm και +1mm. Τα ακτινοδιαγράμματα των κοκκομετρικών κλασμάτων παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.Π.2.

Από την ανάλυση των ακτινοδιαγραμμάτων παρατηρήθηκε ότι ο ασβεστίτης βρίσκεται σε περισσότερη αφθονία στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα και σταδιακά μειώνεται προς τα μικρότερα. Η παρουσία του ασβεστίτη είναι εμφανής μέχρι το κοκκομετρικό κλάσμα 0,250mm και στα μικρότερα κλάσματα ελαχιστοποιείται. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις χημικές αναλύσεις του Ca όπου ακολουθεί παρόμοια κατανομή και συμπεραίνεται ότι το ασβέστιο που υπάρχει στο δείγμα μας είναι αυτό του CaCO₃. Επίσης, φαίνεται ότι ο ασβεστίτης αποδεσμεύεται στις μεγαλύτερες

κοκκομετρίες κάτι που παρατηρήθηκε και από την μικροσκοπική μελέτη των στιλπνών τομών όπου παρατηρήθηκαν καθαροί κρύσταλλοι ασβεστίτη σε μεγάλο μέγεθος.

Ο χαλαζίας ακολουθεί παρόμοια κατανομή με τον ασβεστίτη. Κατανέμεται στα μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα και μειώνεται προς τα μικρότερα. Οι χημικές αναλύσεις των αδιάλυτων έδειξαν ότι η περιεκτικότητα του SiO₂ αυξάνεται όσο μειώνεται το μέγεθος των κόκκων. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το SiO₂ που υπάρχει στα μικρότερα μεγέθη κόκκων ανήκει κυρίως στον σερπεντίνη και δεν είναι αυτό του χαλαζία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις χημικές αναλύσεις του Mg, το οποίο εμπεριέχεται στον χημικό τύπο του σερπεντίνη, και αυξάνεται προς τα μικρότερα μεγέθη κόκκων.

Από τα σιδηρούχα ορυκτά έχουμε κυρίως γκαιτίτη και αιματίτη. Από τα πυριτικά ορυκτά έχουμε σερπεντίνη (χρυσοτίλη) και βιλλεμζείτη. Από τις στιλπνές τομές παρατηρήθηκε ότι σε μεγάλα μεγέθη κόκκων ο σερπεντίνης πολλές φορές περιέχει φλεβίδια γκαιτίτη με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος έως αδύνατος ο διαχωρισμός του σε αυτά τα μεγέθη. Επίσης ανιχνεύθηκαν αργιλοπυριτικά ορυκτά στο κοκκομετρικό κλάσμα -9μm.

5.8 Συμπεράσματα από την δοκιμή της αυτολειοτριβήσης

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι η αυτολειοτριβήση του υλικού δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αν θεωρηθεί το ψιλό κλάσμα ως προϊόν και το χονδρό ως απόρριμμα, επιτυγχάνεται κάποιος εμπλουτισμός διότι το ψιλό κλάσμα είναι αρκετά πλούσιο σε νικέλιο. Πρόβλημα της αυτολειοτριβήσης είναι το χονδρό κλάσμα το οποίο περιέχει σημαντική ποσότητα νικελίου. Αυτό οφείλεται στους πολλούς σύμμεικτους κόκκους που υπάρχουν στο υλικό μας, οι οποίοι χρειάζονται περαιτέρω κατάτμηση και επεξεργασία.

Από τους πίνακες 6.1,6.2 και 6.3 μπορεί να υπολογιστεί το βάρος, η χημική ανάλυση και την κατανομή των στοιχείων σε οποιοδήποτε μέγεθος ζητηθεί να γίνει ο διαχωρισμός. Για παράδειγμα εάν διαχωριστεί το υλικό στο 1 mm, τότε από τον πίνακα 6.2 φαίνεται ότι το προϊόν (-1mm) αυτό αποτελεί το 37,4% του αρχικού

βάρους, έχει ανάλυση 1,5% σε νικέλιο και με τον τρόπο αυτό πετυχαίνεται η ανάκτηση του 42,32% του υπάρχοντος νικελίου.

Είναι φανερό ότι η χημική ανάλυση νικελίου αυξάνει συνεχώς όσο μικραίνει το μέγεθος των κόκκων. Όμως με την μείωση του μεγέθους ελαττώνεται και η ποσότητα του κλάσματος που λαμβάνεται ως προϊόν. Η ανάκτηση του Ni μικραίνει όταν μικραίνει το μέγεθος του προϊόντος. Επίσης, από τον βαθμό διαχωρισμού φαίνεται ότι το νικέλιο διαχωρίζεται καλύτερα στα μεγαλύτερα κλάσματα.

Για τα υπόλοιπα στοιχεία παρατηρήθηκε ότι Fe_2O_3 και CaO αυξάνουν την περιεκτικότητά τους όσο μεγαλώνει το μέγεθος των κόκκων και κατανέμονται κατά προτίμηση στο χονδρό κλάσμα. Αντίθετα, MgO και αδιάλυτα εμφανίζουν τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στα μικρά κοκκομετρικά μεγέθη και κατανέμονται στο ψιλό κλάσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Δοκιμές με βαρέα υγρά

6.1 Γενικά στοιχεία της μεθόδου

Η μέθοδος των βαρέων υγρών εκμεταλλεύεται τη διαφορά των πυκνοτήτων των προς διαχωρισμό ορυκτών. Εφαρμόζεται σε μεταλλεύματα που διαφαίνεται ο βαρυτομετρικός εμπλουτισμός τους, χωρίς όμως να αποκλείεται η εφαρμογή της και για συγκριτικά συμπεράσματα με άλλες μεθόδους, αρκεί τα ορυκτά που πρόκειται να διαχωριστούν να έχουν μία διαφορά βάρους τουλάχιστον $0,05 \text{ gr/cm}^3$.

Η μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, των οποίων η πυκνότητα αυξάνεται προοδευτικά. Με τον τρόπο αυτό το μέταλλευμα διαχωρίζεται σε κλάσματα βάρους διαφόρων ειδικών βαρών.

Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται για διαχωρισμό ορυκτών με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από $4,5 \text{ gr/cm}^3$, γιατί περιορίζεται από την αντίστοιχη μέγιστη πυκνότητα βαρέως υγρού που υπάρχει στην αγορά (πίνακας 6.1). Οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή ειδικού βάρους, μεταξύ των ειδικών βαρών που υπάρχουν στον πίνακα 6.1, λαμβάνεται με την διαδικασία που περιγράφεται στο παράρτημα Α.Ι.8. Η χρήση των βαρέων υγρών περιορίστηκε μόνο σε εργαστηριακούς διαχωρισμούς, λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής των.

Πίνακας 6.1: Βαρέα υγρά (Κωστάκης, 1992)

Βαρύ υγρό	Ειδικό βάρος (gr/cm³)
Τετραχλωράνθρακας	1,58
Βρωμοφόρμιο	2,82
Τετραβρωμοαιθάνιο	2,96
Ιωδιούχο μεθυλένιο	3,33
Διάλυμα Clerici	4,50

6.2 Διαδικασία για ανάλυση με βαρέα υγρά

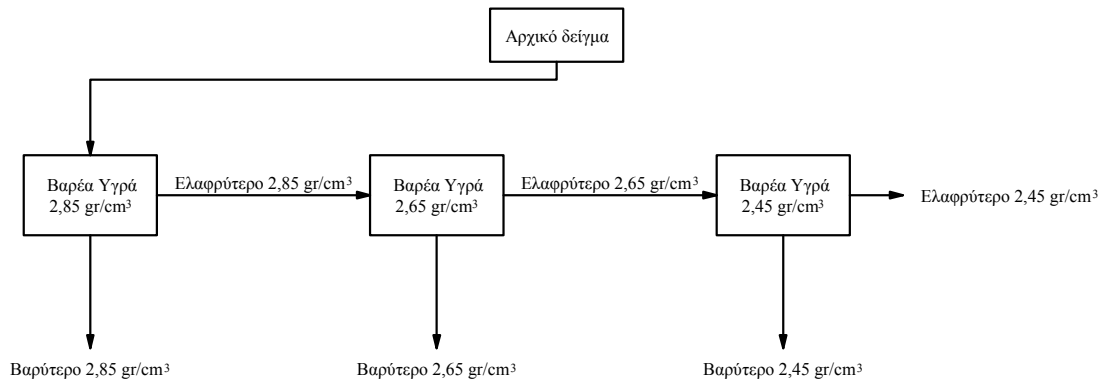
Το δείγμα τίθεται στο βαρύ υγρό με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος, με αποτέλεσμα να προκύψουν δύο προϊόντα: αυτό που το ειδικό βάρος του είναι μεγαλύτερο από αυτό του υγρού και καθιζάνει, και αυτό που το ειδικό του βάρος είναι μικρότερο από αυτό του υγρού και επιπλέει. Το πρώτο αφού εκπλυθεί με κατάλληλο διαλύτη, ξηραίνεται, ζυγίζεται, και προσδιορίζονται οι περιεκτικότητες των συστατικών που μας ενδιαφέρουν. Το προϊόν που επιπλέει, οδηγείται στο βαρύ υγρό του αμέσως χαμηλότερου ειδικού βάρους, και επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία μέχρι να χρησιμοποιηθεί όλη η κλίμακα των βαρέων υγρών που έχει επιλεγεί για την ανάλυση. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.

Η επιλογή της μεθόδου έγινε, γιατί εκμεταλλεύεται τις διαφοροποιήσεις του ειδικού βάρους μεταξύ των σιδηρούχων ορυκτών τα οποία περιέχουν οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου με ειδικό βάρος από 3,30 και 5,10 gr/cm³ και στα πυριτικά ορυκτά που κατά το πλείστον περιέχουν χαλαζία, του οποίου το ειδικό βάρος είναι 2,65 gr/cm³ καθώς και ασβεστίτη, ο οποίος έχει ειδικό βάρος 2,71 gr/cm³. Το νικέλιο έχει ειδικό βάρος 8,9 gr/cm³ και ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής του στα πυριτικά ορυκτά, αυξάνει το ειδικό βάρος αυτών.

Οι πυκνότητες των βαρέων υγρών, που επιλέχθηκαν για να γίνει η βαρυτομετρική ανάλυση του δείγματος στην παρούσα εργασία, είναι:

- ◆ 2,85 gr/cm³

- ◆ $2,65 \text{ gr/cm}^3$
- ◆ $2,45 \text{ gr/cm}^3$



Σχήμα 6.1: Διαδικασία ανάλυσης με βαρέα υγρά

Όπως φάνηκε από την αυτολειοτριβήση, τα κοκκομετρικά κλάσματα μικρότερα των $0,250\text{mm}$ έχουν ικανοποιητική ανάλυση σε νικέλιο και δεν χρειάζονται περαιτέρω εμπλουτισμό. Επίσης, λόγω του μικρού τους μεγέθους, ο διαχωρισμός τους με βαρέα υγρά δεν ενδείκνυται. Έτσι, η βαρυτομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα κοκκομετρικά κλάσματα $-16 +4\text{mm}$, $-4 +1\text{mm}$ και $-1 +0,250\text{mm}$.

6.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Τα αποτελέσματα της βαρυτομετρικής ανάλυσης στα κοκκομετρικά κλάσματα ($-16 +4\text{mm}$), ($-4 +1\text{mm}$) και ($-1 +0,250\text{mm}$), χρησιμοποιώντας βαρέα υγρά με πυκνότητες $2,85$, $2,65$ και $2,45\text{gr/cm}^3$, δίνονται στους πίνακες 6.1, 6.2 και 6.3. Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζεται το κοκκομετρικό κλάσμα, το % βάρος του αντίστοιχου κλάσματος καθώς και περιεκτικότητα και η κατανομή των στοιχείων που περιέχονται σε κάθε κλάσμα για κάθε ειδικό βάρος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

Από τα αποτελέσματα του εμπλουτισμού που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες παρατηρούμε τα ακόλουθα:

Το ποσοστό του βάρους του βαρυτομετρικού κλάσματος $-2.65 + 2.45 \text{ gr/cm}^3$ είναι πολύ αυξημένο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το ότι στο συγκεκριμένο κλάσμα έχουμε μεγάλα ποσοστά κατανομής του υπάρχοντος CaO, MgO, αδιάλυτων και Ni.

Στο διάγραμμα 6.1 παρουσιάζεται η κατανομή του βάρους στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας, για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. Από το σχεδιάγραμμα φαίνεται ότι όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα ακολουθούν ένα ομοιόμορφο τρόπο κατανομής για κάθε πυκνότητα. Επίσης φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του βάρους, για όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα, εμφανίζεται στο βαρυτομετρικό κλάσμα $-2.65+2.45 \text{ gr/cm}^3$. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ασβεστίτης και τα πυριτικά ορυκτά, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, κατανέμονται στο συγκεκριμένο κλάσμα.

Στο διάγραμμα 6.2 εμφανίζεται η κατανομή του βάρους στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων, για της πυκνότητες βαρέων υγρών 2.85, 2.65 και 2.45 gr/cm^3 . Από το διάγραμμα δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή στα βάρη καθώς μειώνεται το μέγεθος των κόκκων.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	292,4	18,3	1,03	65,31	2,57	1,28	14,02	16,13	46,35	5,16	1,88	7,78
-2,85+2,65	336,1	21,1	1,52	39,00	9,33	6,30	25,96	27,47	31,82	21,56	10,63	16,55
-2,65+2,45	698,0	43,7	1,10	8,88	14,01	14,58	41,52	41,11	15,04	67,26	51,13	54,99
-2,454	269,4	16,9	1,06	10,39	3,25	26,87	40,45	15,30	6,79	6,03	36,36	20,68
ΣΥΝΟΛΟ	1595,9	100,0	1,17	25,82	9,11	12,47	33,02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 6.1: Αποτέλεσμα βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	292,4	18,3	1,03	65,31	2,57	1,28	14,02	16,13	46,35	5,16	1,88	7,78
+2,65	628,5	39,4	1,29	51,24	6,18	3,96	20,40	43,59	78,16	26,72	12,51	24,33
+2,45	1326,5	83,1	1,19	28,95	10,30	9,55	31,52	84,70	93,21	93,97	63,64	79,32

Πίνακας 6.1.α: Υπολογισμός του αθροιστικώς βαρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
-2,85	1303,5	81,7	1,20	16,96	10,58	14,99	37,29	83,87	53,65	94,84	98,12	92,22
-2,65	967,4	60,6	1,09	9,30	11,02	18,00	41,23	56,41	21,84	73,28	87,49	75,67
-2,45	269,4	16,9	1,06	10,39	3,25	26,87	40,45	15,30	6,79	6,03	36,36	20,68

Πίνακας 6.1.β: Υπολογισμός του αθροιστικώς ελαφρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	209,6	25,4	1,21	62,61	2,06	2,37	15,55	24,57	61,78	6,55	4,96	11,39
-2,85+2,65	83,4	10,1	1,84	31,85	7,69	8,74	32,59	14,90	12,50	9,72	7,27	9,50
-2,65+2,45	414,8	50,3	1,22	10,60	12,59	14,49	41,89	49,15	20,71	79,22	60,01	60,70
-2,454	117,0	14,2	1,00	9,10	2,54	23,76	45,06	11,39	5,01	4,51	27,75	18,42
ΣΥΝΟΛΟ	824,8	100,0	1,25	25,76	7,99	12,15	34,71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 6.2: Αποτέλεσμα βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	209,6	25,4	1,21	62,61	2,06	2,37	15,55	24,57	61,78	6,55	4,96	11,39
+2,65	293	35,5	1,39	53,86	3,66	4,18	20,40	39,47	74,28	16,28	12,24	20,88
+2,45	707,8	85,8	1,29	28,51	8,89	10,23	33,00	88,61	94,99	95,49	72,25	81,58

Πίνακας 6.2.α: Υπολογισμός του αθροιστικώς βαρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
-2,85	615,2	74,6	1,26	13,20	10,01	15,48	41,23	75,43	38,22	93,45	95,04	88,61
-2,65	531,8	64,5	1,17	10,27	10,38	16,53	42,59	60,53	25,72	83,72	87,76	79,12
-2,45	117,0	14,2	1,00	9,10	2,54	23,76	45,06	11,39	5,01	4,51	27,75	18,42

Πίνακας 6.2.β: Υπολογισμός του αθροιστικώς ελαφρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	85,0	27,2	1,37	56,57	1,96	2,91	22,89	27,78	63,70	5,58	6,19	18,26
-2,85+2,65	30,7	9,8	1,84	27,33	9,90	9,56	32,71	13,44	11,11	10,18	7,36	9,43
-2,65+2,45	136,2	43,6	1,17	9,53	17,17	13,31	37,23	38,13	17,19	78,35	45,45	47,60
-2,454	60,8	19,4	1,43	9,93	2,89	26,90	43,29	20,66	8,00	5,89	41,00	24,71
ΣΥΝΟΛΟ	312,7	100,0	1,34	24,14	9,54	12,76	34,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

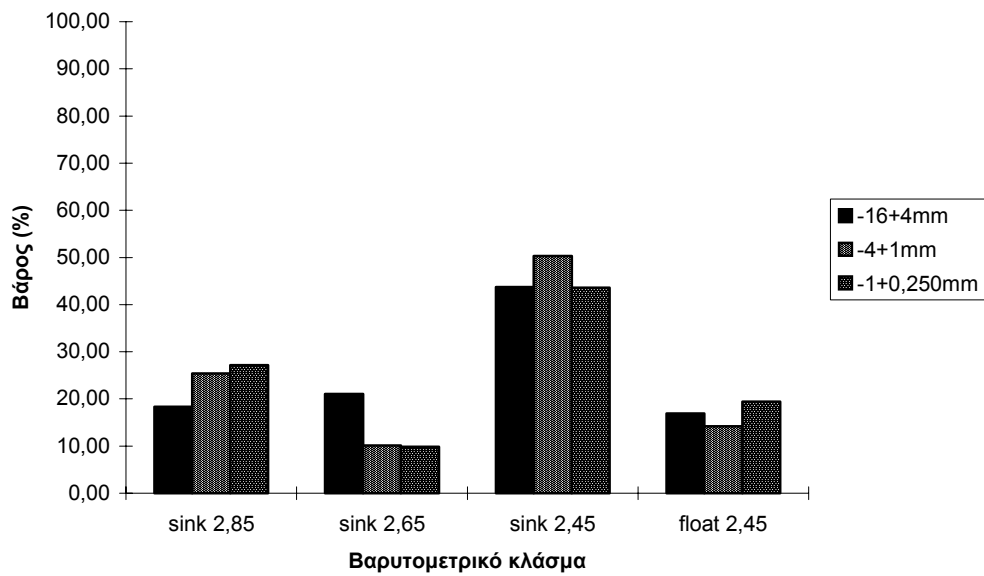
Πίνακας 6.3: Αποτέλεσμα βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
+2,85	85,0	27,2	1,37	56,57	1,96	2,91	22,89	27,78	63,70	5,58	6,19	18,26
+2,65	115,7	37,0	1,50	48,81	4,07	4,67	25,50	41,21	74,81	15,77	13,55	27,69
+2,45	251,9	80,6	1,32	27,57	11,15	9,34	31,84	79,34	92,00	94,11	59,00	75,29

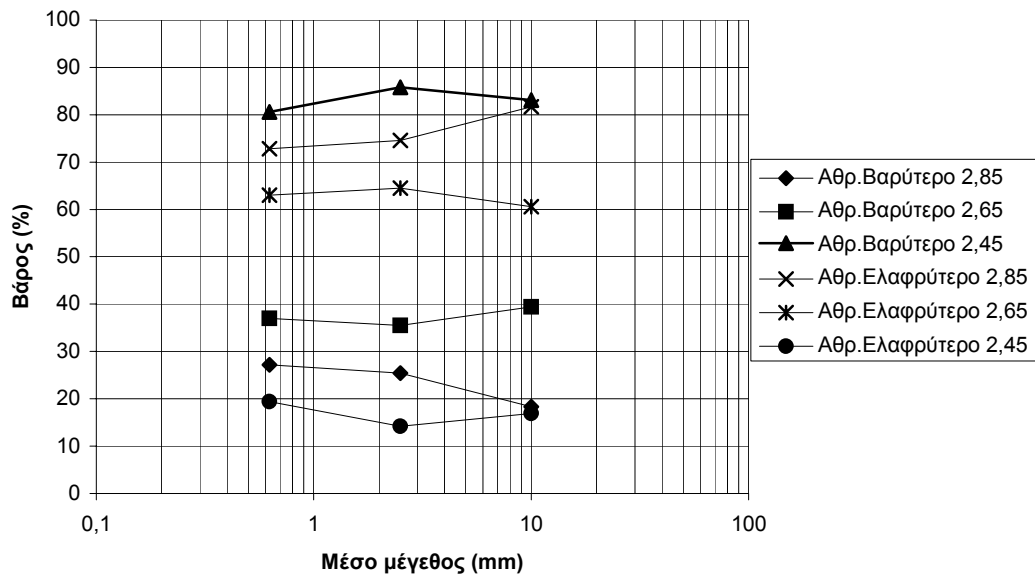
Πίνακας 6.3.α: Υπολογισμός του αθροιστικώς βαρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm												
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
-2,85	227,7	72,8	1,33	12,04	12,37	16,44	38,24	72,22	36,30	94,42	93,81	81,74
-2,65	197,0	63,0	1,25	9,65	12,76	17,51	39,10	58,79	25,19	84,23	86,45	72,31
-2,45	60,8	19,4	1,43	9,93	2,89	26,90	43,29	20,66	8,00	5,89	41,00	24,71

Πίνακας 6.3.β: Υπολογισμός του αθροιστικώς ελαφρύτερου για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 6.1: Κατανομή του βάρους των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας, για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα



Διάγραμμα 6.2: Κατανομή του βάρους στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού συναρτήσει του μέσου μεγέθους των κόκκων για όλες τις πυκνότητες διαχωρισμού

6.4 Κατανομή της περιεκτικότητας των Ni, MgO, CaO, Fe₂O₃ και των αδιάλυτων στα προϊόντα της δοκιμής με τα βαρέα υγρά

Από τους πίνακες 6.1, 6.2 και 6.3 παρατηρείται ότι τα βαρύτερα κλάσματα είναι πλουσιότερα σε Fe₂O₃, ενώ το κλάσμα -2,65+2,45 gr/cm³ είναι το πλουσιότερο σε CaO. Το MgO και τα αδιάλυτα κατανέμονται στα ελαφρύτερα κλάσματα, ενώ το Ni παρουσιάζει τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στο κλάσμα -2,85+2,65 gr/cm³.

Από τα στοιχεία των πινάκων 6.1, 6.2 και 6.3 υπολογίζονται το % βάρος, η περιεκτικότητα και η κατανομή των περιεχόμενων στοιχείων στο αθροιστικώς βαρύτερο και αθροιστικώς ελαφρύτερο της κάθε πυκνότητας για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. (πίνακας 6.1.α, 6.1.β, 6.2.α, 6.2.β, 6.3.α, 6.3.β).

Αναλυτικότερα, το Fe₂O₃ παρουσιάζει μεγάλες τιμές περιεκτικότητας στο βαρύτερο κλάσμα (+2.85gr/cm³) και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα. Αυτό οφείλεται στο ότι στην πυκνότητα αυτή, διαχωρίζονται τα σιδηρούχα ορυκτά γκαιίτης, αιματίτης στα οποία περιέχεται κατά μεγάλο ποσοστό ο Fe. Έτσι τα βαρύτερα κλάσματα είναι πλουσιότερα σε Fe₂O₃. Στο διάγραμμα 6.3 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του Fe₂O₃ συναρτήσει της μέσης πυκνότητας και για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα. Η μεταβολή της περιεκτικότητας του Fe₂O₃ στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο, συναρτήσει της πυκνότητας, για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.4. Οι γραφικές παραστάσεις της περιεκτικότητας του Fe₂O₃ στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο, για τα κοκκομετρικά κλάσματα -16 +4mm και -1+0,250mm, παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.ΙΙ.

Τα αδιάλυτα φαίνεται ότι κατανέμονται στα ελαφρύτερα προϊόντα και κυρίως στο βαρυτομετρικό κλάσμα -2.65 +2.45 gr/cm³ (διάγραμμα 6.5, 6.6). Αυτό συμβαίνει γιατί μεγάλο ποσοστό των αδιάλυτων είναι το SiO₂, που βρίσκεται με την μορφή του χαλαζία και του χρυσοτίλη, και έχει ειδικό βάρος 2.65 gr/cm³.

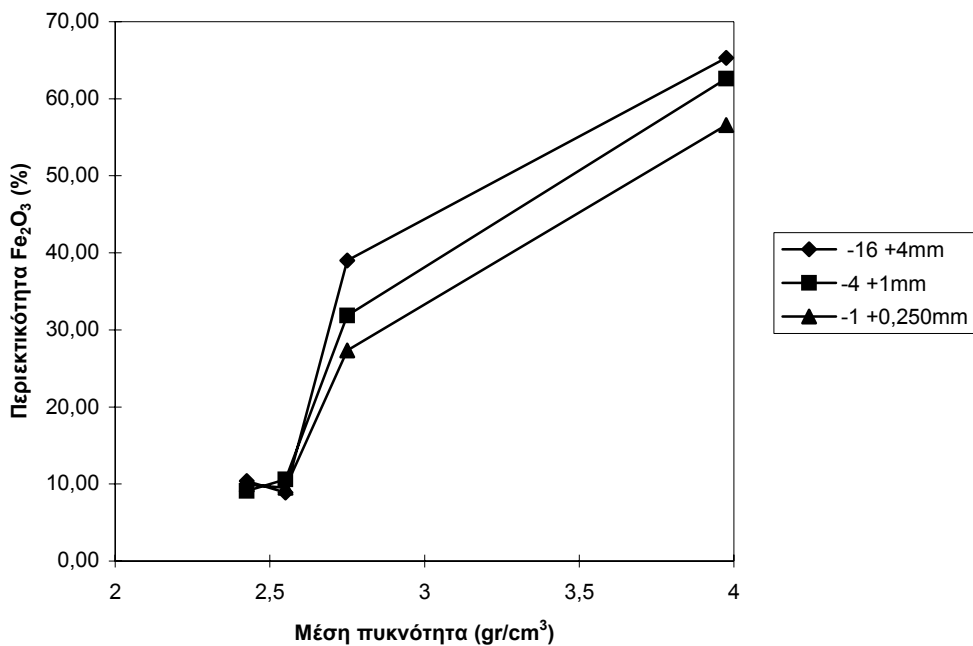
Το CaO κατανέμεται κυρίως στο βαρυτομετρικό κλάσμα -2.65 +2.45 gr/cm³. Η κατανομή του CaO στο συγκεκριμένο κλάσμα είναι ιδιαίτερα υψηλή με ποσοστά και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα περίπου 70%. Το CaO ανήκει κυρίως στο CaCO₃, για το οποίο έγιναν μετρήσεις με την συσκευή προσδιορισμού ανθρακικού ασβεστίου «Karbonatbombe». Από τα αποτελέσματα (πίνακας Α.ΙΙ.1) που προέκυψαν φαίνεται

ότι το CaCO_3 κατανέμεται κυρίως στο βαρυτομετρικό κλάσμα $-2.65 +2.45 \text{ gr/cm}^3$ το οποίο εξηγεί και τα μεγάλα ποσοστά CaO στο ίδιο κλάσμα. Οι γραφικές παραστάσεις της περιεκτικότητας του CaO εμφανίζονται στα διαγράμματα 6.7 και 6.8.

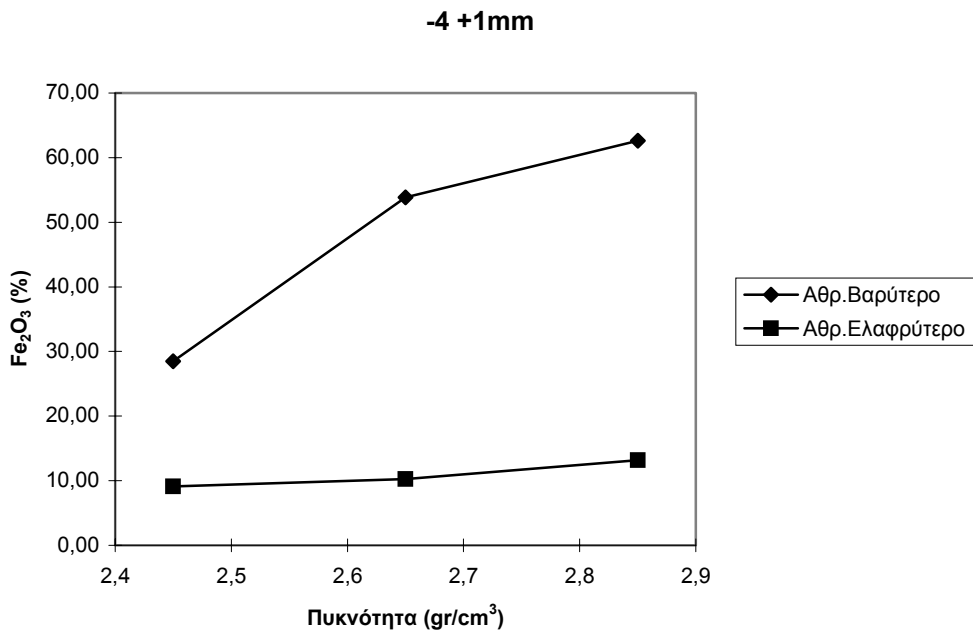
Το MgO εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του CaO και αδιάλυτων και κατανέμεται κυρίως στα ελαφριά προϊόντα της μεθόδου (διάγραμμα 6.9, 6.10).

Το Ni όπως φαίνεται από τους παρακάτω πίνακες παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς την περιεκτικότητα του και την κατανομή του στα διάφορα βαρυτομετρικά κλάσματα. Παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό περιεκτικότητας στο κλάσμα $-2,85+2.65 \text{ gr/cm}^3$ αλλά κατανέμεται κυρίως στο κλάσμα $+2.45 \text{ gr/cm}^3$. Επίσης παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα του Ni αυξάνει στα ελαφρά προϊόντα για τα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα (διάγραμμα 6.11). Η μεταβολή της περιεκτικότητας του Ni στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο προϊόν συναρτήσει της πυκνότητας και για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 6.12, 6.13 και 6.14.

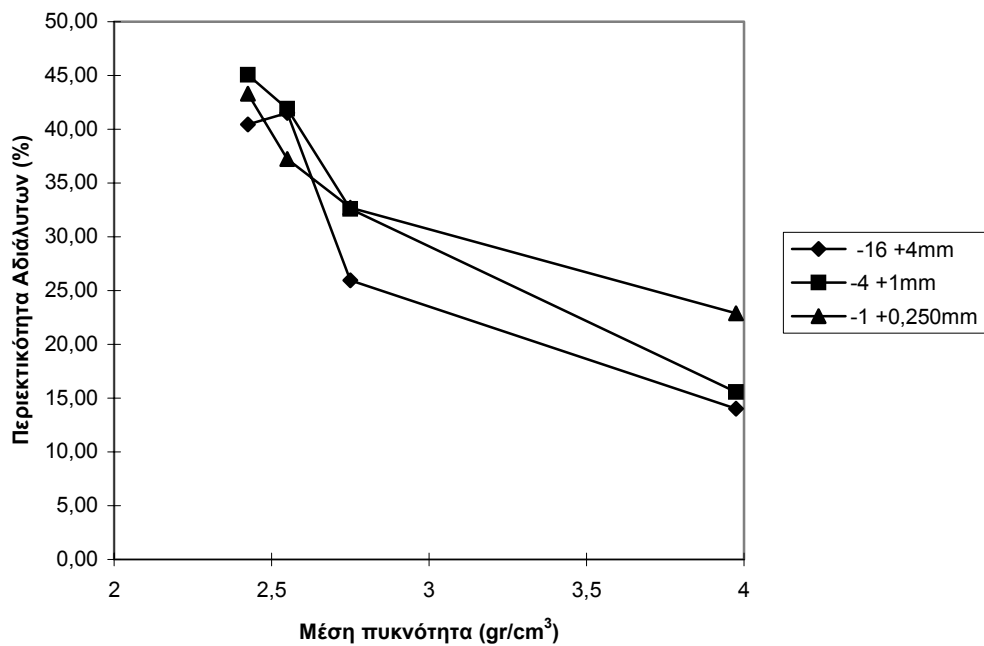
Στο διάγραμμα 6.15 παρουσιάζεται γραφικά, η κατανομή των στοιχείων συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για το κοκκομετρικό κλάσμα $-4 +1\text{mm}$. Από την γραφική παράσταση φαίνεται ότι το Ni , το CaO , το MgO και τα αδιάλυτα κατανέμονται κατά μεγάλο ποσοστό στο βαρυτομετρικό κλάσμα $-2,65 +2,45\text{gr/cm}^3$, ενώ το Fe_2O_3 στο βαρύτερο του $2,85 \text{ gr/cm}^3$. Οι γραφικές παραστάσεις της κατανομής για τα άλλα κοκκομετρικά κλάσματα παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.ΙΙ.



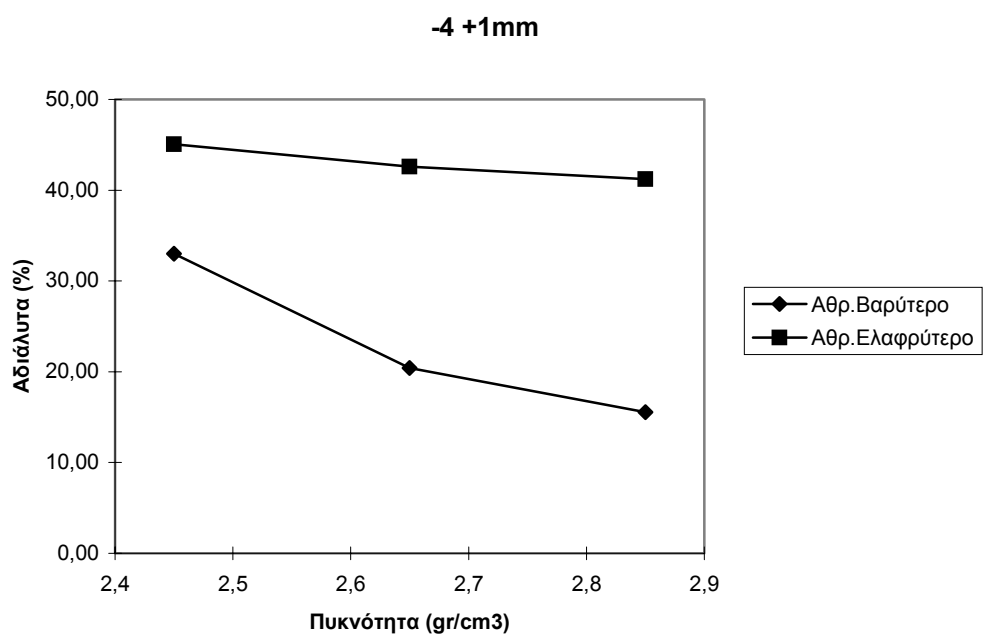
Διάγραμμα 6.3: Περιεκτικότητα Fe_2O_3 συναρτήσει της μέσης πυκνότητας στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα



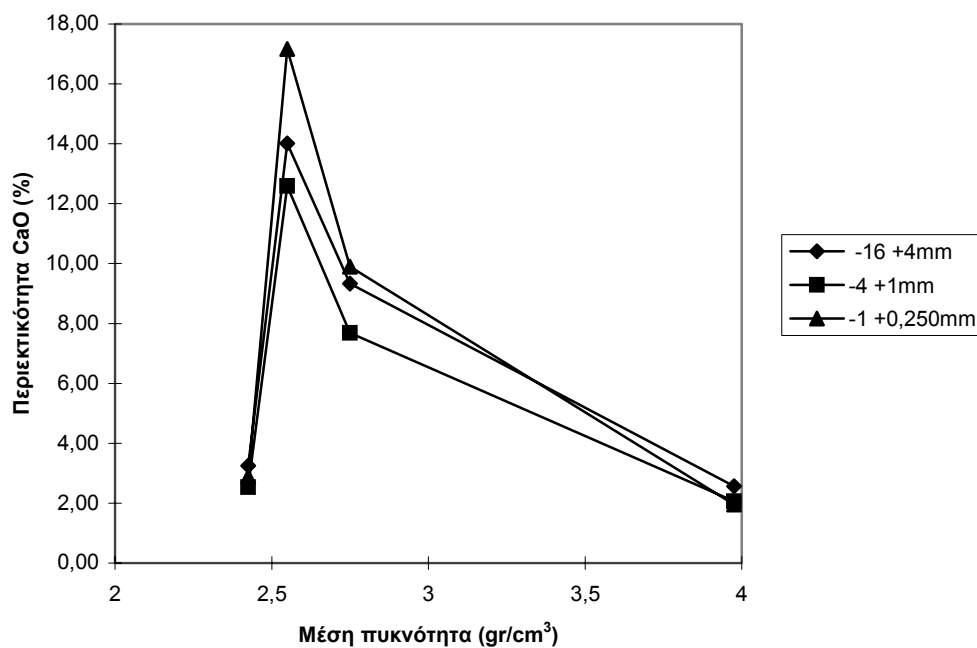
Διάγραμμα 6.4: Περιεκτικότητα Fe_2O_3 στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



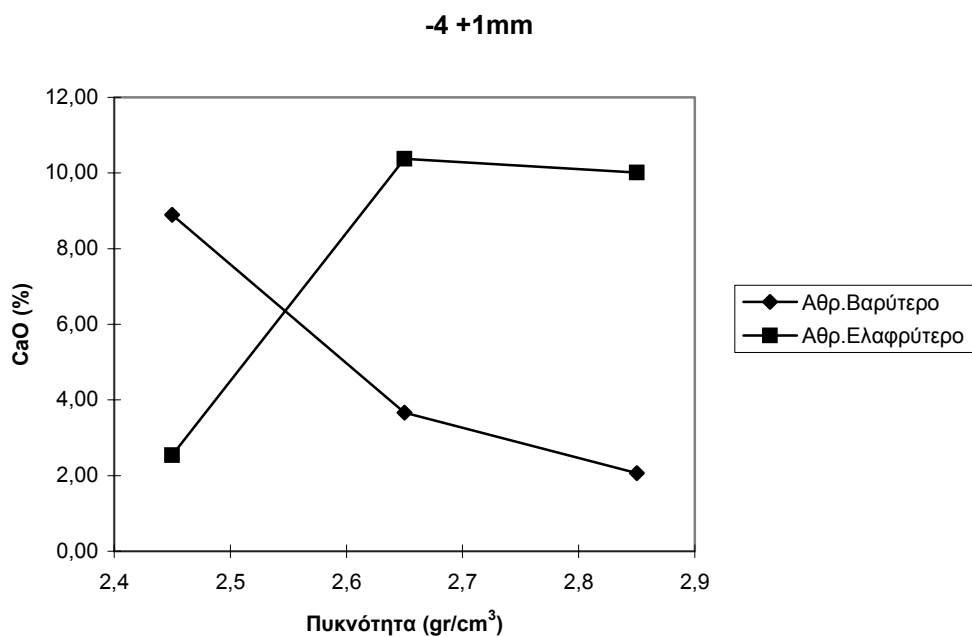
Διάγραμμα 6.5: Περιεκτικότητα των αδιάλυτων συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα



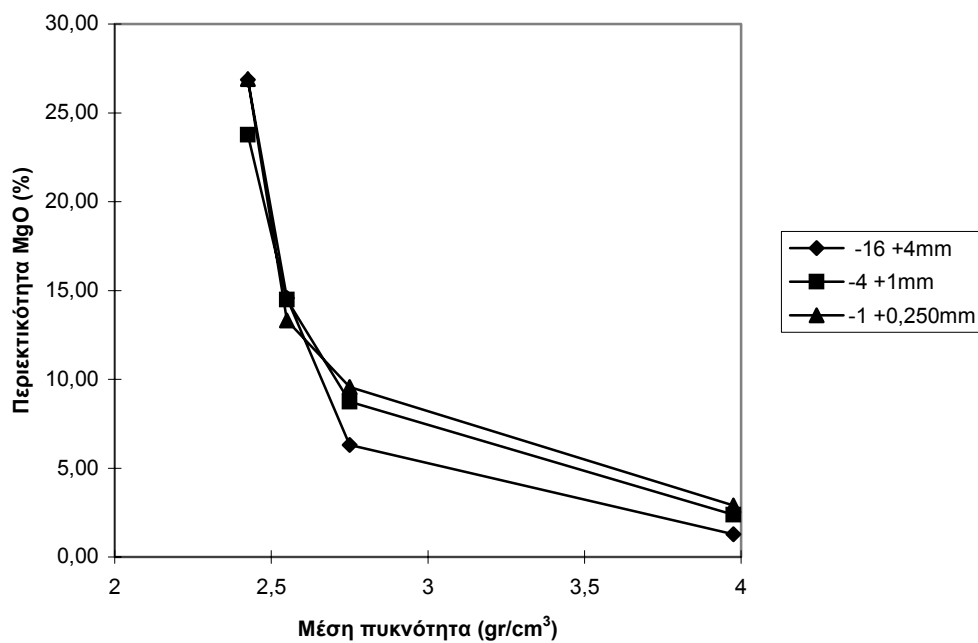
Διάγραμμα 6.6: Περιεκτικότητα των αδιάλυτων στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



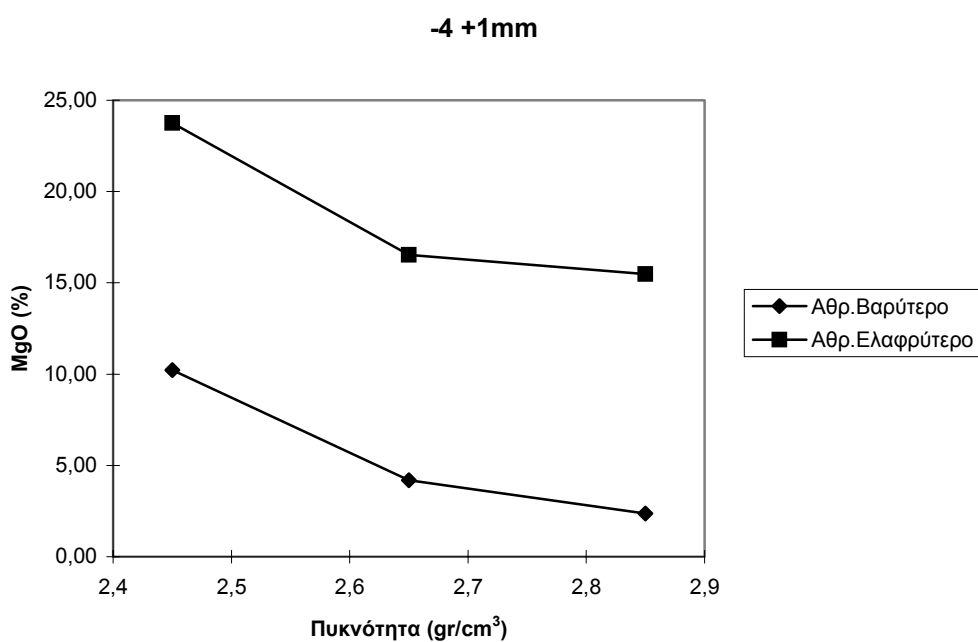
Διάγραμμα 6.7: Περιεκτικότητα του CaO συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα



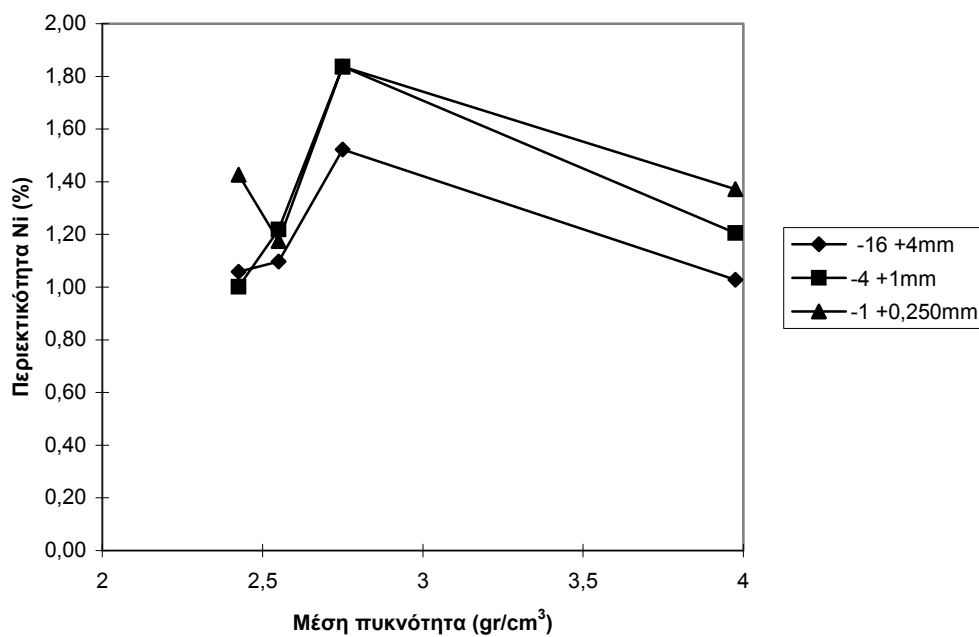
Διάγραμμα 6.8: Περιεκτικότητα CaO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



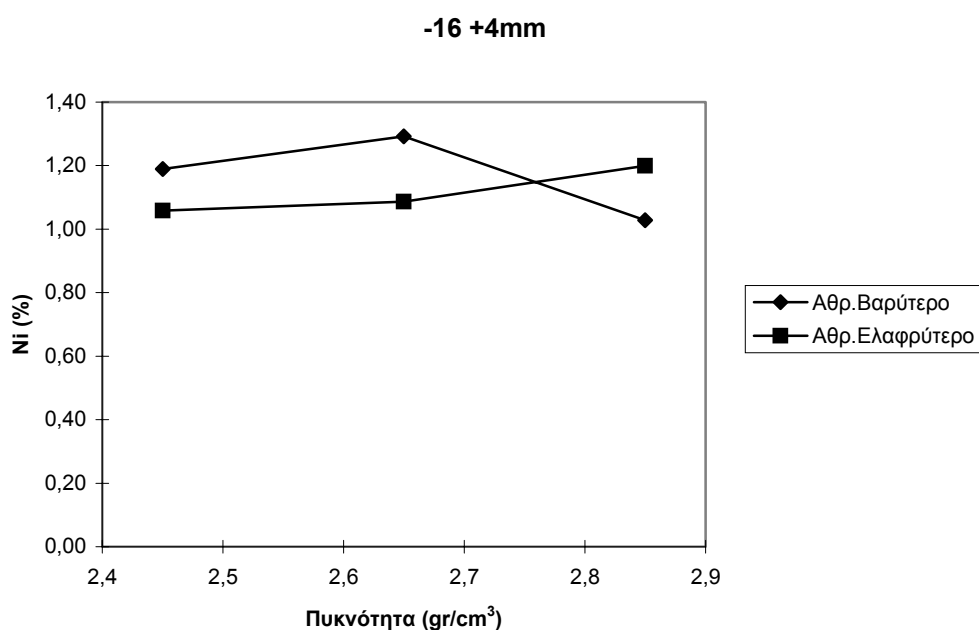
Διάγραμμα 6.9: Περιεκτικότητα MgO συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα



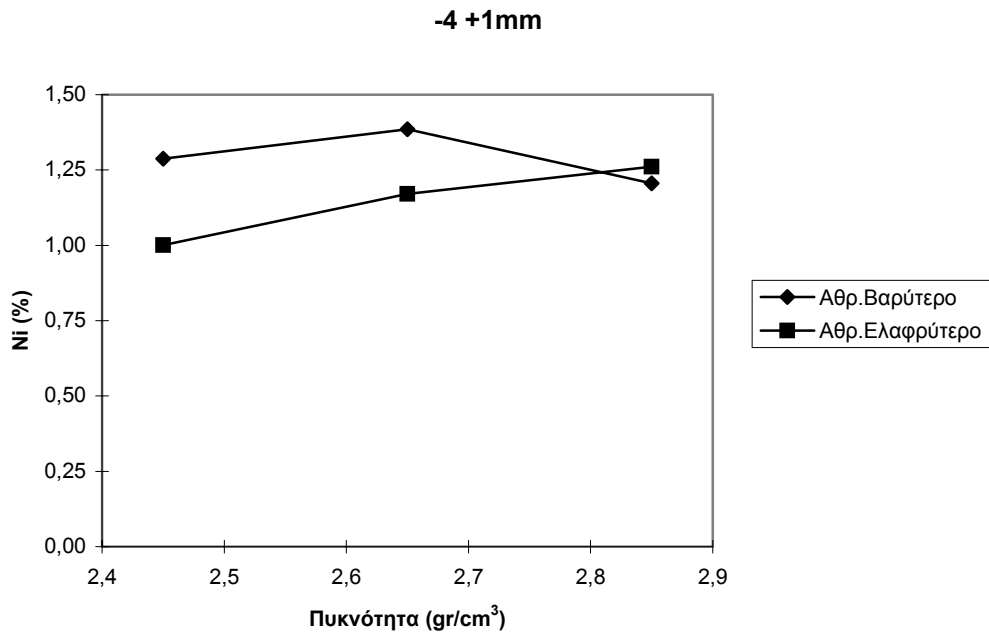
Διάγραμμα 6.10: Περιεκτικότητα MgO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



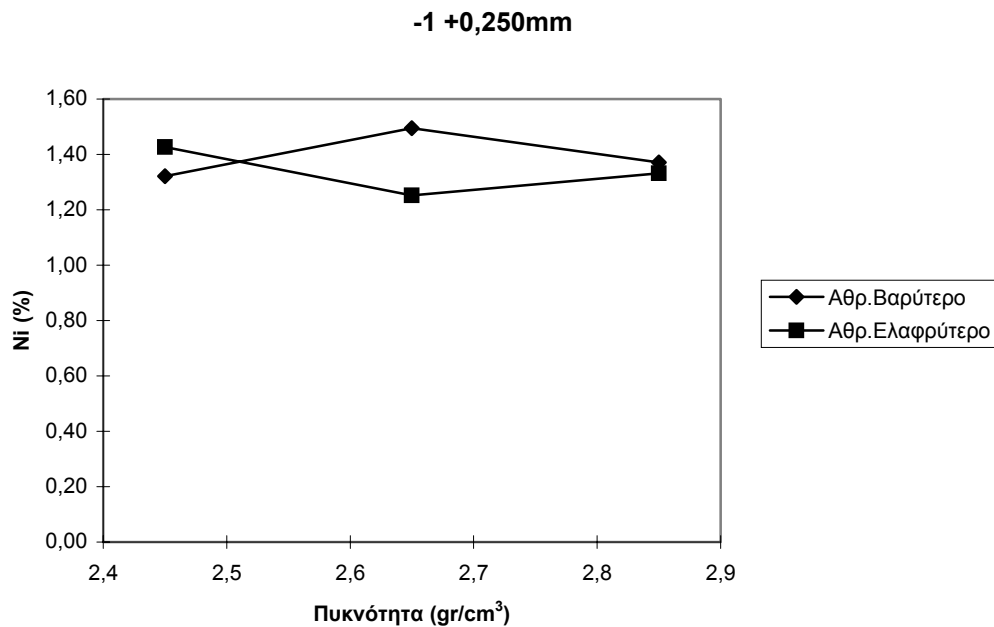
Διάγραμμα 6.11: Περιεκτικότητα Ni συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα



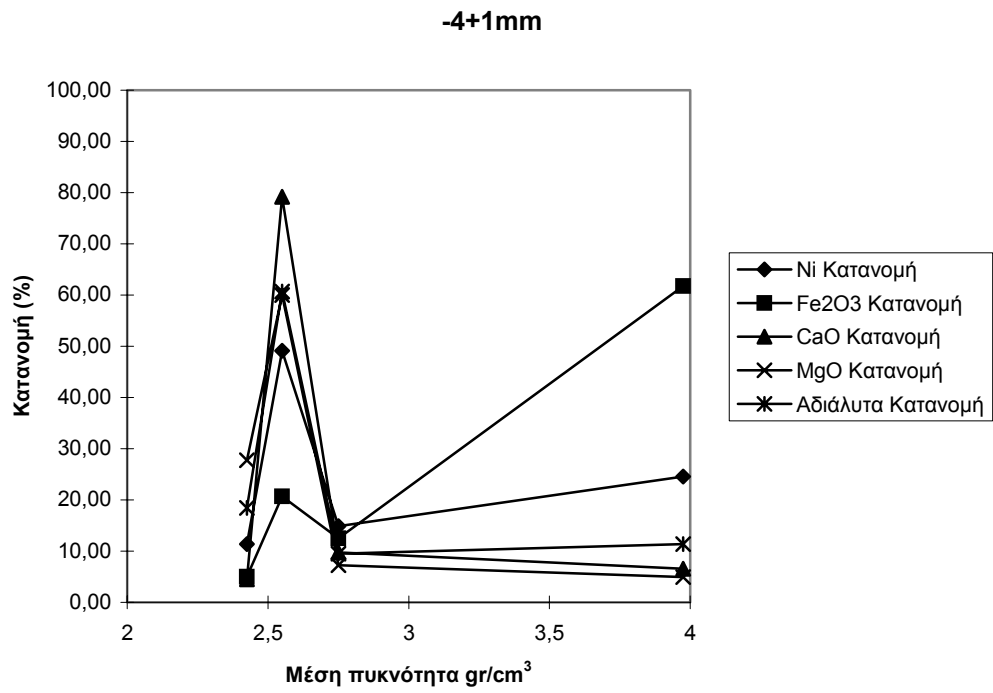
Διάγραμμα 6.12: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



Διάγραμμα 6.13: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



Διάγραμμα 6.14: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 6.15: Κατανομή των στοιχείων συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

6.5 Βαθμός διαχωρισμού των Ni, MgO, CaO, Fe₂O₃ και των αδιάλυτων συναρτήσεων της πυκνότητας του βαρέως υγρού

Οι τιμές του βαθμού διαχωρισμού των Ni, Fe₂O₃, MgO, CaO και αδιάλυτων και για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 6.4, 6.5 και 6.6. Ο βαθμός διαχωρισμού για το κάθε στοιχείο υπολογίζεται θεωρώντας ότι το βαρύ προϊόν αποτελεί το συμπύκνωμα και το ελαφρύ το απόρριμμα. Οι γραφικές παραστάσεις του βαθμού διαχωρισμού κάθε στοιχείου δίνονται στα διαγράμματα 6.16, 6.17 και 6.18.

Το Fe₂O₃ εμφανίζει θετικό βαθμό διαχωρισμού και κατανέμεται στο βαρύ προϊόν. Αυτό ισχύει και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα. Ο καλύτερος διαχωρισμός για το Fe₂O₃ επιτυγχάνεται στο βαρυτομετρικό κλάσμα 2,65gr/cm³ όπου και παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές του βαθμού διαχωρισμού του Fe₂O₃.

Το MgO και τα αδιάλυτα κατανέμονται στο απόρριμμα (ελαφρύ) αφού παρουσιάζουν αρνητική τιμή του βαθμού διαχωρισμού. Καλύτερο διαχωρισμό των δύο στοιχείων επιτυγχάνεται στην πυκνότητα 2,65gr/cm³.

Το CaO για τις δύο μεγαλύτερες πυκνότητες κατανέμεται στο απόρριμμα, ενώ αντίθετα στην πυκνότητα 2,45gr/cm³ κατανέμεται στο προϊόν (βαρύ).

Τέλος, το νικέλιο κατανέμεται τότε στο προϊόν και τότε στο απόρριμμα ανάλογα την πυκνότητα διαχωρισμού και το κοκκομετρικό κλάσμα. Για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm και -1 +0,250mm το νικέλιο κατανέμεται αρχικά (πυκνότητα 2,85gr/cm³) στο απόρριμμα και για τις πυκνότητες 2,65 και 2,45gr/cm³ πηγαίνει στο προϊόν. Αντίθετα, στο κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm, αρχικά το νικέλιο κατανέμεται στο προϊόν και για την πυκνότητα 2,45gr/cm³ στο απόρριμμα. Από τις απόλυτες τιμές του βαθμού διαχωρισμού του νικελίου, οι οποίες είναι μικρές, διαπιστώνεται ότι ο διαχωρισμός του νικελίου δεν είναι καλός.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
2,85	1,03	65,31	2,57	1,28	14,02	1,20	16,96	10,58	14,99	37,29	-2,73	37,78	-14,48	-23,89	-15,75
2,65	1,29	51,24	6,18	3,96	20,40	1,09	9,30	11,02	18,00	41,23	5,23	52,28	-13,94	-39,05	-22,47
2,45	1,19	28,95	10,30	9,55	31,52	1,06	10,39	3,25	26,87	40,45	1,96	13,60	11,94	-28,31	-5,67

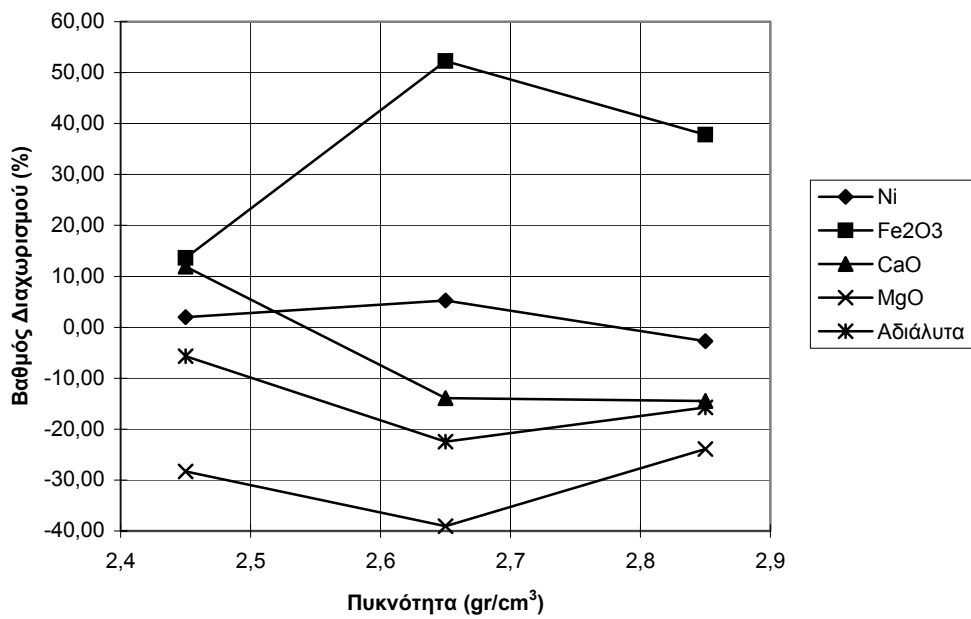
Πίνακας 6.4: Υπολογισμός του βαθμού διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
2,85	1,21	62,61	2,06	2,37	15,55	1,26	13,20	10,01	15,48	41,23	-1,06	48,98	-20,50	-29,37	-21,48
2,65	1,39	53,86	3,66	4,18	20,40	1,17	10,27	10,38	16,53	42,59	4,98	52,20	-20,92	-33,44	-22,42
2,45	1,29	28,51	8,89	10,23	33,00	1,00	9,10	2,54	23,76	45,06	3,53	12,35	10,52	-19,48	-6,48

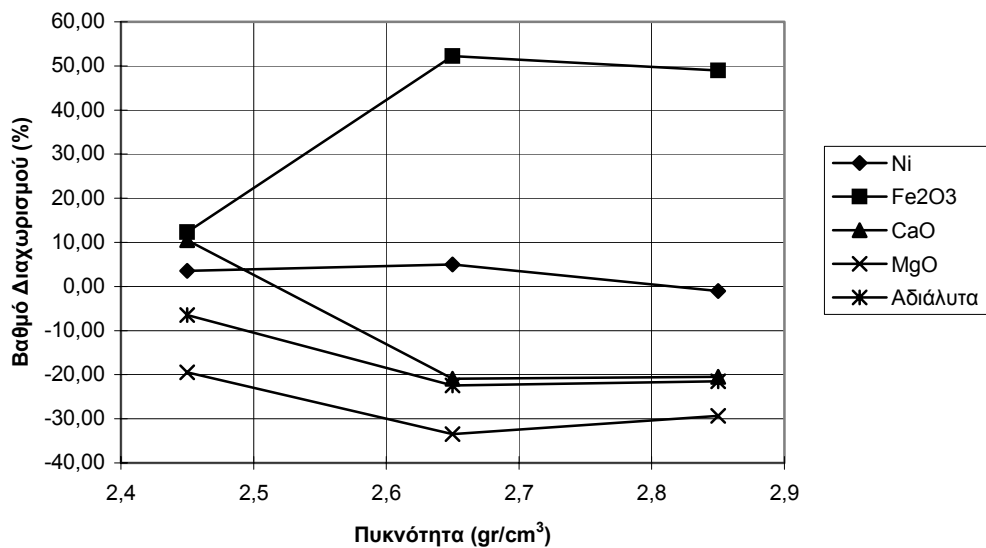
Πίνακας 6.5: Υπολογισμός του βαθμού διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
2,85	1,37	56,57	1,96	2,91	22,89	1,33	12,04	12,37	16,44	38,24	0,77	48,14	-23,88	-30,82	-13,53
2,65	1,50	48,81	4,07	4,67	25,50	1,25	9,65	12,76	17,51	39,10	5,43	49,85	-23,47	-34,43	-14,12
2,45	1,32	27,57	11,15	9,34	31,84	1,43	9,93	2,89	26,90	43,29	-1,57	15,08	14,99	-31,65	-7,99

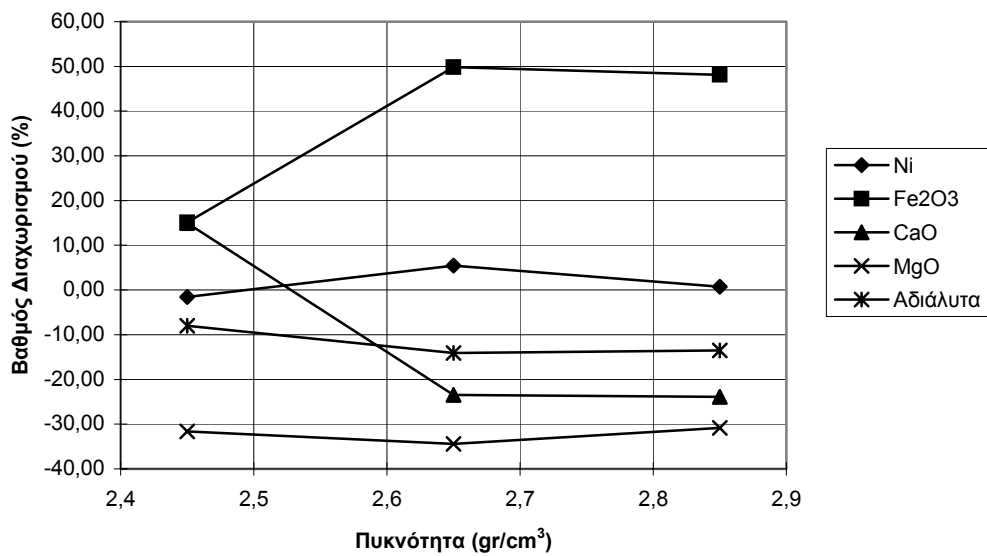
Πίνακας 6.6: Υπολογισμός του βαθμού διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 6.16: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



Διάγραμμα 6.17: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



Διάγραμμα 6.18: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm

6.6 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού έγινε ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση με την χρήση του περιθλασίμετρου ακτίνων X και του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου.

Ορυκτολογική εξέταση έγινε στο κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm και τα ακτινοδιαγράμματα παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.ΙΙ.

Από την μελέτη των ακτινοδιαγραμμάτων παρατηρήθηκε ότι στο βαρυτομετρικό κλάσμα +2,85gr/cm³ υπάρχει κυρίως γκαιτίτης και αιματίτης και ελάχιστος χαλαζίας και ασβεστίτης.

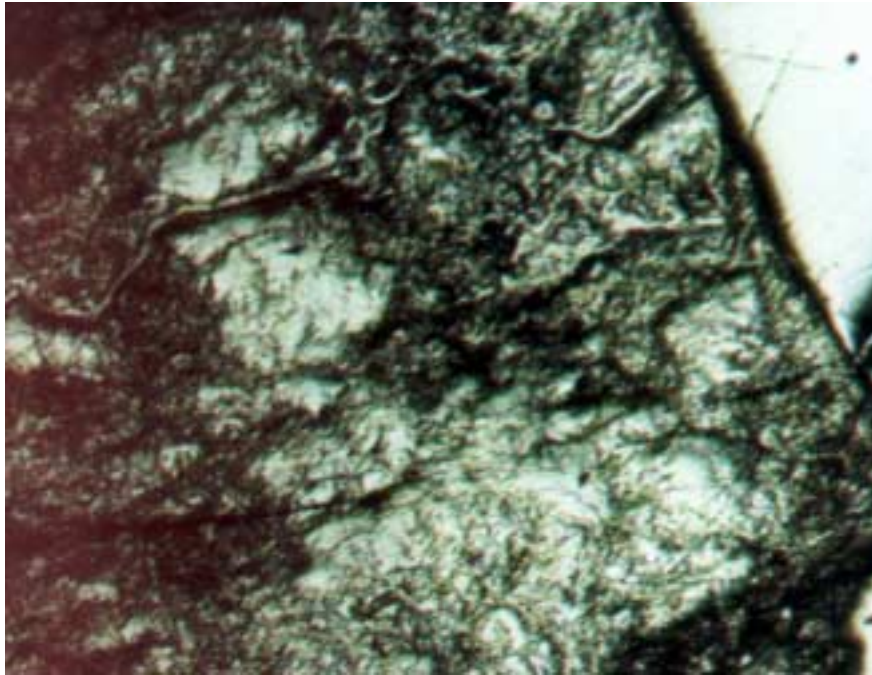
Στο κλάσμα -2,85+2,65gr/cm³ παρουσιάζεται μείωση του γκαιτίτη και του αιματίτη και αύξηση του ασβεστίτη και του χαλαζία. Επίσης παρατηρήθηκαν μικρές εμφανίσεις σερπεντίνη.

Στο βαρύτερο του 2,45gr/cm³ παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά, από όλα τα υπόλοιπα κλάσματα, σε χαλαζία και ασβεστίτη. Στο συγκεκριμένο κλάσμα παρατηρείται σημαντική αύξηση του σερπεντίνη.

Στο ελαφρύτερο του 2,45gr/cm³ φαίνεται ότι το συγκεκριμένο προϊόν περιέχει κυρίως σερπεντίνη και λιγότερο χαλαζία και ασβεστίτη.

Από την μικροσκοπική εξέταση που έγινε στα δείγματα παρατηρήθηκε ότι στα βαρύτερα κλάσματα υπάρχει κυρίως γκαιτίτης και λιγότερο αιματίτης. Επίσης, υπήρχαν κόκκοι όπου παρουσιάζονταν σύμφυση διαφανούς ορυκτού (σερπεντίνη) με γκαιτίτη (εικόνα 6.1).

Στα ελαφρύτερα κλάσματα παρατηρήθηκαν κυρίως κόκκοι ασβεστίτη και χαλαζία αλλά και σύμμικτοι κόκκοι σερπεντίνη με γκαιτίτη.



Εικόνα 6.1: Σύμφυση σερπεντίνη με γκαιτίτη.

Δείγμα $-2,85+2,65\text{gr/cm}^3$. Ανακλώμενο φως, // N. Μεγέθυνση x 50.

6.7 Συμπεράσματα δοκιμών με βαρέα υγρά

Από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής εξέτασης διαπιστώθηκε ότι ο εμπλουτισμός με τα βαρέα υγρά δεν είναι ικανοποιητικός και αυτό λόγω της ανεπαρκούς αποδέσμευσης μεταξύ πυριτικών και σιδηρούχων ορυκτών.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι στο κλάσμα $-2,65+2,45\text{gr/cm}^3$, όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη ανάκτηση σε νικέλιο, συγκεντρώθηκαν και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εκτός του Fe_2O_3 που κατανέμεται στα βαρύτερα κλάσματα. Αυτό εξηγεί και το μεγάλο ποσοστό βάρους του συγκεκριμένου κλάσματος.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που προέκυψε από τον διαχωρισμό με τα βαρέα υγρά είναι ότι, ενώ τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά (σερπεντίνης) παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση στο κλάσμα $-2,45\text{gr/cm}^3$, οπότε αναμενόταν στο ίδιο κλάσμα και η μεγαλύτερη συγκέντρωση νικελίου, αντίθετα παρουσιάζεται η μικρότερη περιεκτικότητα σε Ni από όλα τα άλλα κλάσματα. Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νικέλιο έχει το κλάσμα $-2,85+2,65\text{gr/cm}^3$, το οποίο περιέχει πυριτικά ορυκτά του μαγνησίου αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό. Αυτό ίσως μπορεί να οφείλεται στο ότι στο συγκεκριμένο κλάσμα τα μαγνησιοπυριτικά ορυκτά που συγκεντρώθηκαν (π.χ.

νεπουίτη), να είναι αυτά τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη σχέση Ni/Mg, πράγμα που τα καθιστά και βαρύτερα.

Από τις μετρήσεις του βαθμού διαχωρισμού συμπεραίνεται ότι το νικέλιο διαχωρίζεται καλύτερα στην πυκνότητα $2,65\text{gr/cm}^3$ και κατανέμεται στο προϊόν με χαμηλή όμως ανάκτηση, ενώ στις υπόλοιπες πυκνότητες δεν παρουσιάζεται καλός διαχωρισμός και κατανέμεται τότε στο προϊόν και τότε στο απόρριμμα.

Για τα υπόλοιπα στοιχεία παρατηρούμε ότι το Fe_2O_3 κατανέμεται στα βαρύτερα προϊόντα ενώ το CaO , MgO και τα αδιάλυτα στα ελαφρύτερα. Επίσης από τις απόλυτες τιμές του βαθμού διαχωρισμού παρατηρείται ότι ο καλύτερος εμπλουτισμός επιτυγχάνεται σε πυκνότητα $2,65\text{gr/cm}^3$.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω, είναι ότι η μέθοδος των βαρέων υγρών δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά ίσως αν συνδυαστεί κατάλληλα με κάποια άλλη μέθοδο εμπλουτισμού μπορεί να αποδώσει καλύτερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού

7.1 Γενικές αρχές τις μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού

Η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από μη μαγνητικά, στείρα ορυκτά, αλλά και για την απομάκρυνση βλαβερών μαγνητικών ορυκτών από μη μαγνητικά ορυκτά.

Τα υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο αντίδρασης τους, όταν βρεθούν μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο (Σταμπολιάδης, 1993):

- ◆ Τα διαμαγνητικά υλικά, που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και κατευθύνονται προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί.
- ◆ Τα παραμαγνητικά υλικά, που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και κατευθύνονται προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Μία κατηγορία παραμαγνητικών υλικών που η δύναμη έλξης τους από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη, είναι τα σιδηρομαγνητικά υλικά.

Οι μηχανές με τις οποίες επιτυγχάνεται η συνεχής απομάκρυνση των μαγνητικών από τα μη μαγνητικά τεμάχια, λέγονται μαγνητικοί διαχωριστές και περιγράφονται στο παράρτημα Α.Ι.9.

Η επιλογή της μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού έγινε για να διαχωριστούν τα μαγνητικά ορυκτά από τα μη μαγνητικά. Μαγνητική συμπεριφορά εμφανίζουν τα ορυκτά που περιέχουν Fe, όπως αιματίτης και γκαιτίτης, τα οποία περιέχονται στο δείγμα σε αξιόλογες συγκεντρώσεις. Ορυκτά τα οποία δεν εμφανίζουν μαγνητική συμπεριφορά και υπάρχουν στο δείγμα είναι ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας. Ο σερπεντίνης εμφανίζει ελαφρώς μαγνητική συμπεριφορά ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε Fe και Ni. Το νικέλιο παρουσιάζει μαγνητικές ιδιότητες, με

αποτέλεσμα να αναμένεται να εμφανίζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα μαγνητικά προϊόντα.

7.2 Διαδικασία δοκιμών μαγνητικού διαχωρισμού

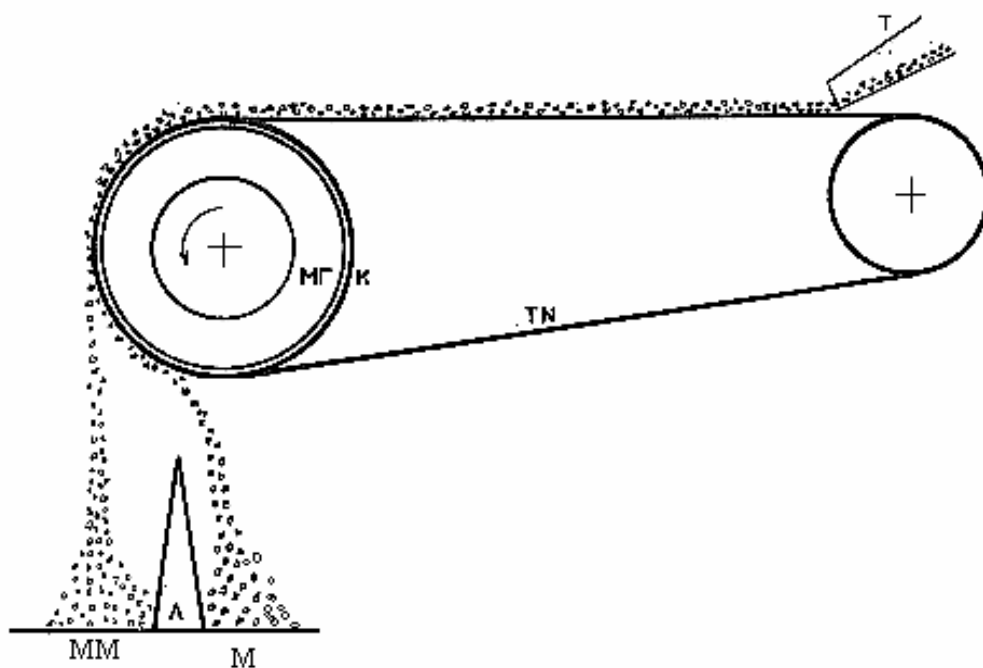
Οι δοκιμές μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν στα κοκκομετρικά κλάσματα (-16+4mm), (-4+1mm) και (-1+0,250mm), τα οποία αποτελούν προϊόντα της υγρής αυτολειοτριβήσης. Οι μαγνητικοί διαχωριστές που χρησιμοποιήθηκαν, είναι ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm-Roll), για τα δύο μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα (σχήμα 7.1) και ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (High-Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH (13) 111-5 της Caprco) (σχήμα 7.2), για το μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα (παράρτημα Α.Ι.10).

Τα μαγνητικά υλικά της τροφοδοσίας έλκονται από το πεδίο που δημιουργεί το μαγνητικό τύμπανο και κολλούν πάνω στην επιφάνεια του, ενώ τα μη μαγνητικά υλικά ακολουθούν πορεία ελεύθερης πτώσης και απομακρύνονται.

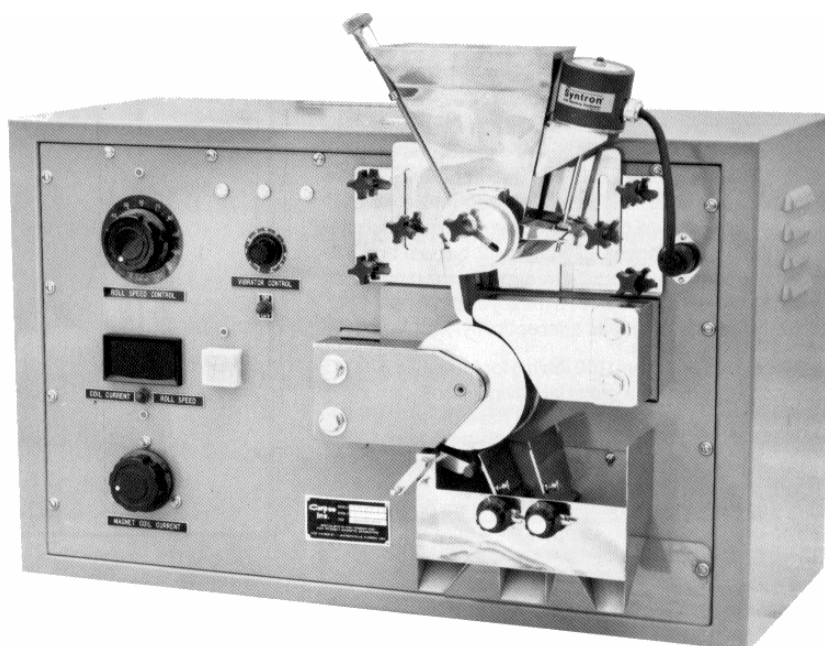
Ο τρόπος διενέργειας των δοκιμών του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα (-16+4mm) είναι ο ακόλουθος (σχήμα 7.3):

Κατ' αρχήν ρυθμίστηκε η θέση της λεπίδας διαχωρισμού στο σημείο 0 και ο ρυθμός τροφοδοσίας του υλικού στον μαγνήτη. Έγινε το πρώτο πέρασμα του υλικού με ταχύτητα περιστροφής του τύμπανου τους 180 rpm. Το μαγνητικό υλικό συλλέγεται για ζύγιση και χημική ανάλυση, ενώ το μη μαγνητικό αποτελεί την τροφοδοσία του δεύτερου περάσματος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με ταχύτητα περιστροφής του τύμπανου τους 130rpm και 100rpm όπου λαμβάνονται τα αντίστοιχα μαγνητικά προϊόντα και το τελικό μη μαγνητικό, στα 100rpm.

Η διαδικασία για το κοκκομετρικό κλάσμα (-4+1mm) είναι παρόμοια με την παραπάνω, με την διαφορά ότι επιλέχθηκαν διαφορετικές ταχύτητες για το τύμπανο (200, 160 και 125rpm). Αυτό έγινε γιατί, λόγω της μικρότερης κοκκομετρίας, έχουμε ισχυρότερη έλξη των μαγνητικών ορυκτών με αποτέλεσμα να πετυχαίνεται διαχωρισμός σε μεγαλύτερες ταχύτητες του τύμπανου.



Σχήμα 7.1: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm-Roll)

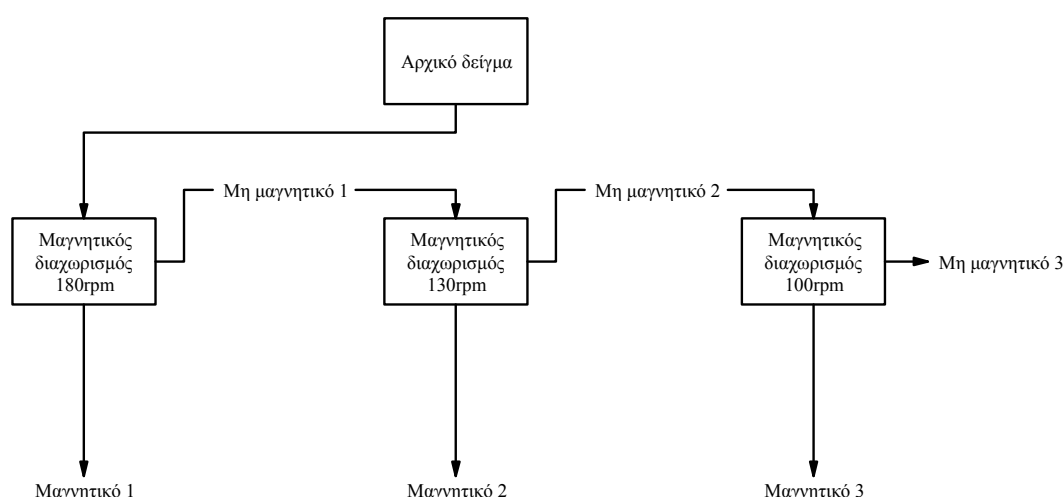


Σχήμα 7.2: Ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης

Ο τρόπος διενέργειας του μαγνητικού διαχωρισμού στο κοκκομετρικό κλάσμα (-1+0,250mm),ο οποίος έγινε σε ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης, είναι ο εξής:

Η λεπίδα διαχωρισμού τοποθετήθηκε στη θέση 3 και η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού τύμπανου στους 100 rpm. Ρυθμίστηκε η ένταση του ρεύματος σε 0,75 amperes και έγινε το πρώτο πέρασμα του υλικού. Το μαγνητικό προϊόν συλλέγεται για ζύγιση και χημική ανάλυση, ενώ το μη μαγνητικό προϊόν ξαναπερνάει σε υψηλότερη ένταση ρεύματος 1,5 amperes. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται στα 3 amperes όπου λαμβάνονται τα αντίστοιχα μαγνητικά προϊόντα και το τελικό μη μαγνητικό.

Στο τέλος των δοκιμών, όλα τα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν για Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1, 7.2 και 7.3. Η σύγκριση της ποιότητας διαχωρισμού που επιτυγχάνεται, γίνεται υπολογίζοντας τον βαθμό διαχωρισμού για το κάθε κλάσμα. Οι τιμές του βαθμού διαχωρισμού παρουσιάζονται στους πίνακες 7.4, 7.5 και 7.6. Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού έγινε και ορυκτολογική εξέταση με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων X (XRD: X-Ray-Diffraction Analysis) και μεταλλογραφικού μικροσκοπίου σε στιλπνές τομές.



Σχήμα 7.3: Διάγραμμα ροής μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα (-16+4mm).

7.3 Κατανομή βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Οι τιμές της κατανομής του βάρους στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού παρουσιάζονται στους πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3. Η γραφική παράσταση της κατανομής του βάρους των προϊόντων του διαχωρισμού για το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα δίνεται στο διάγραμμα 7.1.

Από την γραφική παράσταση παρατηρείται ότι στο κοκκομετρικό κλάσμα $-16+4\text{mm}$, το ποσοστό βάρους του μαγνητικού και του μη μαγνητικού υλικού είναι 54% και 45% αντίστοιχα. Στο κοκκομετρικό κλάσμα $-4 +1\text{mm}$, το ποσοστό του βάρους του μαγνητικού είναι 85%, ενώ του μη μαγνητικού είναι 15%. Στο μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα $(-1 +0,250\text{mm})$ είναι 62% και 38% αντίστοιχα. Η διαφορά στα ποσοστά βάρους ανάμεσα στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα, οφείλεται στο ότι στα μικρότερα μεγέθη κόκκων υπάρχει καλύτερη αποδέσμευση των υπαρχόντων ορυκτών.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm														
ΠΕΡΑΣΜΑ	RPM	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
1	178	Μαγνητικό 1	225	16,16	1,48	29,84	2,45	13,70	36,96	22,78	21,31	4,45	18,03	15,67
2	128	Μαγνητικό 2	340	24,43	1,22	29,64	4,26	13,06	36,04	28,40	31,99	11,67	25,96	23,09
3	100	Μαγνητικό 3	190	13,65	1,20	27,16	6,77	11,49	36,44	15,55	16,38	10,37	12,76	13,05
		Μη Μαγνητικό 3	637	45,76	0,76	15,00	14,31	11,61	40,15	33,27	30,32	73,51	43,25	48,19
ΣΥΝΟΛΟ			1392	100,00	1,05	22,63	8,91	12,28	38,12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μαγνητικό 1	225	16,16	1,48	29,84	2,45	13,70	36,96	22,78	21,31	4,45	18,03	15,67		
Μαγνητικό 2	565	40,59	1,32	29,72	3,54	13,31	36,41	51,18	53,30	16,12	43,99	38,76		
Μαγνητικό 3	755	54,24	1,29	29,08	4,35	12,85	36,41	66,73	69,68	26,49	56,75	51,81		

Πίνακας 7.1.α: Αθροιστικώς μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μη Μαγνητικό 1	1167	83,84	0,97	21,24	10,15	12,01	38,34	77,22	78,69	95,55	81,97	84,33		
Μη Μαγνητικό 2	827	59,41	0,86	17,79	12,57	11,58	39,29	48,82	46,70	83,88	56,01	61,24		
Μη Μαγνητικό 3	637	45,76	0,76	15,00	14,31	11,61	40,15	33,27	30,32	73,51	43,25	48,19		

Πίνακας 7.1.β: Αθροιστικώς μη μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm														
ΠΕΡΑΣΜΑ	RPM	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
1	200	Μαγνητικό 1	372	42,27	1,47	27,91	3,82	12,97	38,70	51,02	50,59	20,83	47,23	41,19
2	160	Μαγνητικό 2	282	32,05	1,28	25,38	6,37	11,85	39,63	33,70	34,87	26,36	32,72	31,97
3	125	Μαγνητικό 3	98	11,14	1,06	21,67	9,09	12,11	39,81	9,68	10,35	13,07	11,62	11,16
		Μη Μαγνητικό 3	128	14,55	0,47	6,72	21,16	6,72	42,80	5,60	4,19	39,75	8,42	15,67
ΣΥΝΟΛΟ			880	100,00	1,22	23,32	7,74	11,61	39,72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μαγνητικό 1	372	42,27	1,47	27,91	3,82	12,97	38,70	51,02	50,59	20,83	47,23	41,19		
Μαγνητικό 2	654	74,32	1,39	26,82	4,92	12,49	39,10	84,72	85,46	47,18	79,95	73,16		
Μαγνητικό 3	752	85,45	1,34	26,15	5,46	12,44	39,20	94,40	95,81	60,25	91,58	84,33		

Πίνακας 7.2.α: Αθροιστικώς μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μη Μαγνητικό 1	508	57,73	1,03	19,96	10,62	10,61	40,46	48,98	49,41	79,17	52,77	58,81		
Μη Μαγνητικό 2	226	25,68	0,72	13,20	15,93	9,06	41,50	15,28	14,54	52,82	20,05	26,84		
Μη Μαγνητικό 3	128	14,55	0,47	6,72	21,16	6,72	42,80	5,60	4,19	39,75	8,42	15,67		

Πίνακας 7.2.β: Αθροιστικώς μη μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm														
ΠΕΡΑΣΜΑ	I Amp	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
1	0,75	Μαγνητικό 1	87	29,79	1,55	26,82	5,10	13,43	40,58	36,23	34,21	14,78	34,46	33,31
2	1,5	Μαγνητικό 2	55	18,84	1,55	34,16	5,26	12,57	30,76	22,83	27,54	9,65	20,39	15,96
3	3,08	Μαγνητικό 3	38	13,01	1,52	33,05	6,09	12,93	31,13	15,49	18,41	7,71	14,49	11,16
		Μη Μαγνητικό 3	112	38,36	0,85	12,08	18,18	9,29	37,46	25,45	19,84	67,86	30,67	39,58
ΣΥΝΟΛΟ			292	100,00	1,28	23,36	10,27	11,61	36,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

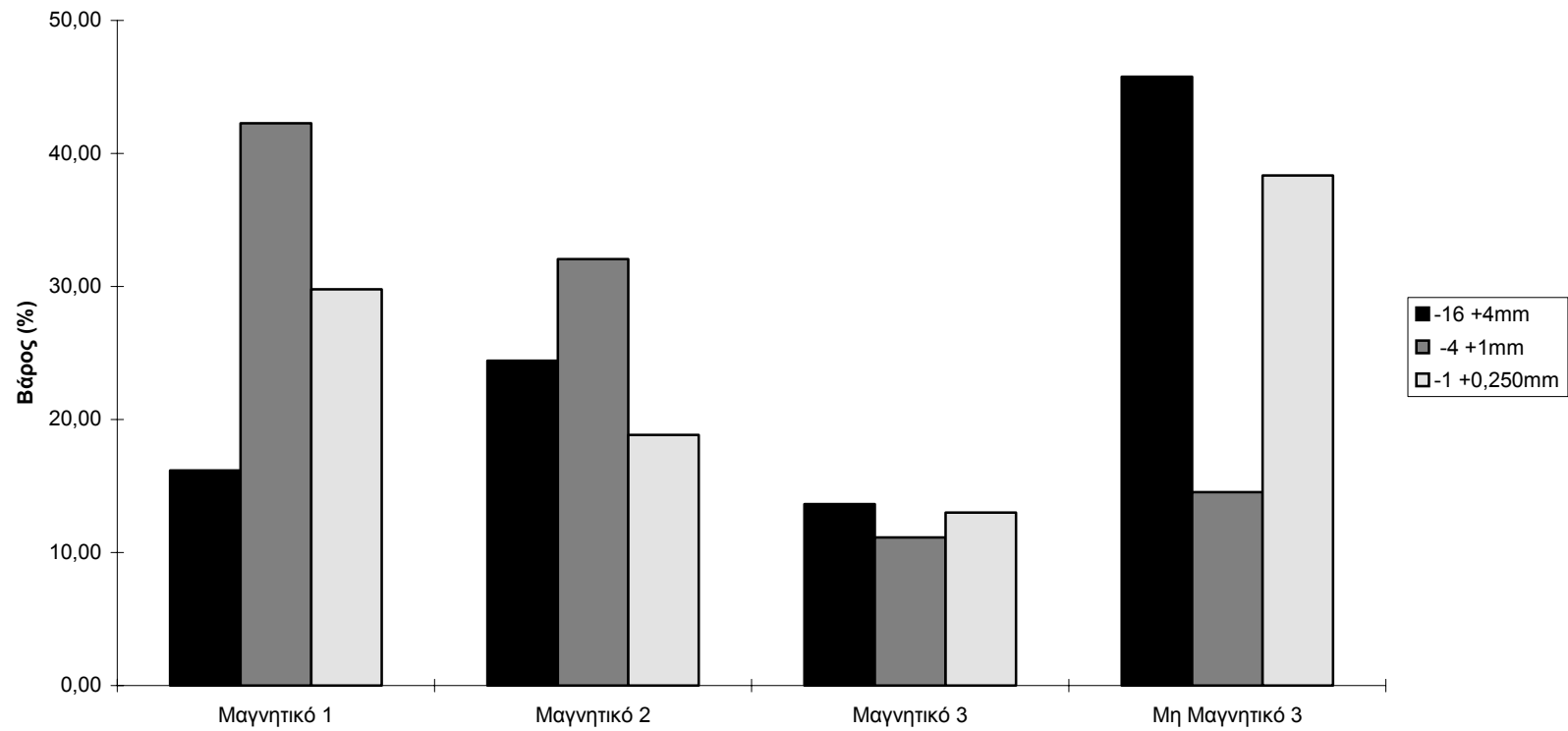
Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm στον μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μαγνητικό 1	87	29,79	1,55	26,82	5,10	13,43	40,58	36,23	34,21	14,78	34,46	33,31		
Μαγνητικό 2	142	48,63	1,55	29,66	5,16	13,10	36,78	59,06	61,75	24,43	54,84	49,27		
Μαγνητικό 3	180	61,64	1,54	30,38	5,36	13,06	35,59	74,55	80,16	32,14	69,33	60,42		

Πίνακας 7.3.α: Αθροιστικώς μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm														
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή		
Μη Μαγνητικό 1	205	70,21	1,16	21,89	12,47	10,84	34,49	63,77	65,79	85,22	65,54	66,69		
Μη Μαγνητικό 2	150	51,37	1,02	17,39	15,12	10,21	35,85	40,94	38,25	75,57	45,16	50,73		
Μη Μαγνητικό 3	112	38,36	0,85	12,08	18,18	9,29	37,46	25,45	19,84	67,86	30,67	39,58		

Πίνακας 7.3.β: Αθροιστικώς μη μαγνητικό για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 7.1: Κατανομή του βάρους (%) των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα

7.4 Περιεκτικότητες των Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Οι περιεκτικότητες των Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτων παρουσιάζονται στους πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3. Από τους πίνακες παρατηρείται ότι τα μαγνητικά προϊόντα είναι πλουσιότερα σε Fe₂O₃ και κυρίως αυτά του πρώτου περάσματος. Το CaO κατανέμεται στο μη μαγνητικό προϊόν ενώ το MgO ελαφρώς στο μαγνητικό. Οι περιεκτικότητες των αδιάλυτων αυξάνεται προς τα μη μαγνητικά προϊόντα. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νικελίου εμφανίζονται στα μαγνητικά προϊόντα.

Από τα στοιχεία των πινάκων 7.1, 7.2 και 7.3 υπολογίζονται το % βάρος, η περιεκτικότητα και η κατανομή των περιεχόμενων στοιχείων στο αθροιστικώς μαγνητικό και αθροιστικώς μη μαγνητικό της κάθε ταχύτητας τύμπανου ή ένταση ρεύματος για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. (πίνακας 7.1.α, 7.1.β, 7.2.α, 7.2.β, 7.3.α, 7.3.β).

Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα του Fe₂O₃ παρουσιάζει σημαντική αύξηση στα μαγνητικά προϊόντα. Στις μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής του μαγνητικού τύμπανου ή στις μικρότερες εντάσεις του ρεύματος για ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης, έχουμε και τις μεγαλύτερες τιμές περιεκτικότητας σε Fe₂O₃ (διάγραμμα 7.2, 7.3, 7.4). Αυτή η συμπεριφορά του Fe₂O₃ είναι παρόμοια και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα στα οποία έγινε η δοκιμή. Τα ορυκτά τα οποία συλλέγονται στα πολύ μαγνητικά προϊόντα είναι κυρίως ο αιματίτης ενώ στα λιγότερο μαγνητικά ο γκαιτίτης και ενδιάμεσοι κόκκοι αιματίτη. Η περιεκτικότητα του Fe₂O₃ ελαττώνεται στα λιγότερο μαγνητικά κλάσματα που συλλέγονται σε μικρότερες ταχύτητες του μαγνητικού τύμπανου ή μεγαλύτερες εντάσεις ρεύματος. Στο κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm η μέγιστη τιμή της περιεκτικότητας του Fe₂O₃ είναι 29,8% στο μαγνητικό προϊόν 1 και η ελάχιστη 15% στο μη μαγνητικό προϊόν. Αντίστοιχα στο κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm 27,9% και 6,7%. Στο κλάσμα -1 +0,250mm η μέγιστη περιεκτικότητα του Fe₂O₃ είναι 34,2% στο μαγνητικό προϊόν 2 και η ελάχιστη 12,1% στο μη μαγνητικό.

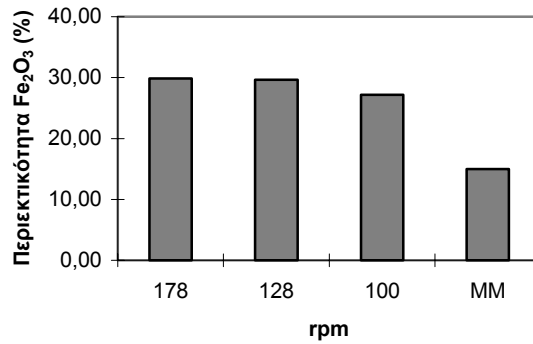
Τα αδιάλυτα παρουσιάζουν μια βαθμιαία αύξηση της περιεκτικότητάς τους καθώς μειώνεται η ταχύτητα του μαγνητικού τύμπανου ή αυξάνεται η ένταση του ρεύματος

του μαγνητικού διαχωριστή υψηλής έντασης (διάγραμμα 7.5, 7.6, 7.7). Τα αδιάλυτα περιέχουν περίπου 85% SiO₂, το οποίο όταν βρίσκεται με την μορφή του χαλαζία οδεύει στο μη μαγνητικό προϊόν. Οι μεγαλύτερες τιμές της περιεκτικότητας των αδιάλυτων είναι 40,1% για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm στο μη μαγνητικό, 42,8% για το -4 +1mm στο μη μαγνητικό και 40,6% για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm στο μαγνητικό προϊόν 1.

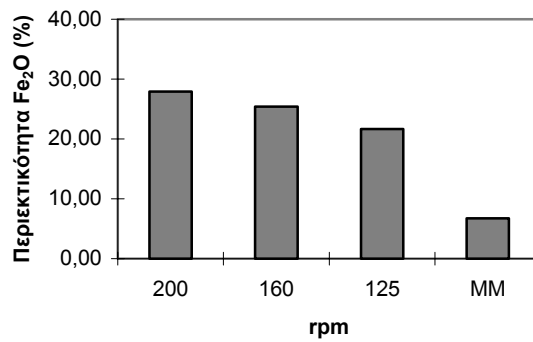
Το CaO εμφανίζει μεγάλες τιμές περιεκτικότητας στο μη μαγνητικό προϊόν και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα (διάγραμμα 7.8, 7.9, 7.10). Αυτό οφείλεται στο ότι το CaO ανήκει κυρίως στον ασβεστίτη ο οποίος δεν είναι μαγνητικό ορυκτό. Οι τιμές των περιεκτικότητων σε CaO στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα στο μη μαγνητικό προϊόν είναι 14,3%, 21,2% και 18,2% στο -16 +4mm, -4 +1mm και -1 +0,250mm αντίστοιχα.

Το MgO κατανέμεται στα μαγνητικά προϊόντα, εμφανίζοντας μια σταδιακή μείωση της περιεκτικότητά του καθώς μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού τύμπανου ή αυξάνεται η ένταση του ρεύματος στον μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης (διάγραμμα 7.11, 7.12, 7.13).

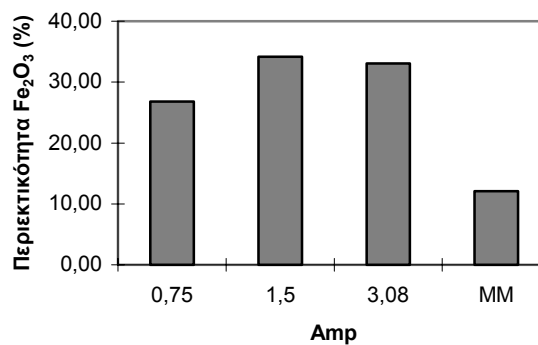
Το νικέλιο κατανέμεται κυρίως στα μαγνητικά προϊόντα. Η περιεκτικότητά του ελαττώνεται καθώς παίρνονται τα λιγότερο μαγνητικά προϊόντα και παίρνει τις μικρότερες τιμές στο μη μαγνητικό προϊόν (διάγραμμα 7.14, 7.15, 7.16). Στο κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm η μέγιστη ανάλυση σε νικέλιο είναι αυτή στο μαγνητικό προϊόν 1 με 1,48% σε Ni και η ελάχιστη αυτή στο μη μαγνητικό προϊόν με 0,76% σε Ni. Για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm αντίστοιχα είναι 1,47% σε Ni στο μαγνητικό προϊόν 1 και 0,47% Ni στο μη μαγνητικό. Στο -1 +0,250mm είναι 1,55% και 0,85% Ni αντίστοιχα. Η μεταβολή της περιεκτικότητας του Ni στο αθροιστικώς μαγνητικό και αθροιστικώς μη μαγνητικό προϊόν για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα παρουσιάζεται στα διαγράμματα 7.17, 7.18 και 7.19.



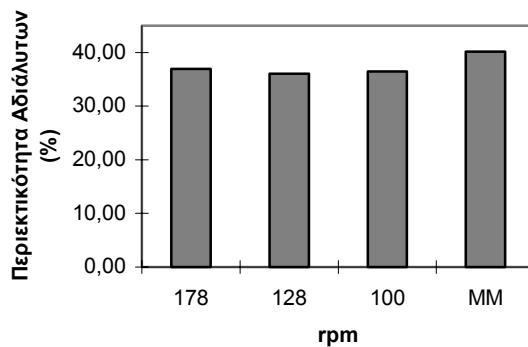
Διάγραμμα 7.2: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



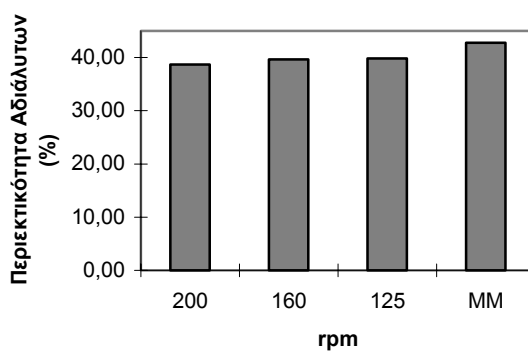
Διάγραμμα 7.3: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



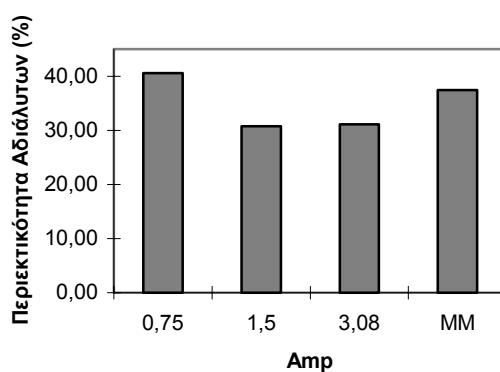
Διάγραμμα 7.4: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



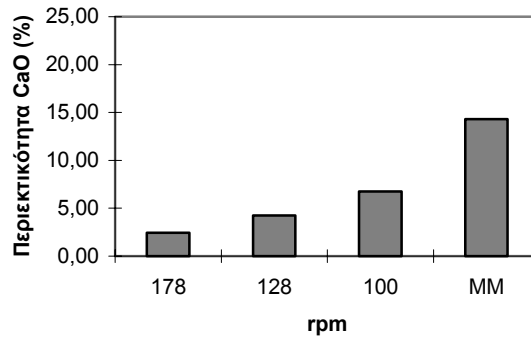
Διάγραμμα 7.5: Περιεκτικότητα Αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



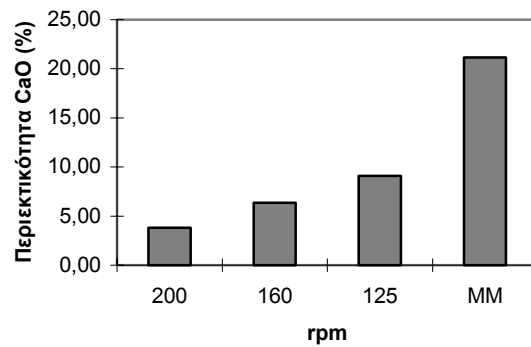
Διάγραμμα 7.6: Περιεκτικότητα Αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



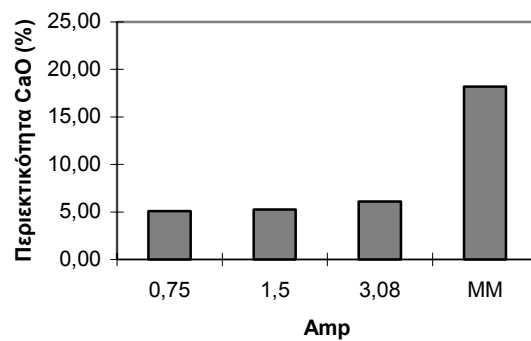
Διάγραμμα 7.7: Περιεκτικότητα Αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



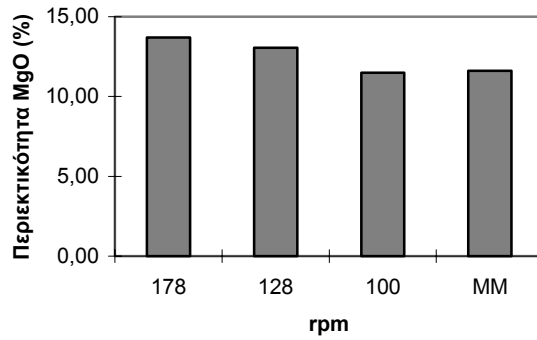
Διάγραμμα 7.8: Περιεκτικότητα CaO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



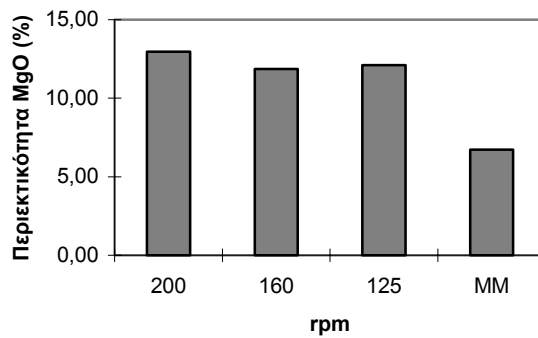
Διάγραμμα 7.9: Περιεκτικότητα CaO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



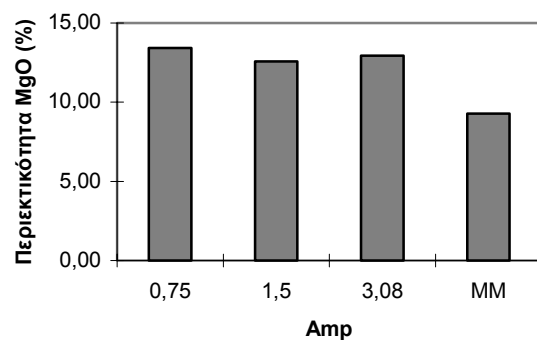
Διάγραμμα 7.10: Περιεκτικότητα CaO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



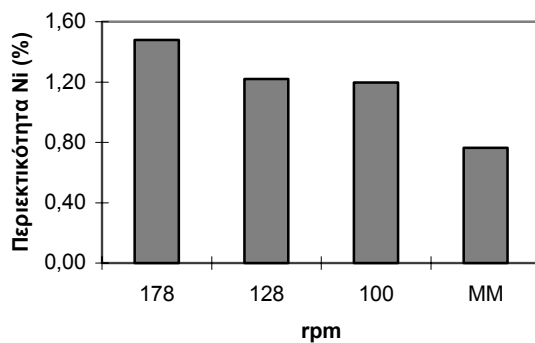
Διάγραμμα 7.11: Περιεκτικότητα MgO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



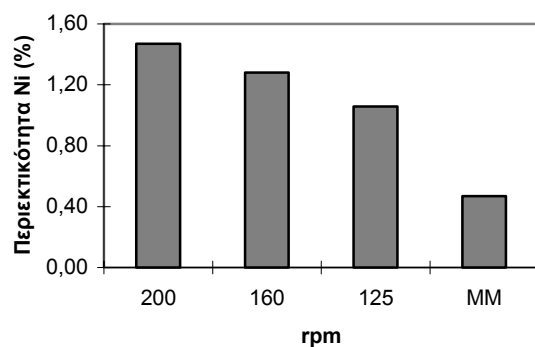
Διάγραμμα 7.12: Περιεκτικότητα MgO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



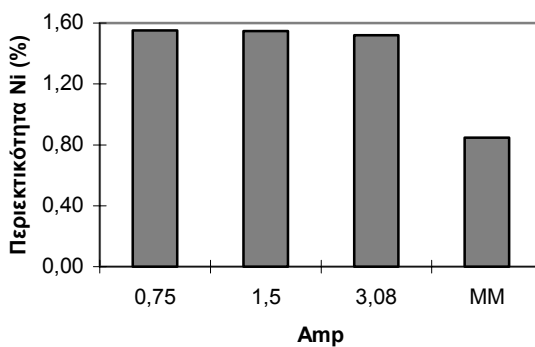
Διάγραμμα 7.13: Περιεκτικότητα MgO στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



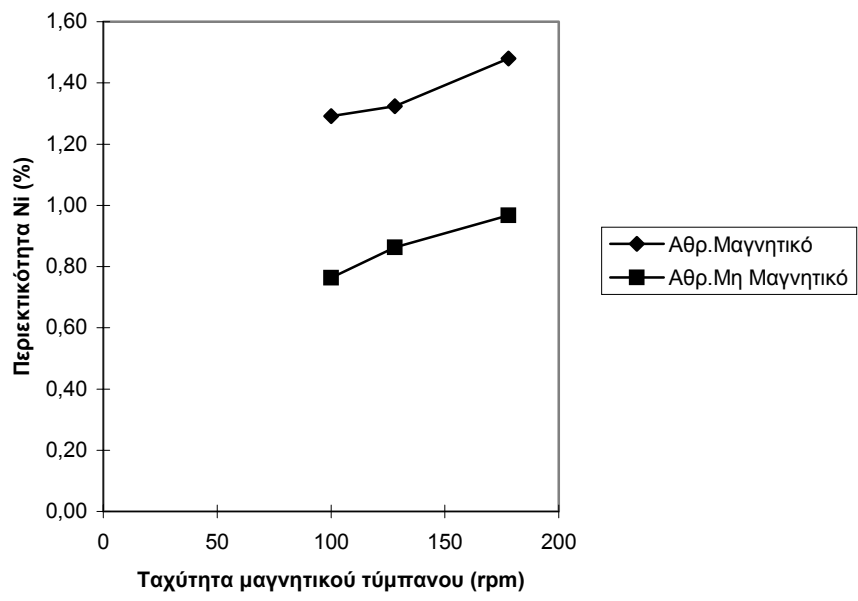
Διάγραμμα 7.14: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm



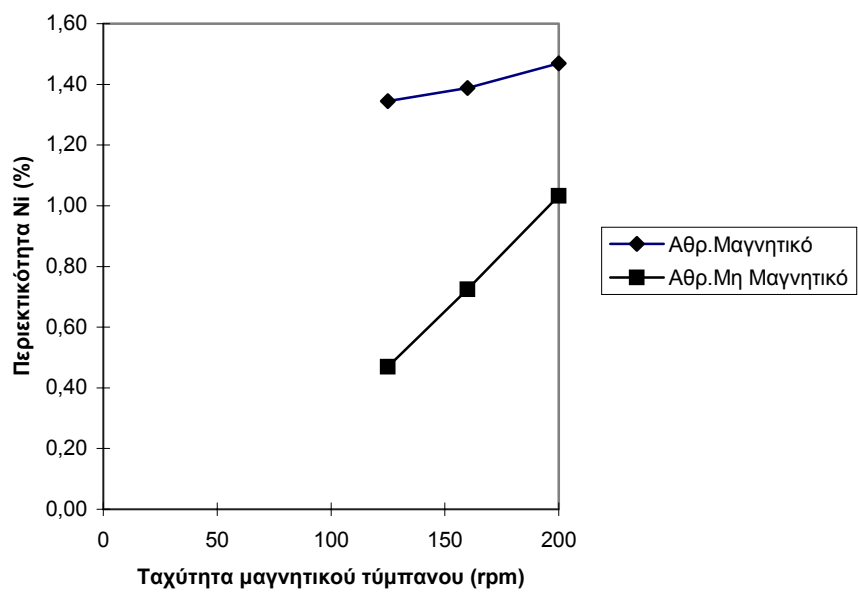
Διάγραμμα 7.15: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm



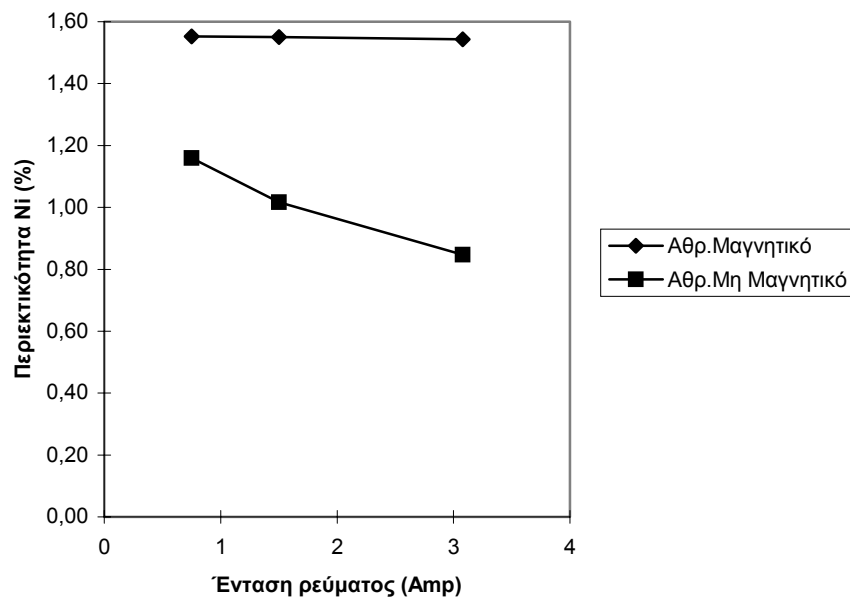
Διάγραμμα 7.16: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 7.17: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς μαγνητικό και μη μαγνητικό, συναρτήσεως της ταχύτητας του μαγνητικού τύμπανου στο κλάσμα -16 +4mm



Διάγραμμα 7.18: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς μαγνητικό και μη μαγνητικό, συναρτήσεως της ταχύτητας του μαγνητικού τύμπανου στο κλάσμα -4 +1mm



Διάγραμμα 7.19: Περιεκτικότητα Ni στο αθροιστικώς μαγνητικό και μη μαγνητικό, συναρτήσει της έντασης του ρεύματος του μαγνητικού διαχωριστή υψηλής έντασης στο κλάσμα -4 +1mm

7.5 Βαθμός διαχωρισμού Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Ο βαθμός διαχωρισμού υπολογίζεται από την σχέση 6 της παραγράφου 5.5.1, όπου το προϊόν θεωρείται το αθροιστικώς μαγνητικό και το απόρριμμα το αθροιστικώς μη μαγνητικό, στην συγκεκριμένη ταχύτητα τύμπανου ή ένταση ρεύματος.

Οι τιμές του βαθμού διαχωρισμού παρουσιάζονται στους πίνακες 7.4, 7.5 και 7.6, ενώ οι γραφικές παραστάσεις αυτού δίνονται στα διαγράμματα 7.20, 7.21 και 7.22.

Ο βαθμός διαχωρισμού του Fe₂O₃ και του MgO, και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα είναι θετικός, άρα κατανέμονται στο μαγνητικό προϊόν. Οι μεγαλύτερες τιμές του βαθμού διαχωρισμού και για τα δύο στοιχεία, παρατηρούνται στο κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm, οι οποίες αυξάνουν όσο μεγαλώνει η ένταση του ρεύματος στον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης, άρα τα δύο στοιχεία διαχωρίζονται καλύτερα στο συγκεκριμένο κλάσμα.

Ο βαθμός διαχωρισμού του CaO και των αδιάλυτων έχει αρνητικό πρόσημο και κατανέμονται στο απόρριμμα (μη μαγνητικό προϊόν). Οι απόλυτες τιμές του βαθμού διαχωρισμού του CaO, είναι αρκετά μεγάλες σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Αυτό σημαίνει ότι το CaO διαχωρίζεται αρκετά καλά με την μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού. Τα αδιάλυτα κατανέμονται στο απόρριμμα εκτός του κοκκομετρικού κλάσματος $-1 +0,250\text{mm}$ όπου στις μικρές εντάσεις του ρεύματος του διαχωριστή οδεύουν στο μαγνητικό προϊόν.

Το Ni παρουσιάζει θετικές τιμές βαθμού διαχωρισμού και κατανέμεται στο μαγνητικό προϊόν. Οι τιμές του βαθμού διαχωρισμού του Ni είναι ικανοποιητικές, με αποτέλεσμα να θεωρείτε καλός ο διαχωρισμός του νικελίου.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -16 +4mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
RPM	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
178	1,48	29,84	2,45	13,70	36,96	0,97	21,24	10,15	12,01	38,34	8,02	6,65	-12,86	2,69	-0,79
128	1,32	29,72	3,54	13,31	36,41	0,86	17,79	12,57	11,58	39,29	12,84	16,43	-26,86	4,91	-2,95
100	1,29	29,08	4,35	12,85	36,41	0,76	15,00	14,31	11,61	40,15	15,14	19,96	-30,46	3,63	-3,93

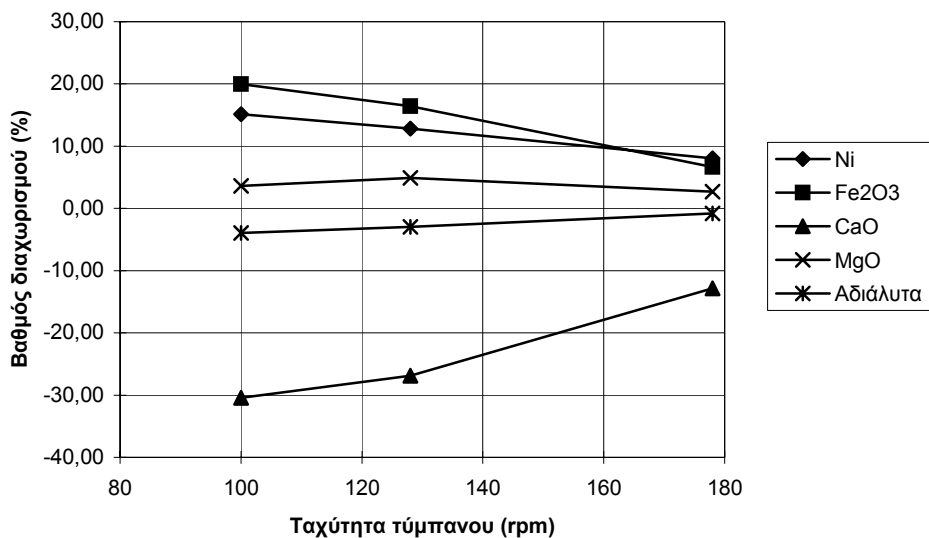
Πίνακας 7.4: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -16 +4mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -4 +1mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
RPM	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
200	1,47	27,91	3,82	12,97	38,70	1,03	19,96	10,62	10,61	40,46	10,97	10,85	-23,25	6,98	-1,80
160	1,39	26,82	4,92	12,49	39,10	0,72	13,20	15,93	9,06	41,50	13,05	14,53	-29,41	7,94	-1,91
125	1,34	26,15	5,46	12,44	39,20	0,47	6,72	21,16	6,72	42,80	11,22	13,51	-27,32	8,62	-1,87

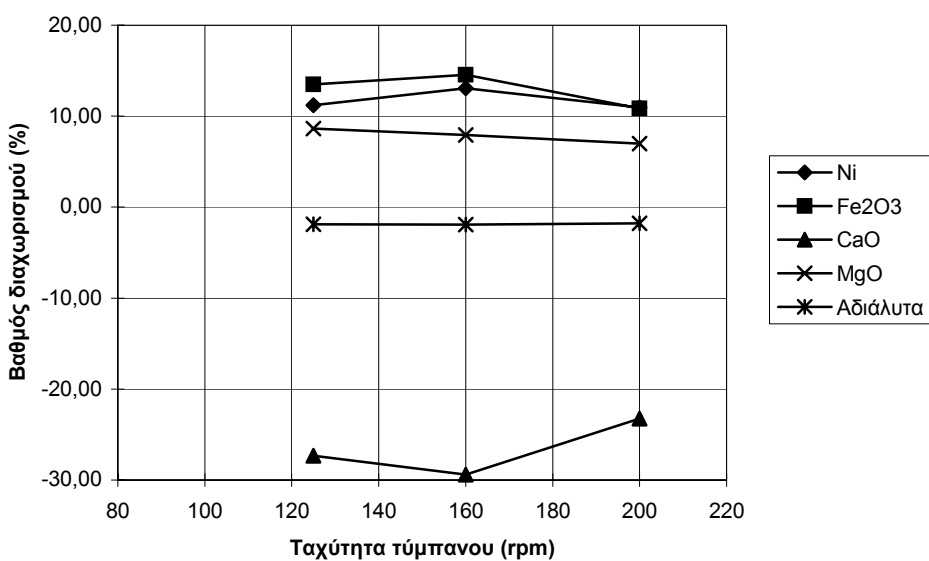
Πίνακας 7.5: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ -1 +0,250mm															
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
I (Amp)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)
0,75	1,55	26,82	5,10	13,43	40,58	1,16	21,89	12,47	10,84	34,49	8,18	5,76	-16,73	6,57	5,51
1,5	1,55	29,66	5,16	13,10	36,78	1,02	17,39	15,12	10,21	35,85	13,25	17,12	-26,97	8,75	1,00
3,08	1,54	30,38	5,36	13,06	35,59	0,85	12,08	18,18	9,29	37,46	16,39	24,17	-32,89	10,83	-1,91

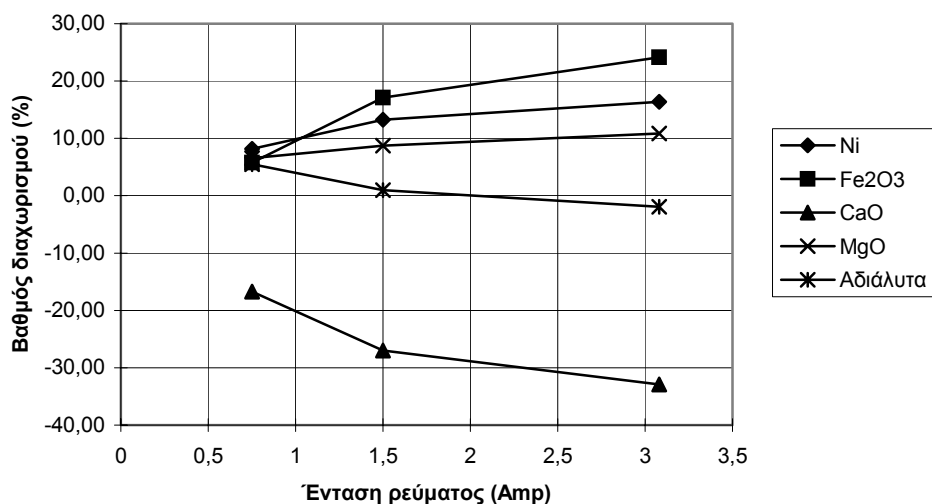
Πίνακας 7.6: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού για το κοκκομετρικό κλάσμα -1 +0,250mm



Διάγραμμα 7.20: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της ταχύτητας του μαγνητικού τύμπανου για το κλάσμα -16 +4mm



Διάγραμμα 7.21: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της ταχύτητας του μαγνητικού τύμπανου για το κλάσμα -4 +1mm



Διάγραμμα 7.22: Βαθμός διαχωρισμού συναρτήσει της έντασης του ρεύματος για το κλάσμα -1 +0,250mm

7.6 Ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού έγινε ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση με την χρήση του περιθλασίμετρου ακτίνων X και του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου.

Ορυκτολογική εξέταση έγινε στο κοκκομετρικό κλάσμα -4 +1mm και τα ακτινοδιαγράμματα παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.ΙΙ.

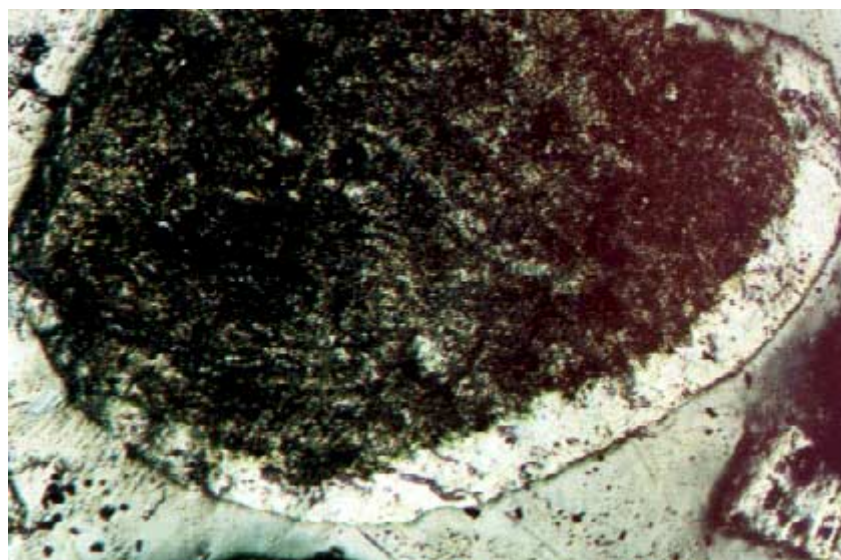
Από τα ακτινοδιαγράμματα παρατηρείται ότι στα περισσότερα μαγνητικά προϊόντα απαντώνται τα σιδηρούχα ορυκτά γκαιτίτης και αιματίτης καθώς και σερπεντίνης, ο οποίος παρουσιάζει ελαφρώς μαγνητικές ιδιότητες, αλλά παρουσιάζονται και τα ορυκτά χαλαζίας και ασβεστίτης τα οποία θεωρούνται μη μαγνητικά. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη αποδέσμευσης των διαφόρων στοιχείων μεταξύ τους. Επίσης, το μέγεθος των κόκκων που χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό είναι πολύ μεγάλο για τη μορφή διασύνδεσης που παρουσιάζουν τα ορυκτά μεταξύ τους.

Στα λιγότερα μαγνητικά προϊόντα μειώνεται ο γκαιτίτης και ο αιματίτης και αυξάνει ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση στο μη

μαγνητικό προϊόν. Ο σερπεντίνης παρουσιάζει μία σταθερή συγκέντρωση σε όλα τα προϊόντα του διαχωρισμού, με μικρότερη αυτή στο μη μαγνητικό προϊόν.

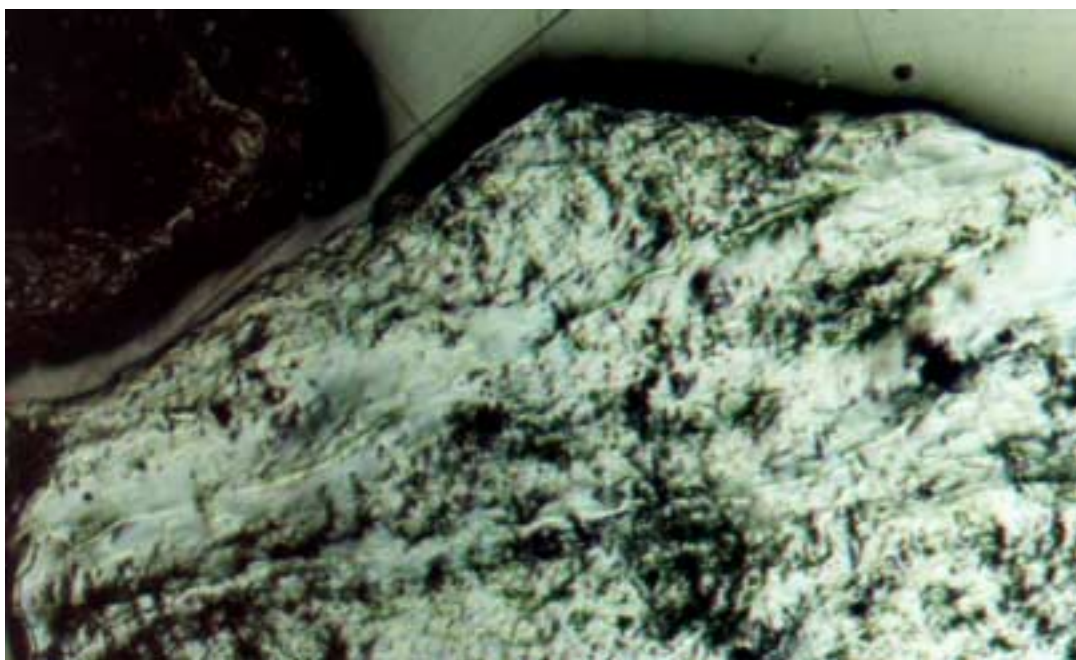
Λόγω της κακής αποδέσμευσης, όλα τα ορυκτά ευρίσκονται σε όλα τα μαγνητικά κλάσματα και διαφέρουν μόνο στο ποσοστό συμμετοχής.

Από την μικροσκοπική εξέταση που έγινε στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού επιβεβαιώθηκε η έλλειψη αποδέσμευσης μεταξύ των ορυκτών. Παρατηρήθηκαν σύμικτοι κόκκοι όπως αυτοί της εικόνα 7.1 και 7.2. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ένας κόκκος σερπεντίνη από το πιο μαγνητικό κλάσμα που περιβάλλεται από γκαιτιτικό υλικό ενώ στην δεύτερη, η οποία είναι από το μαγνητικό 2, παρατηρείται έναν μέρος από κόκκο σερπεντίνη ο οποίος περιέχει γκαιτίτη. Η εικόνα 7.3 είναι από το μαγνητικό προϊόν 2 και φαίνεται ένας μεγάλος κόκκος γκαιτίτη με μεγάλο αριθμό πόρων.



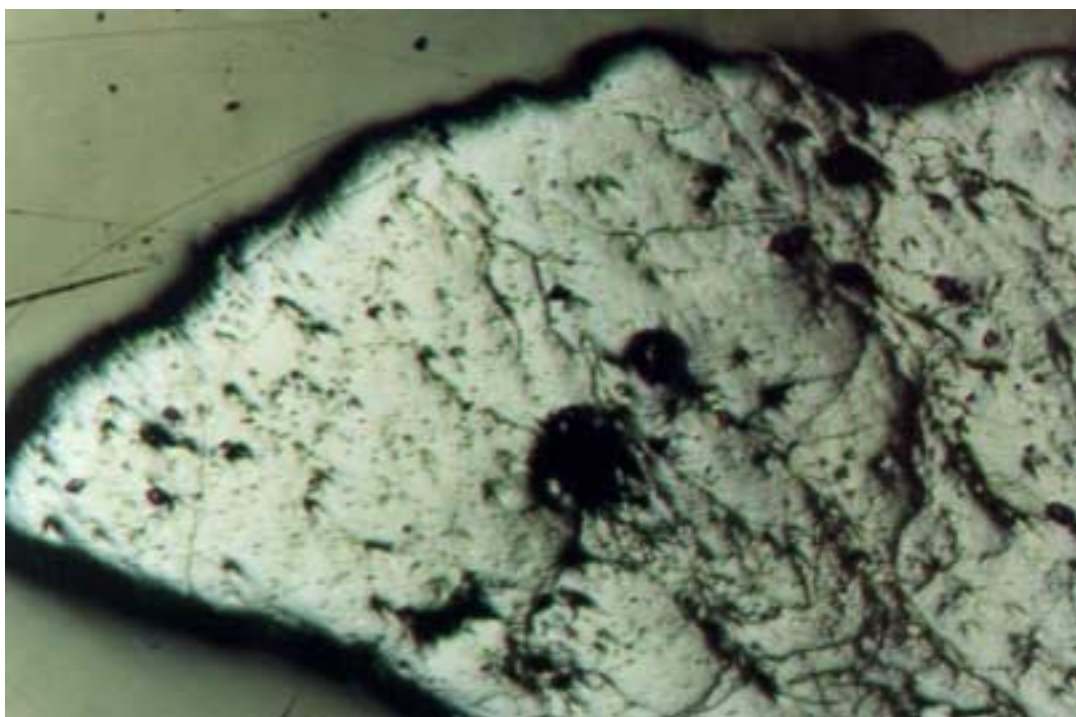
Εικόνα 7.1: Κόκκος σερπεντίνη που περιβάλλεται από γκαιτιτικό υλικό.

Δείγμα Μαγνητικό 1(-4+1mm). Ανακλώμενο φως, // N. Μεγέθυνση x 50.



Εικόνα 7.2: Σύμφυση σερπεντίνη με γκαϊτίτη.

Δείγμα Μαγνητικό 2(-4+1mm). Ανακλώμενο φως, // N. Μεγέθυνση x 50.



Εικόνα 7.3: Κρύσταλλος γκαϊτίτη με μεγάλο αριθμό πόρων.

Δείγμα Μαγνητικό 2(-4+1mm). Ανακλώμενο φως, // N. Μεγέθυνση x 50.

7.7 Συμπεράσματα από τις δοκιμές του μαγνητικού διαχωρισμού

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

Καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού παρουσιάζουν τα μικρότερα κοκκομετρικά μεγέθη και αυτό οφείλεται στο ότι σε αυτά υπάρχει καλύτερη αποδέσμευση των υπαρχόντων ορυκτών. Από τις τιμές του βαθμού διαχωρισμού παρατηρείται ότι το Ni, το Fe_2O_3 και το MgO κατανέμονται στο μαγνητικό προϊόν ενώ το CaO στα μη μαγνητικά. Τα αδιάλυτα κατανέμονται στα μη μαγνητικά για τα δύο μεγαλύτερα κοκκομετρικά κλάσματα και στα μαγνητικά το μικρότερο.

Από την ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού εντοπίστηκε η έλλειψη αποδέσμευσης μεταξύ των ορυκτών και η παρουσία πολλών σύμμεικτων κόκκων, που ίσως οφείλεται στο μεγάλο κοκκομετρικό μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας.

Η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από την μέθοδο των βαρέων υγρών. Ωστόσο αν υπήρχε καλύτερη αποδέσμευση μεταξύ των ορυκτών, η οποία επιτυγχάνεται σε μικρότερα μεγέθη κόκκων, θα προέκυπταν καλύτερα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

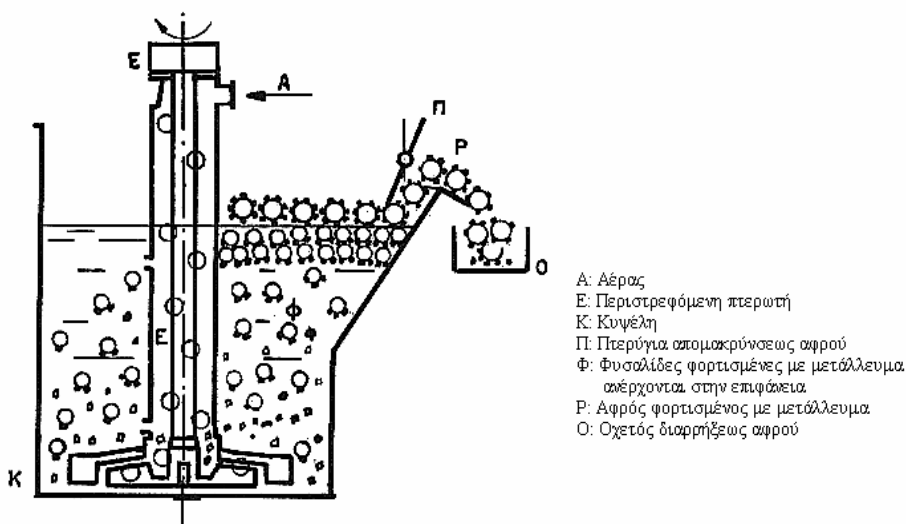
Δοκιμή επίπλευσης

8.1 Βασικές αρχές και περιγραφή λειτουργίας της επίπλευσης

Η επίπλευση αποτελεί μία φυσικοχημική μέθοδο εμπλουτισμού, με την οποία επιδιώκεται η εκλεκτική συγκέντρωση μεταλλεύματος ή ορυκτού και ο διαχωρισμός αυτού από το στείρο με την βοήθεια φυσαλίδων αέρα (Φραγκίσκος, 1979).

Η εκλεκτικότητα των φυσαλίδων να συλλέγουν μόνο τα τεμαχίδια του προς επίπλευση ορυκτού οφείλεται στην υδροφοβία της επιφάνειας αυτού, ενώ το αντίθετο φαινόμενο συνδέεται με την υδροφιλία.

Ο πολφός του μεταλλεύματος μετά την λειοτρίβηση και την σχετική προετοιμασία με κατάλληλα αντιδραστήρια, εισέρχεται στην κυψέλη επίπλευσης. Οι κόκκοι του ορυκτού, που η επιφάνεια τους έχει καταστεί υδρόφοβη, προσκολλώνται στις φυσαλίδες που δημιουργούνται από την εισροή αέρα από τον άξονα του αναδευτήρα, και ανέρχονται στην επιφάνεια υπό την επίδραση της άνωσης. Το επιπλεύσαν υλικό συλλέγεται και απομακρύνεται με την βοήθεια κατάλληλων περυγίων (σχήμα 8.1). Τα μη επιπλεύσαντα τεμαχίδια παραμένουν βυθισμένα μέσα στην κυψέλη, λόγω της υδρόφιλης επιφάνειάς τους, και απομακρύνονται από την απορροή.



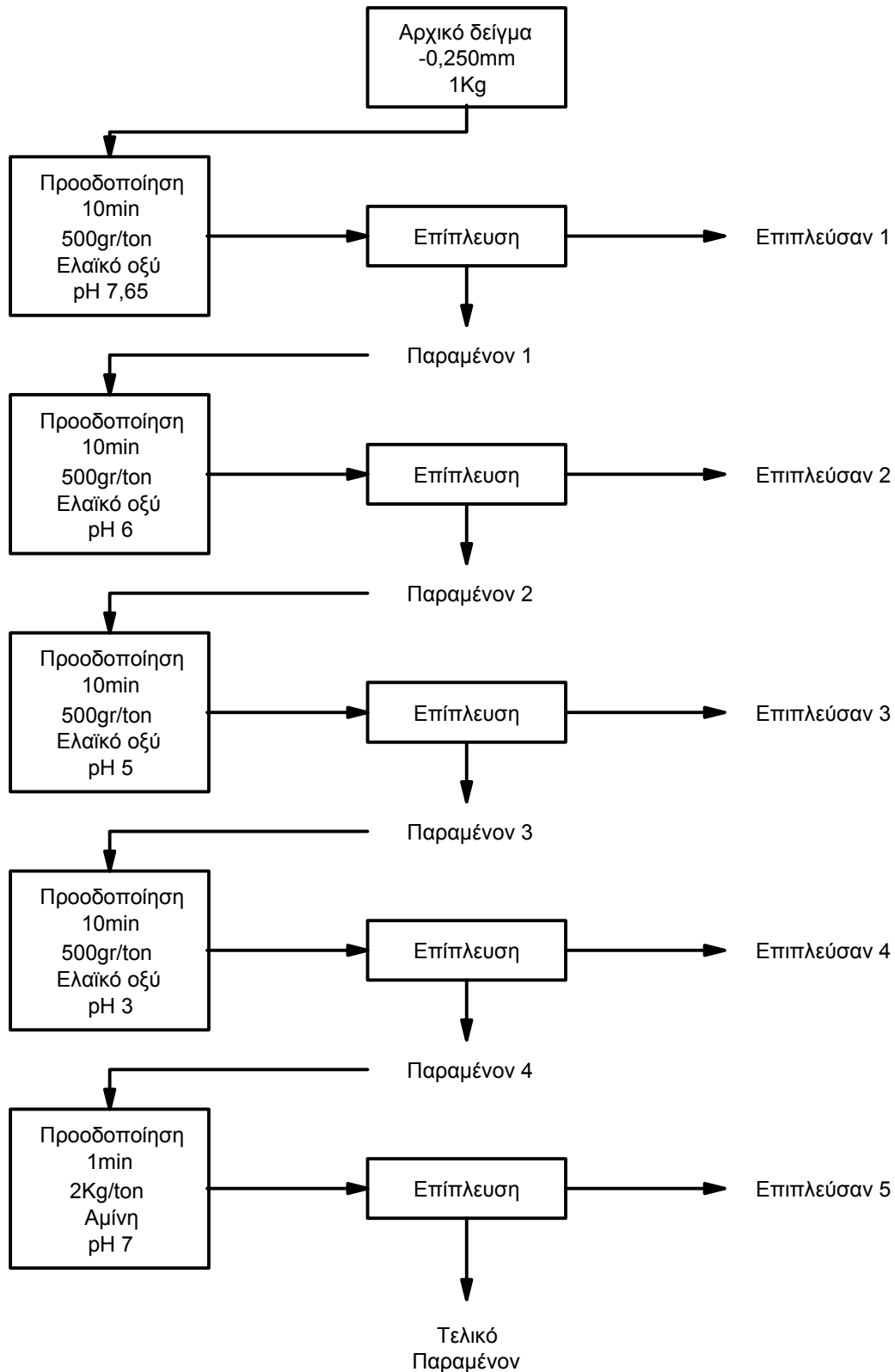
Σχήμα 8.1: Μηχανισμός επίπλευσης (Φραγκίσκος, 1979)

8.2 Διαδικασία επίπλευσης λατερίτη Καστοριάς

Η δοκιμή επίπλευσης έγινε στο προϊόν της αυτολειοτρίβησης με μέγεθος $-0,250\text{mm} +9\mu\text{m}$. Η μέθοδος επιλέχθηκε με σκοπό να επιπλεύσει το ανθρακικό ασβέστιο που υπάρχει στο δείγμα, με την χρήση κατάλληλου αντιδραστηρίου. Οι δοκιμές έγιναν σε διαφορετικές τιμές του pH, έτσι ώστε να ελεγχθεί η συμπεριφορά του Fe κατά την επίπλευση. Επίσης, έγινε προσπάθεια να επιπλεύσει το SiO_2 με επιλογή του κατάλληλου αντιδραστηρίου. Η διεξαγωγή της δοκιμής περιγράφεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Το προϊόν της αυτολειοτρίβησης με μέγεθος $-0,250\text{mm} +9\mu\text{m}$ και βάρος 1Kg τοποθετήθηκε στην κυψέλη επίπλευσης, όγκου 4 λίτρων, η οποία συμπληρώθηκε με νερό 3-4cm κάτω από την υπερχειλίση. Προστέθηκε ως αντιδραστήριο ελαϊκό οξύ, το οποίο καθιστά υδρόφοβο το CaCO_3 , και αναδεύτηκε για 10 min στις 1500rpm, ώστε να γίνει η προοδοποίηση (Conditioning) του πολφού. Προστέθηκαν 2-3 σταγόνες αφροιστικό και άρχισε η επίπλευση ανοίγοντας τον αέρα. Έγινε συλλογή του επιπλεύσαντος απορρίμματος (CaCO_3) και μετρήθηκε ο χρόνος επίπλευσης. Η διαδικασία επαναλήφθηκε σε μικρότερες τιμές του pH του πολφού. Κατά την τελευταία δοκιμή έγινε προσπάθεια επίπλευσης του SiO_2 με αντιδραστήριο διάλυμα 10gr τεταρτοταγούς αμίνης σε 70 ml πετρελαίου Diesel και 3 ml πευκελαίου. Η διαδικασία επίπλευσης παρουσιάζεται στο σχήμα 8.2, και τα αποτελέσματα αυτής

στον πίνακα 8.1. Το επιπλεύσαν 1, 2, 3 και 4 λόγω της μη σημαντικής τους διαφοράς στην ποιότητα και του μικρού βάρους τους, συγκεντρώθηκαν και δημιούργησαν το επιπλεύσαν 1 του πίνακα 8.1. Το επιπλεύσαν 2 του ίδιου πίνακα, είναι αυτό της επίπλευσης που έγινε με αντιδραστήριο την αμίνη και παραμένον το τελικό παραμένον της επίπλευσης. Σε όλα τα προϊόντα της επίπλευσης έγινε χημική ανάλυση για Ni, Fe₂O₃, MgO, CaO και αδιάλυτα.



Σχήμα 8.2: Διαδικασία της δοκιμής επίπλευσης

8.3 Κατανομή του βάρους στα προϊόντα της επίπλευσης

Από τον πίνακα 8.1 παρατηρείται, ότι το υλικό που επίπλευσε με την χρήση ως αντιδραστήριο ελαϊκό οξύ (επιπλεύσαν 1) αποτελεί το 20% περίπου του αρχικού βάρους. Αντίστοιχα το βάρος του επιπλεύσαν 2, όπου χρησιμοποιήθηκε ως αντιδραστήριο μίγμα τεταρτοταγούς αμίνης, πετρελαίου Diesel και πευκελαίου, αντιστοιχεί στο 32,5%. Το τελικό παραμένον προϊόν αποτελεί το 48% του βάρους. Η κατανομή του βάρους των προϊόντων της επίπλευσης δίνονται γραφικά στο διάγραμμα 8.1. Επίσης υπολογίστηκε το αθροιστικώς επιπλεύσαν και παραμένον βάρος της επίπλευσης (πίνακας 8.2 και 8.3).

8.4 Κατανομή των περιεκτικοτήτων του Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα της επίπλευσης

Από την διεξαγωγή της δοκιμής επίπλευσης προέκυψαν τρία προϊόντα: το επιπλεύσαν 1, το επιπλεύσαν 2 και το τελικό παραμένον (πίνακας 8.1). Η πρώτη επίπλευση έγινε με χρήση αντιδραστήριου ελαϊκού οξέος το οποίο καθιστά υδρόφοβο το CaCO₃. Στη δεύτερη επίπλευση χρησιμοποιήθηκε διάλυμα τεταρτοταγούς αμίνης με σκοπό την επίπλευση του SiO₂.

Από τις χημικές αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα της επίπλευσης προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Το Fe₂O₃ κατανέμεται κυρίως στο παραμένον της επίπλευσης, αφού η περιεκτικότητά του στο συγκεκριμένο προϊόν είναι υψηλή, 26%, και η κατανομή του 57%. Επίσης φαίνεται ότι σημαντικό μέρος του Fe₂O₃ κατανέμεται και στο επιπλεύσαν 2. Η συγκέντρωση του Fe₂O₃ στο επιπλεύσαν 1 είναι χαμηλή με 10% σε Fe₂O₃. Γενικά η συμπεριφορά του Fe₂O₃ στην επίπλευση, είναι ότι παραμένει στο παραμένον προϊόν με αντιδραστήριο το ελαϊκό οξύ ενώ με την χρήση της αμίνης ως αντιδραστήριο το Fe₂O₃ παρασύρεται από τα πυριτικά ορυκτά και μέρος αυτού οδηγείται στο επιπλεύσαν. Γραφικά η περιεκτικότητα του Fe₂O₃ στα προϊόντα της επίπλευσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 8.2.

Το CaO φαίνεται ότι κατανέμεται εξ ολοκλήρου στο επιπλεύσαν 1 με συγκέντρωση 32,25% και κατανομή κοντά στο 90%. Στα υπόλοιπα δύο προϊόντα

ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ gr	ΒΑΡΟΣ %	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
Επιλεύσαν 1	190,3	19,36	0,66	10,16	32,25	6,43	21,31	9,25	9,03	87,75	9,00	10,49
Επιλεύσαν 2	319,5	32,50	1,57	22,34	1,18	15,50	44,20	36,72	33,34	5,39	36,43	36,53
Παραμένον	473,3	48,14	1,56	26,07	1,01	15,68	43,26	54,03	57,64	6,86	54,57	52,97
Σύνολο	983,1	100,00	1,39	21,78	7,11	13,83	39,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

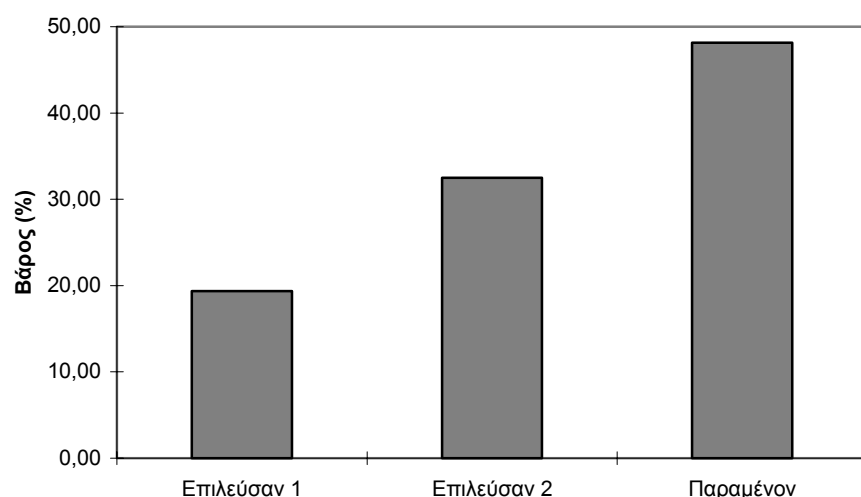
Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα επίπλευσης στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,250mm +9μm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΑΝ												
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ gr	ΒΑΡΟΣ %	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
Επιλεύσαν 1	190,3	19,36	0,66	10,16	32,25	6,43	21,31	9,25	9,03	87,75	9,00	10,49
Επιλεύσαν 2	509,8	51,86	1,23	17,79	12,78	12,12	35,66	45,97	42,36	93,14	45,43	47,03

Πίνακας 8.2: Αθροιστικός επιπλεύσαν της επίπλευσης

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ												
ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ gr	ΒΑΡΟΣ %	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Ni Κατανομή	Fe ₂ O ₃ Κατανομή	CaO Κατανομή	MgO Κατανομή	Αδιάλυτα Κατανομή
Παραμένον 1	792,8	80,64	1,57	24,57	1,08	15,61	43,64	90,75	90,97	12,25	91,00	89,51
Παραμένον 2	473,3	48,14	1,56	26,07	1,01	15,68	43,26	54,03	57,64	6,86	54,57	52,97

Πίνακας 8.3: Αθροιστικός παραμένον της επίπλευσης



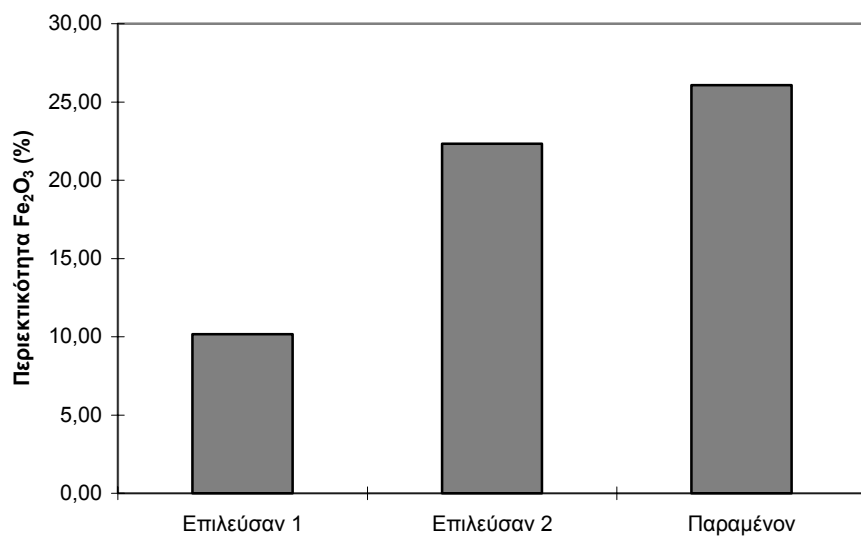
Διάγραμμα 8.1: Κατανομή του βάρους στα προϊόντα της επίπλευσης

παρατηρείται ότι το CaO είναι ελάχιστο περίπου 1%. Από την ανάλυση που έγινε για CaCO₃ στο επιπλεύσαν 1 προέκυψε ότι το συγκεκριμένο προϊόν περιέχει 60% CaCO₃. Η συγκέντρωση του CaO στα προϊόντα της επίπλευσης παρουσιάζεται γραφικά στο διάγραμμα 8.3.

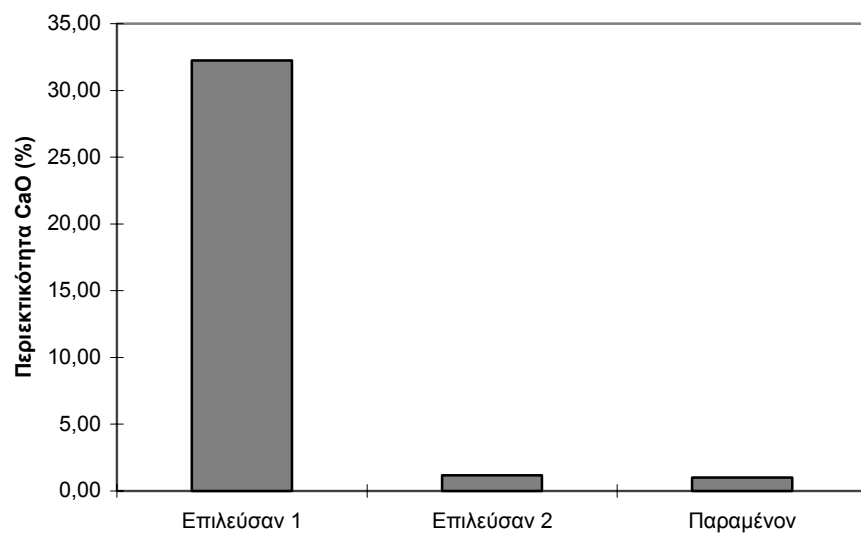
Το MgO και τα αδιάλυτα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του Fe₂O₃. Κατανέμονται κυρίως στο τελικό παραμένον και το επιπλεύσαν 2 (διαγράμματα 8.4, 8.5).

Τέλος, για το Ni παρατηρείται ότι παρέμεινε κατά την πρώτη επίπλευση στο παραμένον προϊόν ενώ στη δεύτερη επίπλευση το 36% του συνολικού νικελίου επέπλευσε και το 54% παρέμεινε στο τελικό παραμένον, με ανάλυση σε νικέλιο 1,57% (διάγραμμα 8.6).

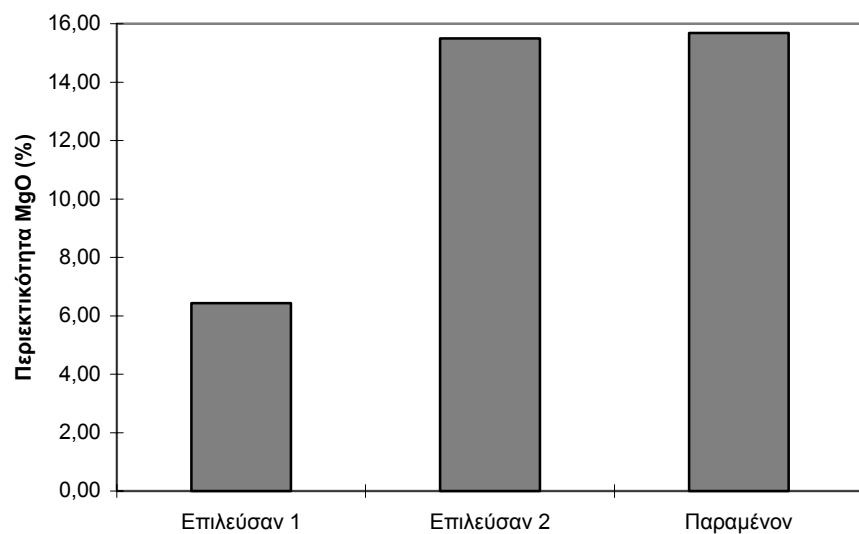
Από τα αποτελέσματα της δοκιμής επίπλευσης συμπεραίνεται ότι η χρήση αντιδραστήριου ελαϊκού οξέος, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα διαχωρισμού ως προς το CaCO₃ το οποίο οδηγείται με την βοήθεια των φυσαλίδων στην υπερχειλίση. Τα υπόλοιπα στοιχεία παραμένουν στο δοχείο της επίπλευσης. Η χρήση της αμίνης ως αντιδραστήριο, δεν απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού δεν παρατηρείται καμία σημαντική μεταβολή στις συγκεντρώσεις των στοιχείων μεταξύ του επιπλεύσαν 2 και του τελικού παραμένοντος.



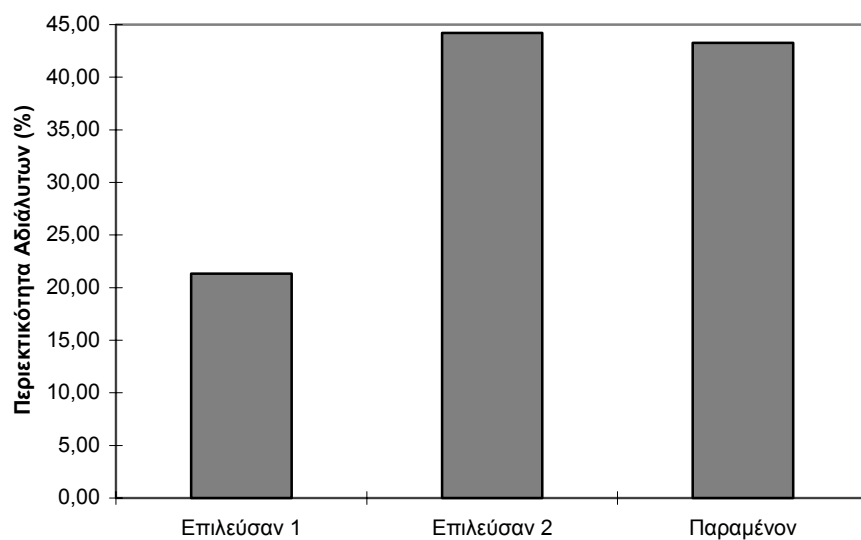
Διάγραμμα 8.2: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ στα προϊόντα της επίπλευσης



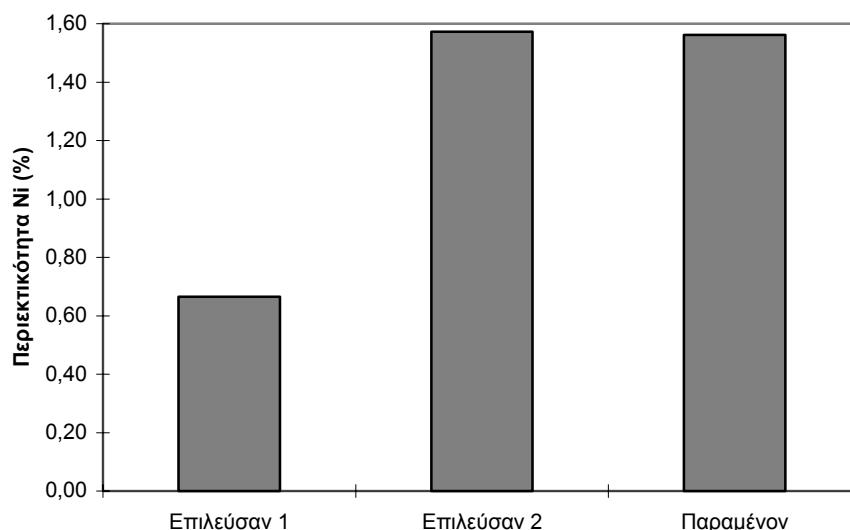
Διάγραμμα 8.3: Περιεκτικότητα CaO στα προϊόντα της επίπλευσης



Διάγραμμα 8.4: Περιεκτικότητα MgO στα προϊόντα της επίπλευσης



Διάγραμμα 8.5: Περιεκτικότητα Αδιάλυτων στα προϊόντα της επίπλευσης



Διάγραμμα 8.6: Περιεκτικότητα Ni στα προϊόντα της επίπλευσης

8.5 Βαθμός διαχωρισμού των Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και αδιάλυτων στα προϊόντα της επίπλευσης

Οι τιμές του βαθμού διαχωρισμού των Ni, Fe₂O₃, CaO, MgO και των αδιάλυτων παρουσιάζονται στον πίνακα 8.4. Ο βαθμός διαχωρισμού υπολογίστηκε από την σχέση 6 της παραγράφου 5.5.1, όπου το προϊόν θεωρείται το αθροιστικώς παραμένον και το απόρριμμα το αθροιστικώς επιπλεύσαν. Οι γραφική παράσταση του βαθμού διαχωρισμού κάθε στοιχείου δίνεται στο διάγραμμα 8.7.

Ο βαθμός διαχωρισμού του Fe₂O₃, MgO και των αδιάλυτων είναι θετικός και κατανέμονται στο παραμένον προϊόν. Καλύτερο διαχωρισμό των στοιχείων έχουμε κατά την πρώτη επίπλευση, όπου σαν αντιδραστήριο χρησιμοποιήθηκε το ελαϊκό οξύ.

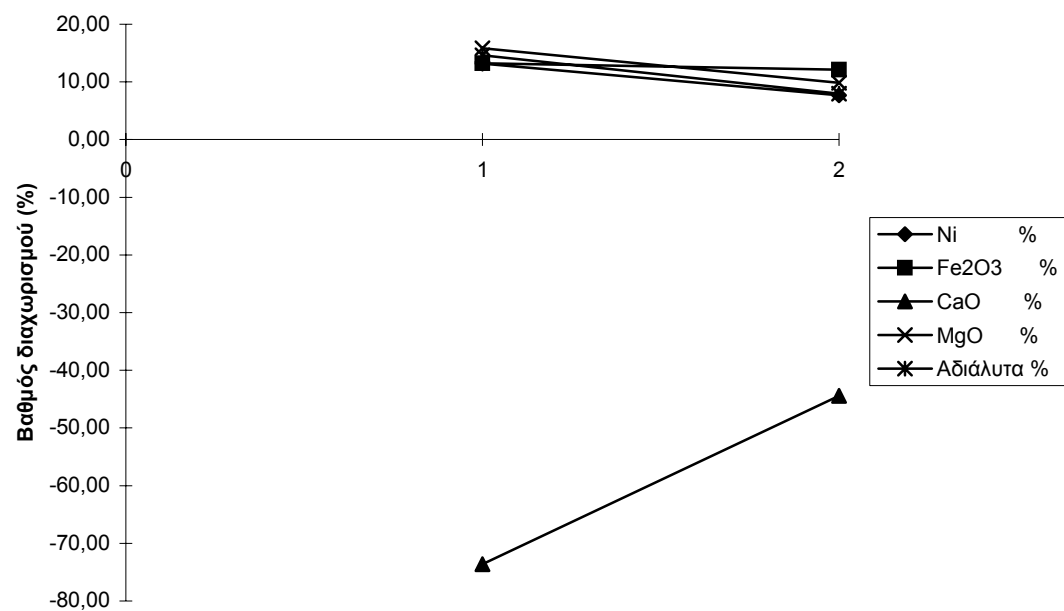
Το CaO κατανέμεται στο απόρριμμα της επίπλευσης αφού ο βαθμός διαχωρισμού είναι αρνητικός. Οι απόλυτες τιμές του βαθμού διαχωρισμού του CaO είναι μεγάλες, κυρίως κατά την πρώτη επίπλευση, το οποίο υποδηλώνει ότι έχουμε πολύ καλό διαχωρισμό του CaO με την μέθοδο της επίπλευσης και χρήση ελαϊκού οξέος ως αντιδραστήριο.

Το νικέλιο κατανέμεται στο προϊόν της επίπλευσης (παραμένον) και διαχωρίζεται καλύτερα με την χρήση ελαϊκού οξέος ως αντιδραστήριο.

Από τις τιμές του βαθμού διαχωρισμού συμπεραίνεται ότι η μέθοδος της επίπλευσης μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα με την χρήση ελαϊκού οξέος ως αντιδραστήριο, κυρίως για την απομάκρυνση του CaCO_3 .

ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ															
Α/Α	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΑΝ					ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ				
	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %	Ni %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Αδιάλυτα %
1	1,57	24,57	1,08	15,61	43,64	0,66	10,16	32,25	6,43	21,31	13,16	13,21	-73,63	15,83	14,61
2	1,56	26,07	1,01	15,68	43,26	1,23	17,79	12,78	12,12	35,66	7,67	12,14	-44,45	9,83	7,96

Πίνακας 8.4: Υπολογισμός βαθμού διαχωρισμού στα προϊόντα της επίπλευσης



Διάγραμμα 8.7: Βαθμός διαχωρισμού των στοιχείων της επίπλευσης

8.6 Ορυκτολογική εξέταση των προϊόντων της επίπλευσης

Στα προϊόντα της επίπλευσης έγινε ορυκτολογική εξέταση με την χρήση του περιθλασίμετρου ακτίνων X, ώστε να διαπιστωθεί η κατανομή των ορυκτών σε κάθε προϊόν. Τα ακτινοδιαγράμματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.Π.

Από τα ακτινοδιαγράμματα παρατηρούμε ότι το επιπλεύσαν 1 κατά κύριο λόγο αποτελείται από ασβεστίτη και περιέχει ελάχιστες ποσότητες χαλαζία, σερπεντίνη καθώς και ίχνη βιλλεμζείτη.

Το επιπλεύσαν 2 και το παραμένον έδωσαν παρόμοια ακτινοδιαγράμματα τα οποία περιείχαν χαλαζία, σερπεντίνη, γκαιτίτη, αιματίτη και ελάχιστο έως καθόλου ασβεστίτη.

8.7 Συμπεράσματα από την δοκιμή της επίπλευσης

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δοκιμή της επίπλευσης συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο ως προς την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου. Χρησιμοποιώντας ως αντιδραστήριο της επίπλευσης, ελαϊκό οξύ, απομακρύνθηκε περίπου το 90% του CaO που υπήρχε στο δείγμα.

Αντίθετα, χρησιμοποιώντας ως αντιδραστήριο την αμίνη, δεν προέκυψε κανένα σημαντικό αποτέλεσμα.

Έτσι, η επίπλευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εμπλουτισμό μεταλλεύματος λατερίτη, για την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Σύνθετες δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη

9.1 Σύνθετες δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων δοκιμών εμπλουτισμού, επιλέχθηκαν μερικοί συνδυασμοί μεθόδων εμπλουτισμού ώστε να πετύχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ανάκτησης νικελίου.

Έγιναν δύο δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη Καστοριάς που συνδυάζουν τις παρακάτω μεθόδους: η μεν πρώτη αυτογενής λειοτρίβηση, κοσκίνηση, θραύση, μαγνητικό διαχωρισμό και επίπλευση, η δε δεύτερη θραύση, λειοτρίβηση σε ραβδόμυλο, υδρομηχανικό εμπλουτισμό σε υδροκυκλώνα και μαγνητικό διαχωρισμό.

Η διαδικασία και τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται παρακάτω.

9.2 Πρώτη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη

Κατά την πρώτη δοκιμή έγινε προσπάθεια εμπλουτισμού λατερίτη από την περιοχή της Καστοριάς με σκοπό την βέλτιστη ανάκτηση νικελίου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

9.2.1 Διαδικασία δοκιμής

Από το αρχικό δείγμα πήραμε 5Kg με κοκκομετρία -16mm. Έγινε αυτολειοτρίβηση του υλικού, προσθέτοντας 2 λίτρα νερό, για 10 λεπτά. Το προϊόν της αυτολειοτρίβησης διαχωρίστηκε σε κόσκινο του 1mm. Το -1mm ζυγίστηκε και αναλύθηκε για Ni, Fe, Ca, Mg και αδιάλυτα. Στο +1mm έγινε μαγνητικός

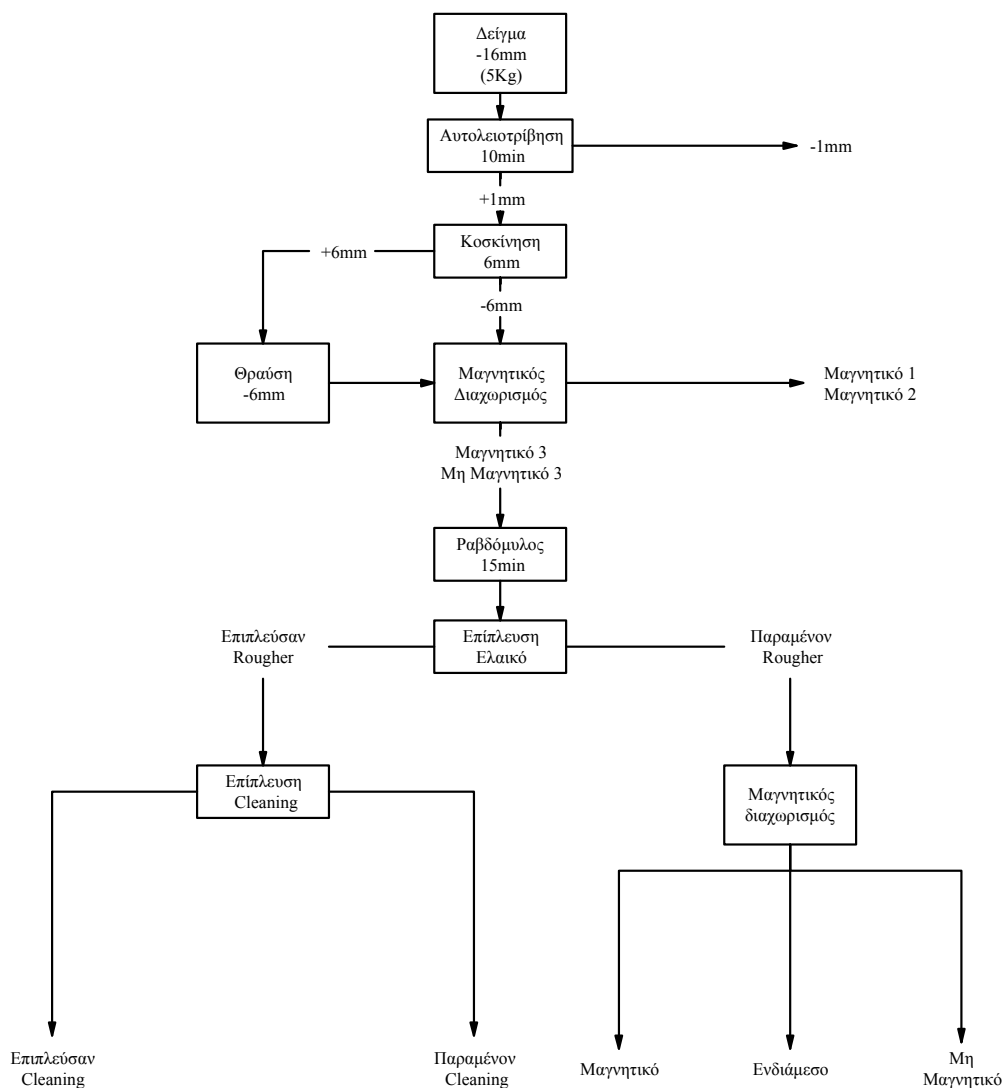
διαχωρισμός αφού πρώτα θραύτηκε και κοσκινήθηκε ώστε να μην έχουμε κόκκους μεγαλύτερους των 6mm, οι οποίοι δεν διαχωρίζονται ικανοποιητικά στον μαγνήτη.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έγινε στον ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή, με ταχύτητα του μαγνητικού τύμπανου τις 190, 160 και 125 rpm, και συλλέχθηκαν αντίστοιχα τα προϊόντα μαγνητικό 1, μαγνητικό 2, μαγνητικό 3 και μη μαγνητικό 3. Το μαγνητικό 1 και το μαγνητικό 2 ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν για Ni, Fe, Ca, Mg και αδιάλυτα. Το μαγνητικό 3 και το μη μαγνητικό 3 αναμίχθηκαν και λειτριβήθηκαν σε ραβδόμυλο για 15 min, ώστε να αποκτήσουν την κατάλληλη κοκκομετρία για υλικό τροφοδοσίας της επίπλευσης.

Η επίπλευση έγινε χρησιμοποιώντας ως αντιδραστήριο ελαϊκό οξύ, αφού από την προηγούμενη δοκιμή επίπλευσης που έγινε παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα απομάκρυνσης του ανθρακικού ασβεστίου. Από την διεξαγωγή της επίπλευσης πήραμε το χονδρομερές (Rougher) παραμένον και το χονδρομερές επιπλεύσαν. Στο επιπλεύσαν έγινε περαιτέρω καθαρισμός με νέα επίπλευση (Cleaning), ώστε να πάρουμε ένα απόρριμμα με την μέγιστη ανάλυση σε ανθρακικό ασβέστιο και με ελάχιστη ανάλυση σε νικέλιο. Από την παραπάνω διαδικασία επίπλευσης προέκυψαν τα εξής προϊόντα: το χονδρομερές παραμένον του Rougher, το παραμένον του Cleaning και το επιπλεύσαν του Cleaning. Όλα τα προϊόντα ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν για Ni, Fe, Ca, Mg και αδιάλυτα. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων διαπιστώθηκε ότι αξιόλογη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου παρέμεινε στο χονδρομερές παραμένον. Έτσι, έγινε κοκκομετρική ανάλυση στα προϊόντα της επίπλευσης, οι οποία έδειξε ότι το υλικό τροφοδοσίας της επίπλευσης περιείχε μεγάλου μεγέθους κόκκους οι οποίοι δεν μπόρεσαν να επιπλεύσουν. Για να απομακρυνθεί το CaCO_3 που υπήρχε στο παραμένον του Rougher, το τελευταίο το περάσαμε από τον μαγνητικό διαχωριστή.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έγινε σε ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης. Η ένταση του ρεύματος ρυθμίστηκε στα 3 Ampere με ταχύτητα μαγνητικού τύμπανου τις 130rpm και την χρήση των δύο λεπίδων διαχωρισμού. Έτσι ελήφθησαν τρία προϊόντα: το μαγνητικό, το ενδιάμεσο και το μη μαγνητικό, τα οποία ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν για Ni, Fe, Ca, Mg και αδιάλυτα.

Η διαδικασία της παραπάνω δοκιμής παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 9.1.



Σχήμα 9.1: Διάγραμμα διεξαγωγής της πρώτης σύνθετης δοκιμής

9.2.2 Αποτελέσματα της πρώτης σύνθετης δοκιμής εμπλουτισμού

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων, κατά τα στάδια της δοκιμής έχει ως εξής:

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 9.1, το προϊόν της αυτολειοτριβήσης διαχωρίστηκε σε δύο κοκκομετρικά κλάσματα: το +1mm και το -1mm. Τα αποτελέσματα του κοκκομετρικού διαχωρισμού παρουσιάζονται στον πίνακα 9.1.

Από τον πίνακα 9.1 παρατηρούμε ότι το κοκκομετρικό κλάσμα +1mm αποτελεί το 62,01% του αρχικού βάρους, έχει ανάλυση 1,21% σε Ni και ανακτούμε το 55,02% του υπάρχοντος νικελίου. Αντίστοιχα, το κοκκομετρικό κλάσμα -1mm αποτελεί το 37,99% του αρχικού βάρους, έχει ανάλυση 1,62% σε νικέλιο και ανάκτηση 44,98%. Επίσης, η ανάλυση της αρχικής τροφής είναι 1,37% σε Ni.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε, ότι το κοκκομετρικό κλάσμα -1mm, με ανάλυση 1,62% σε Ni, μπορεί να θεωρηθεί ως προϊόν και να αποτελέσει την τροφοδοσία περιστροφικής καμίνου, αφού πρώτα γίνει συσσωμάτωση του υλικού σε pellets.

Στο κοκκομετρικό κλάσμα +1mm, το οποίο περιέχει αρκετή ποσότητα νικελίου, έγινε μαγνητικός διαχωρισμός σε ταινιοφόρο μαγνητικό διαχωριστή.

Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού παρουσιάζονται στον πίνακα 9.2. Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι το μαγνητικό 1 και 2 αποτελούν το 35,64% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,46% σε νικέλιο και ανάκτηση 38,02% του υπάρχοντος νικελίου. Αντίστοιχα, το μη μαγνητικό 2 αποτελεί το 26,37% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 0,88% σε Ni. Επίσης, το μη μαγνητικό έχει αυξημένη ανάλυση και κατανομή σε CaO.

Το μαγνητικό 1 και 2 μπορούν να αποτελέσουν προϊόν της δοκιμής αφού παρουσιάζουν αρκετά ικανοποιητική ανάλυση και κατανομή σε νικέλιο.

Το μη μαγνητικό 2, με ανάλυση 0,88% σε Ni και 10,52% σε CaO, αποτέλεσε το υλικό τροφοδοσίας της επίπλευσης.

Τα αποτελέσματα της επίπλευσης του Rougher και του Cleaning παρουσιάζονται στον πίνακα 9.3 και 9.4 αντίστοιχα. Επίσης, στα προϊόντα της επίπλευσης έγινε χημική ανάλυση για CaCO₃. Από τις χημικές αναλύσεις παρατηρούμε ότι το επιπλεύσαν του Cleaning περιέχει 81% CaCO₃ και 0,27% Ni και αποτελεί το 2,81% του αρχικού βάρους. Το παραμένον του Cleaning έχει ανάλυση 1,27% σε Ni και αποτελεί το 2,73% του αρχικού βάρους ενώ το παραμένον του Rougher αποτελεί το 20,63% του αρχικού βάρους με ανάλυση 0,91% σε νικέλιο.

Από τους πίνακες 9.3 και 9.4 παρατηρούμε ότι το 78,22% του βάρους της τροφοδοσίας της επίπλευσης, δεν επέπλευσε και περιέχει αρκετή ποσότητα CaO.

Έγινε κοκκομετρική ανάλυση των προϊόντων της επίπλευσης και διαπιστώθηκε ότι το υλικό τροφοδοσίας της επίπλευσης δεν είχε λειοτριβηθεί ικανοποιητικά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να επιπλεύσουν μόνο τα μικρότερα μεγέθη κόκκων του ανθρακικού ασβεστίου ενώ τα μεγαλύτερα παρέμειναν στο παραμένον του Rougher. Στον πίνακα 9.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης ενώ στο διάγραμμα 9.1 δίνονται οι γραφικές παραστάσεις του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους κάθε προϊόντος της επίπλευσης, συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων.

Το παραμένον του Cleaning έχει αρκετά καλή ανάλυση σε Ni και μπορεί να αποτελέσει προϊόν της δοκιμής. Αντίθετα, το επιπλεύσαν του Cleaning αποτελεί ένα πολύ ικανοποιητικό απόρριμμα. Η παρουσία του νικελίου στο παραμένον του Cleaning μπορεί να οφείλεται στο ότι κατά την επίπλευση του Rougher, το πολύ ψιλό υλικό το οποίο περιέχει νικέλιο παρασύρθηκε από τις φυσαλίδες αέρος και επέπλευσε. Όμως κατά την επίπλευση του Cleaning, όπου η επίπλευση είναι πιο ήπια, το ψιλό υλικό παρέμεινε στην κυψέλη επίπλευσης.

Στο παραμένον του Rougher, επιλέχθηκε να γίνει μαγνητικός διαχωρισμός στον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης, από το να λειοτριβηθεί περισσότερο και να γίνει μία επιπλέον επίπλευση. Αυτό έγινε γιατί θέλουμε να αποφύγουμε το πολύ ψιλό υλικό που θα προέκυπτε από την λειοτρίβηση.

Κοκκομετρικό κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
+1	62,01	62,01	1,21	26,64	6,30	12,05	36,57	55,02	66,48	65,21	57,24	61,77
-1	37,99	37,99	1,62	21,92	5,49	14,69	36,94	44,98	33,52	34,79	42,76	38,23
Σύνολο	100,00	100,00	1,37	24,84	5,99	13,05	36,71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 9.1: Αποτελέσματα του κοκκομετρικού διαχωρισμού στο προϊόν της αυτολειοτριβήσης

Μαγνητικό κλάσμα	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Μαγνητικό 1+2	57,47	35,64	1,46	30,15	3,18	13,42	34,88	38,02	43,25	18,92	36,66	33,86
Μη Μαγνητικό 2	42,53	26,37	0,88	21,89	10,52	10,18	38,85	17,00	23,24	46,29	20,58	27,91
Σύνολο	100,00	62,01	1,21	26,64	6,30	12,05	36,57	55,02	66,48	65,21	57,24	61,77

Πίνακας 9.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού του κοκκομετρικού κλάσματος +1mm

Προϊόν Επίπλευσης Rougher	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Επιπλεύσαν Rougher	21,78	5,74	0,78	12,15	27,04	8,04	21,47	3,28	2,81	25,91	3,54	3,36
Παραμένον Rougher	78,22	20,63	0,91	24,60	5,92	10,78	43,69	13,72	20,43	20,37	17,04	24,55
Σύνολο	100,00	26,37	0,88	21,89	10,52	10,18	38,85	17,00	23,24	46,29	20,58	27,91

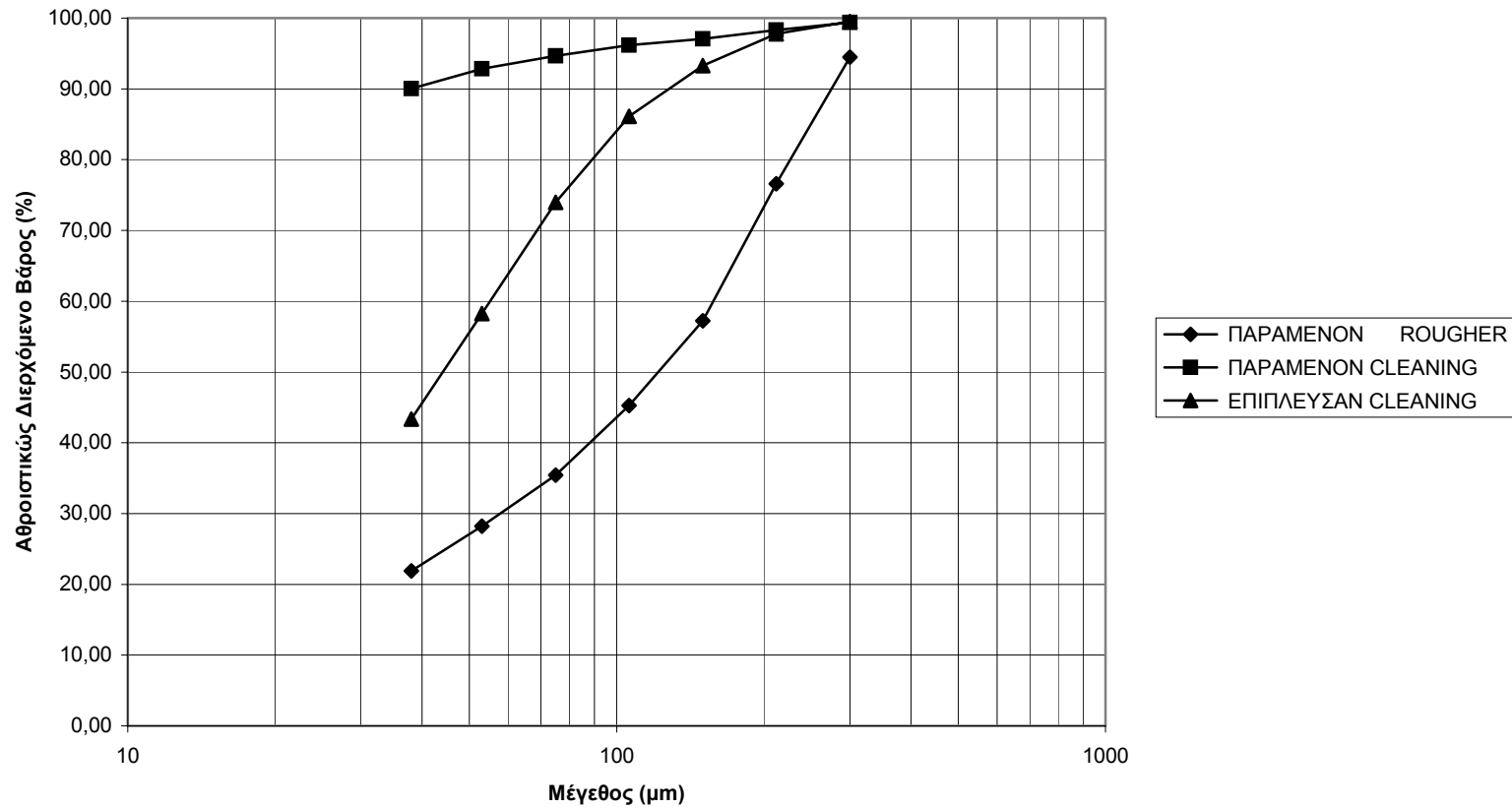
Πίνακας 9.3: Αποτελέσματα της επίπλευσης Rougher του μη μαγνητικού 2

Προϊόν Επίπλευσης Cleaning	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Επιπλεύσαν Cleaning	48,98	2,81	0,27	4,19	45,34	2,73	5,75	0,56	0,47	21,28	0,59	0,44
Παραμένον Cleaning	51,02	2,93	1,27	19,79	9,48	13,13	36,57	2,72	2,33	4,63	2,95	2,92
Σύνολο	100,00	5,74	0,78	12,15	27,04	8,04	21,47	3,28	2,81	25,91	3,54	3,36

Πίνακας 9.4: Αποτελέσματα της επίπλευσης Cleaning

ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ ROUGHER				ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ CLEANING				ΕΠΙΠΛΕΥΣΑΝ CLEANING			
Μέγεθος (μm)	Βάρος (%)	Αθροιστικώς Διερχόμενο Βάρος (%)	Αθροιστικώς Παραμένον Βάρος (%)	Μέγεθος (μm)	Βάρος (%)	Αθροιστικώς Διερχόμενο Βάρος (%)	Αθροιστικώς Παραμένον Βάρος (%)	Μέγεθος (μm)	Βάρος (%)	Αθροιστικώς Διερχόμενο Βάρος (%)	Αθροιστικώς Παραμένον Βάρος (%)
300	5,52	94,48	5,52	300	0,60	99,40	0,60	300	0,50	99,50	0,50
212	17,87	76,61	23,39	212	1,11	98,29	1,71	212	1,71	97,79	2,21
150	19,38	57,23	42,77	150	1,21	97,08	2,92	150	4,53	93,26	6,74
106	11,95	45,28	54,72	106	0,91	96,18	3,82	106	7,14	86,12	13,88
75	9,84	35,44	64,56	75	1,51	94,67	5,33	75	12,17	73,94	26,06
53	7,23	28,21	71,79	53	1,81	92,86	7,14	53	15,69	58,25	41,75
38	6,33	21,89	78,11	38	2,82	90,04	9,96	38	14,89	43,36	56,64
-38	21,89			-38	90,04			-38	43,36	0,00	100,00
Σύνολο	100,00			Σύνολο	100,00			Σύνολο	100,00		

Πίνακας 9.5: Κοκκομετρικές αναλύσεις των προϊόντων της επίπλευσης



Διάγραμμα 9.1: Γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους, συναρτήσεως του μέγεθους των κόκκων για τα προϊόντα της επίπλευσης

Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού του παραμένον του Rougher παρουσιάζονται στον πίνακα 9.6. Με τον μαγνητικό διαχωρισμό πήραμε ένα μαγνητικό, ένα ενδιάμεσο και ένα μη μαγνητικό προϊόν. Το μαγνητικό προϊόν αποτελεί το 8,96% του αρχικού βάρους με ανάλυση 1,28% σε Ni και ανάκτηση το 8,36% του αρχικού νικελίου ενώ το ενδιάμεσο προϊόν αποτελεί το 7,43% του αρχικού βάρους με ανάλυση 0,91% σε Ni. Το μη μαγνητικό προϊόν περιέχει ελάχιστο νικέλιο 0,14% και αποτελεί το 4,24% του αρχικού βάρους.

Το μαγνητικό προϊόν μπορεί να αποτελέσει προϊόν της δοκιμής αφού έχει σημαντική ανάλυση σε Ni. Αντίθετα το μη μαγνητικό προϊόν, αποτελεί ένα πολύ ικανοποιητικό απόρριμμα. Το ενδιάμεσο προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού, λόγω στο ότι έχει ανάλυση 0,91% σε νικέλιο, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως προϊόν της δοκιμής αλλά ούτε και σαν απόρριμμα. Κάλιιστα, μπορεί να αποτελέσει το ενδιάμεσο προϊόν της δοκιμής και να ανακυκλώνεται σε κάποιο από τα στάδια εμπλουτισμού της δοκιμής.

9.2.3 Εμπλουτισμός κατά την πρώτη σύνθετη δοκιμή

Από την διεξαγωγή της πρώτης δοκιμής εμπλουτισμού λατερίτη προέκυψε ένα συμπύκνωμα νικελίου, ένα απόρριμμα και ένα ενδιάμεσο προϊόν.

Ως συμπύκνωμα θεωρήθηκε το υλικό που αποτελείται από το κοκκομετρικό κλάσμα - 1mm του κοκκομετρικού διαχωρισμού του προϊόντος της αυτολειοτριβήσης, το μαγνητικό 1 και 2 του μαγνητικού διαχωρισμού του κλάσματος +1mm, το παραμένον της επίπλευσης του Cleaning και το μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού του παραμένοντος του Rougher.

Ως απόρριμμα θεωρήθηκε το επιπλεύσαν του Cleaning και το μη μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού του παραμένοντος του Rougher.

Επίσης, ως ενδιάμεσο προϊόν θεωρήθηκε το ενδιάμεσο προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού του παραμένοντος του Rougher.

Από την σύνθεση όλων των παραπάνω προϊόντων προέκυψαν οι τιμές των πινάκων 9.7, 9.8 και 9.9, όπου παρουσιάζουν το βάρος, τις αναλύσεις και την κατανομή των

στοιχείων στο συμπύκνωμα, στο απόρριμμα και στο ενδιάμεσο προϊόν της πρώτης δοκιμής αντίστοιχα.

Από τις τιμές του πίνακα 9.7 παρατηρούμε ότι από ένα μέταλλευμα λατερίτη με χημική ανάλυση 1,37% σε Ni, 24,84% σε Fe₂O₃, 5,99% σε CaO, 13,05% σε MgO και 36,71% σε αδιάλυτα, παίρνουμε ένα τελικό προϊόν που αποτελεί το 85,52% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,51% σε Ni, 26% σε Fe₂O₃, 4,2% σε CaO, 14,03% σε MgO, 36,18% σε αδιάλυτα και ανακτούμε το 94,08% του υπάρχοντος νικελίου.

Από τον πίνακα 9.8 παρατηρούμε ότι το υλικό το οποίο απορρίπτεται ως απόρριμμα αποτελεί το 7,05% του αρχικού βάρους, έχει ανάλυση 0,19% σε Ni, 13,42% σε Fe₂O₃, 29,86% σε CaO, 2,48% σε MgO, 36,54% σε αδιάλυτα και χάνουμε μόνο το 1% του υπάρχοντος νικελίου.

Τέλος, το ενδιάμεσο προϊόν της δοκιμής αποτελεί το 7,43% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 0,91% σε Ni, 22,36% σε Fe₂O₃, 3,97% σε CaO, 11,8% σε MgO, 42,99% σε αδιάλυτα και περιέχει 4,93% του υπάρχοντος νικελίου. Το συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να ανακυκλώνεται σε κάποιο από τα στάδια του εμπλουτισμού (πίνακας 9.9).

Προϊόν Μαγνητικού Διαχωρισμού	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Μαγνητικό	43,43	8,96	1,28	28,86	1,07	13,95	37,99	8,36	10,41	1,60	9,57	9,27
Ενδιάμεσο	36,01	7,43	0,91	22,36	3,97	11,80	42,99	4,93	6,68	4,92	6,71	8,70
Μη Μαγνητικό	20,56	4,24	0,14	19,54	19,59	2,32	56,96	0,43	3,34	13,86	0,75	6,58
Σύνολο	100,00	20,63	0,91	24,60	5,92	10,78	43,69	13,72	20,43	20,37	17,04	24,55

Πίνακας 9.6: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού στο παραμένον του Rougher

Προϊόν Συμπυκνώματος	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
-1	37,99	37,99	1,62	21,92	5,49	14,69	36,94	44,98	33,52	34,79	42,76	38,23
Μαγνητικό 1+2	57,47	35,64	1,46	30,15	3,18	13,42	34,88	38,02	43,25	18,92	36,66	33,86
Μαγνητικό	43,43	8,96	1,28	28,86	1,07	13,95	37,99	8,36	10,41	1,60	9,57	9,27
Παραμένον Cleaning	51,02	2,93	1,27	19,79	9,48	13,13	36,57	2,72	2,33	4,63	2,95	2,92
Σύνολο		85,52	1,51	26,00	4,20	14,03	36,18	94,08	89,51	59,95	91,94	84,28

Πίνακας 9.7: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο συμπύκνωμα

Προϊόν Απορρίμματος	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Επιπλεύσαν Cleaning	48,98	2,81	0,27	4,19	45,34	2,73	5,75	0,56	0,47	21,28	0,59	0,44
Μη Μαγνητικό	20,56	4,24	0,14	19,54	19,59	2,32	56,96	0,43	3,34	13,86	0,75	6,58
Σύνολο		7,05	0,19	13,42	29,86	2,48	36,54	0,99	3,81	35,13	1,34	7,02

Πίνακας 9.8: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο απόρριμμα

Προϊόν Ενδιάμεσου	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Ενδιάμεσο	36,01	7,43	0,91	22,36	3,97	11,80	42,99	4,93	6,68	4,92	6,71	8,70
Σύνολο		7,43	0,91	22,36	3,97	11,80	42,99	4,93	6,68	4,92	6,71	8,70

Πίνακας 9.9: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο ενδιάμεσο προϊόν

9.2.4 Συμπεράσματα από την πρώτη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη

Η δοκιμή που έγινε ώστε να εμπλουτιστεί μετάλλευμα λατερίτη από την περιοχή της Καστοριάς έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το νικέλιο από την συγκέντρωση 1,37% που είχε στο αρχικό δείγμα, έφτασε στο 1,51% στο συμπύκνωμα με αρκετά καλή ανάκτηση 94,08%. Επίσης, το απόρριμμα περιέχει ελάχιστη ποσότητα νικελίου, μόλις 0,19% και χάνεται μόνο το 1% του υπάρχοντος νικελίου. Η παρουσία του ενδιάμεσου προϊόντος δεν είναι επιθυμητή αλλά έχει τέτοια συγκέντρωση σε Ni 0,91%, που δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε συμπύκνωμα ούτε απόρριμμα.

Το βάρος του συμπυκνώματος αποτελεί το 85,52% του αρχικού, το οποίο είναι μεγάλο, και αυτό οφείλεται στο ότι απορρίπτεται μικρή ποσότητα στείρου (7%).

Επίσης, ένα συμπέρασμα που προκύπτει από την διεξαγωγή της πρώτης δοκιμής είναι ότι τελικά απομακρύνθηκε κυρίως το ανθρακικό ασβέστιο στο απόρριμμα. Αυτό έγινε με την μέθοδο της επίπλευσης αλλά και με τον μαγνητικό διαχωρισμό στον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή υψηλής έντασης. Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων διαπιστώθηκε, ότι η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα και η δοκιμή της επίπλευσης μπορεί να παραληφθεί, αφού άλλωστε απαιτεί και μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος.

9.3 Δεύτερη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη

Κατά την δεύτερη δοκιμή έγινε προσπάθεια εμπλουτισμού λατερίτη από την περιοχή της Καστοριάς με σκοπό την βέλτιστη ανάκτηση νικελίου. Η διαδικασία της δοκιμής, ήταν πιο απλή αφού δεν περιελάμβανε την μέθοδο της επίπλευσης και περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

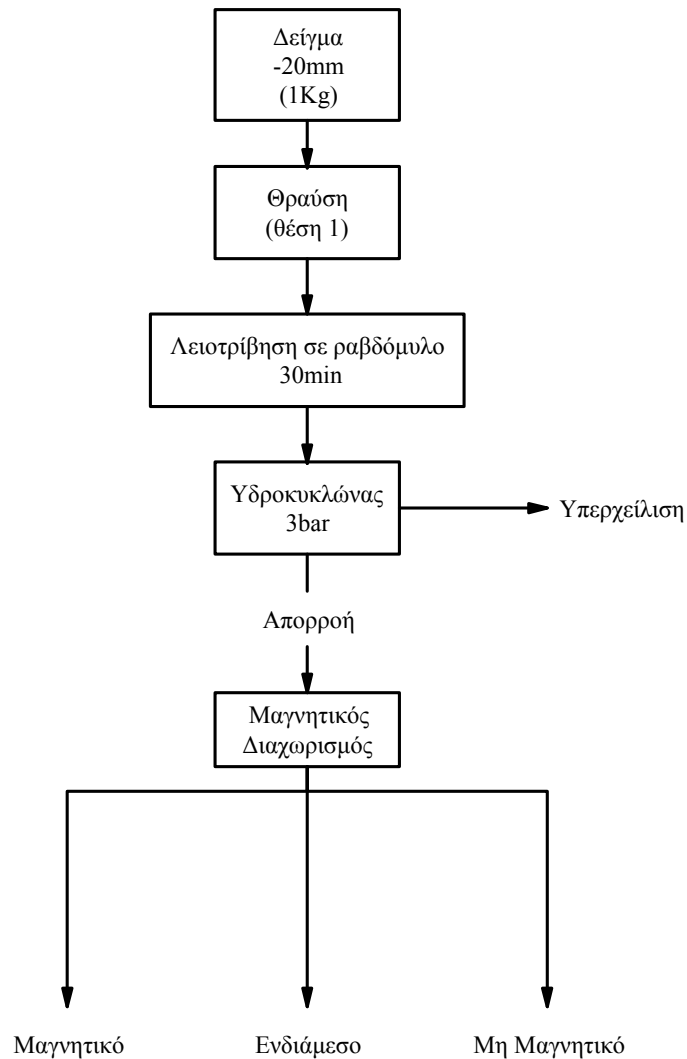
9.3.1 Διαδικασία διεξαγωγής της δεύτερης σύνθετης δοκιμής

Από το αρχικό δείγμα πήραμε 1Kg υλικού με κοκκομετρία -20mm. Έγινε θραύση του υλικού στον σιαγωνινό σπαστήρα, στα -4mm. Το προϊόν της θραύσης λειοτριβήθηκε σε ραβδόμυλο για 30min, αφού προσθέσαμε 1Kg νερό.

Το προϊόν της λειοτρίβησης πέρασε από τον υδροκυκλώνα, σε πίεση 3bar και με οδηγούς υπερχειλίσης και απορροής 14,4cm και 3,2cm αντίστοιχα. Από τον διαχωρισμό με τον υδροκυκλώνα προέκυψε το προϊόν από την υπερχειλίση και το προϊόν από την απορροή. Ο υδροκυκλώνας χρησιμοποιήθηκε ώστε να αφαιρεθεί το πολύ ψιλό υλικό γιατί: α) είναι αρκετά πλούσιο σε νικέλιο και β) θα δημιουργούσε πρόβλημα κατά τον μαγνητικό διαχωρισμό. Στο προϊόν της υπερχειλίσης, απομακρύνθηκε η υγρασία, ζυγίστηκε και αναλύθηκε για Ni, Fe, Ca, Mg και αδιάλυτα. Στο προϊόν της απορροής έγινε κοκκομετρική ανάλυση για να ελεγχθεί η κοκκομετρία του υλικού και αποτέλεσε την τροφοδοσία του ξηρού μαγνητικού διαχωριστή υψηλής έντασης.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έγινε σε ένταση ρεύματος 0,53Ampere, ταχύτητα του μαγνητικού τύμπανου τις 200rpm και χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο λεπίδες διαχωρισμού. Έτσι πήραμε τρία κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού: το μαγνητικό, το ενδιάμεσο και το μη μαγνητικό.

Η διαδικασία διεξαγωγής της δεύτερης δοκιμής εμπλουτισμού παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 9.2.



Σχήμα 9.2: Διάγραμμα διεξαγωγής της δεύτερης δοκιμής

9.3.2 Αποτελέσματα της δεύτερης σύνθετης δοκιμής εμπλουτισμού

Από τον υδρομηχανικό διαχωρισμό, με την χρήση του υδροκυκλώνα, πήραμε το προϊόν της υπερχειλίσης (Overflow) και το προϊόν της απορροής (Underflow). Τα αποτελέσματα του διαχωρισμού παρουσιάζονται στον πίνακα 9.10.

Από τις τιμές του πίνακα 9.10 παρατηρούμε ότι το underflow του κυκλώνα αποτελεί το 75,42% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,14% σε Ni και περιέχει το 67,65% του υπάρχοντος νικελίου. Αντίστοιχα, το overflow του κυκλώνα αποτελεί το 24,58% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,68% σε Ni και ανακτούμε το 32,35% του Ni. Επίσης, η συγκέντρωση του νικελίου στο αρχικό δείγμα είναι 1,28%.

Το overflow μπορεί να θεωρηθεί ως προϊόν της δοκιμής αφού έχει αρκετά ικανοποιητική συγκέντρωση νικελίου. Το underflow λόγω της μικρής συγκέντρωσης νικελίου οδηγήθηκε για περαιτέρω εμπλουτισμό στον μαγνητικό διαχωριστή.

Για να διαπιστωθεί η κοκκομετρία του underflow του κυκλώνα έγινε κοκκομετρική ανάλυση. Η κοκκομετρία του υλικού παρουσιάζεται στον πίνακα 9.12 και φαίνεται ότι αποτελείται από αρκετά λεπτόκοκκο υλικό (διάγραμμα 9.2).

Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού του underflow του κυκλώνα φαίνονται στον πίνακα 9.11. Το μαγνητικό προϊόν του διαχωρισμού αποτελεί το 33,24% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,4% σε Ni και περιέχει το 36,46% του αρχικού νικελίου. Το ενδιάμεσο προϊόν έχει ανάλυση 1% σε Ni ενώ το μη μαγνητικό 0,91%.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι το μαγνητικό προϊόν μπορεί να προστεθεί στο συμπύκνωμα της δοκιμής. Αντίθετα, το ενδιάμεσο και το μη μαγνητικό προϊόν μπορεί να αποτελέσουν το ενδιάμεσο και το απόρριμμα της δοκιμής αντίστοιχα.

Προϊόν Υδροκυκλώνα	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Απορροή	75,42	75,42	1,14	23,78	5,47	12,04	36,56	67,65	76,19	84,74	70,85	74,88
Υπερχείλιση	24,58	24,58	1,68	22,79	3,02	15,2	37,63	32,35	23,81	15,26	29,15	25,12
Σύνολο	100,00	100,00	1,28	23,53	4,86	12,82	36,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

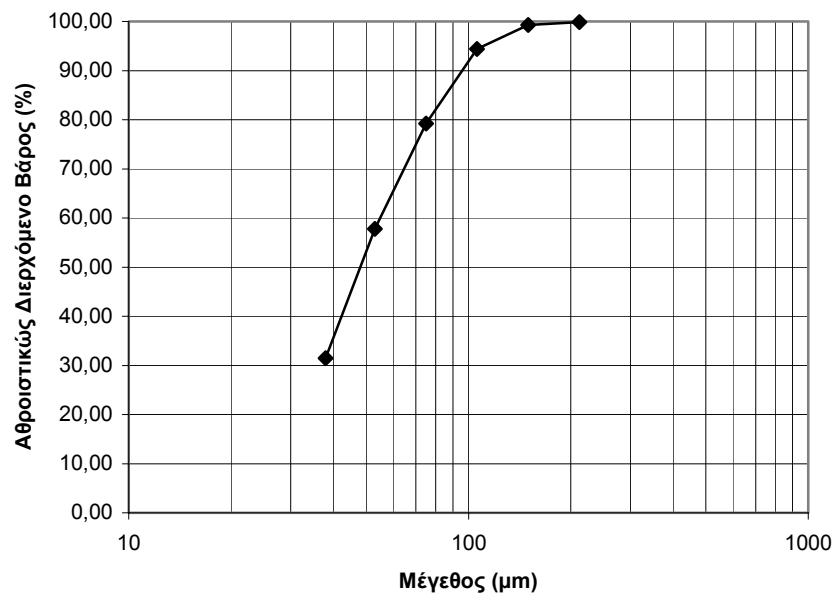
Πίνακας 9.10: Αποτελέσματα του υδρομηχανικού διαχωρισμού στον υδροκυκλώνα

Προϊόν Μαγνητικού Διαχωρισμού	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Μαγνητικό	44,08	33,24	1,40	30,48	0,59	13,19	34,69	36,46	43,05	4,03	34,21	31,31
Ενδιάμεσο	21,10	15,91	1,00	21,87	8,33	10,95	36,79	12,46	14,79	27,25	13,59	15,90
Μη Μαγνητικό	34,82	26,26	0,91	16,45	9,90	11,25	38,80	18,72	18,36	53,46	23,05	27,67
Σύνολο	100,00	75,42	1,14	23,78	5,47	12,04	36,56	67,65	76,19	84,74	70,85	74,88

Πίνακας 9.11: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού στο underflow του κυκλώνα

ΑΠΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΚΥΚΛΩΝΑ			
Μέγεθος (μm)	Βάρος (%)	Αθροιστικώς Διερχόμενο Βάρος (%)	Αθροιστικώς Παραμένον Βάρος (%)
212	0,10	99,90	0,10
150	0,60	99,30	0,70
106	4,92	94,37	5,63
75	15,18	79,20	20,80
53	21,41	57,79	42,21
38	26,33	31,46	68,54
-38	31,46		
Σύνολο	100,00		

Πίνακας 9.12: Κοκκομετρική ανάλυση της απορροής (underflow) του υδροκυκλώνα



Διάγραμμα 9.2: Κοκκομετρική ανάλυση του underflow του υδροκυκλώνα

9.3.3 Εμπλουτισμός κατά την δεύτερη σύνθετη δοκιμή

Από την δεύτερη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη προέκυψε: ένα συμπύκνωμα νικελίου, ένα ενδιάμεσο προϊόν και ένα απόρριμμα.

Το συμπύκνωμα αποτελείται από το overflow του κυκλώνα και το μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού (πίνακας 9.13). Το προϊόν αυτό, αποτελεί το 57,83% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,52% σε Ni, 27,21% σε Fe₂O₃, 1,62% σε CaO, 14,04% σε MgO, 35,94% σε αδιάλυτα και ανακτούμε το 68,81% του υπάρχοντος νικελίου.

Το απόρριμμα, δηλαδή το μη μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού, αποτελεί το 26,26% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 0,91% σε Ni, 16,45% σε Fe₂O₃, 9,9% σε CaO, 11,25% σε MgO, 38,8% σε αδιάλυτα και χάνουμε 18,72% του υπάρχοντος νικελίου (πίνακας 9.14).

Το ενδιάμεσο προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού, αποτελεί και το ενδιάμεσο προϊόν της δοκιμής, το οποίο μπορεί να ανακυκλώνεται σε κάποιο στάδιο της δοκιμής (πίνακας 9.15). Αυτό έχει βάρος το 15,91% του αρχικού και ανάλυση 1% σε Ni, 21,47% σε Fe₂O₃, 8,33% σε CaO, 10,95% σε MgO, 36,79% σε αδιάλυτα και ανάκτηση 12,46% του υπάρχοντος νικελίου.

Προϊόν Συμπυκνώματος	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Υπερχείλιση	24,58	24,58	1,68	22,79	3,02	15,2	37,63	32,35	23,81	15,26	29,15	25,12
Μαγνητικό	44,08	33,24	1,40	30,48	0,59	13,19	34,69	36,46	43,05	4,03	34,21	31,31
Σύνολο		57,83	1,52	27,21	1,62	14,04	35,94	68,81	66,86	19,30	63,36	56,43

Πίνακας 9.13: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο συμπύκνωμα

Προϊόν Απορρίμματος	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Μη Μαγνητικό	34,82	26,26	0,91	16,45	9,90	11,25	38,80	18,72	18,36	53,46	23,05	27,67
Σύνολο		26,26	0,91	16,45	9,90	11,25	38,80	18,72	18,36	53,46	23,05	27,67

Πίνακας 9.14: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο απόρριμμα

Προϊόν Ενδιάμεσου	Βάρος (%)	Βάρος επί του αρχικού (%)	Ni (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Αδιάλυτα (%)	Ni Κατανομή (%)	Fe ₂ O ₃ Κατανομή (%)	CaO Κατανομή (%)	MgO Κατανομή (%)	Αδιάλυτα Κατανομή (%)
Ενδιάμεσο	21,10	15,91	1,00	21,87	8,33	10,95	36,79	12,46	14,79	27,25	13,59	15,90
Σύνολο		15,91	1,00	21,87	8,33	10,95	36,79	12,46	14,79	27,25	13,59	15,90

Πίνακας 9.15: Υπολογισμός του βάρους, των χημικών αναλύσεων και κατανομών των στοιχείων στο ενδιάμεσο προϊόν

9.3.4 Συμπεράσματα από την δεύτερη σύνθετη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη

Ο εμπλουτισμός που πετύχαμε στην δεύτερη δοκιμή είναι ότι από ένα μετάλλευμα λατερίτη με ανάλυση 1,28% σε Ni πήραμε ένα συμπύκνωμα με 1,52% σε Ni. Όμως, η ανάκτηση που πετυχαίνουμε είναι μόνο το 68,81% του υπάρχοντος νικελίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το απόρριμμα της δοκιμής περιέχει ακόμη αρκετό νικέλιο.

Η λήψη ενός ενδιάμεσου προϊόντος κρίθηκε αναγκαία, αφού έχει αρκετά ικανοποιητική συγκέντρωση νικελίου για να χαρακτηριστεί ως απόρριμμα αλλά δεν μπορεί να προστεθεί ούτε στο συμπύκνωμα αφού υποβιβάζει την ποιότητά του.

Από τις χημικές αναλύσεις του απορρίμματος και του ενδιάμεσου προϊόντος, παρατηρούμε ότι περιέχουν περίπου το 80% του υπάρχοντος CaO. Επίσης, περιέχουν περίπου το 30% του υπάρχοντος νικελίου και αποτελούν το 42% του αρχικού βάρους. Έτσι, θα μπορούσαμε να αυξήσουμε την ανάκτηση Ni του συμπυκνώματος αν απομακρύνουμε το CaO από το ενδιάμεσο και το απόρριμμα. Από τις προηγούμενες δοκιμές διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος που μπορεί να απομακρύνει ικανοποιητικά το CaO (δηλαδή το CaCO₃) από το δείγμα, είναι αυτή της επίπλευσης με ελαϊκό οξύ.

9.4 Σύγκριση των δύο σύνθετων δοκιμών εμπλουτισμού λατερίτη

Από την σύγκριση των δύο σύνθετων δοκιμών διαπιστώνουμε ότι η πρώτη είναι αυτή που δίνει την μεγαλύτερη ανάκτηση νικελίου στο συμπύκνωμα. Αυτό οφείλεται στο ότι η πρώτη δοκιμή δίνει ένα αρκετά ικανοποιητικό απόρριμμα (μόλις 0,19% Ni) αλλά με μικρό βάρος (7,05%). Αντίθετα, η δεύτερη δοκιμή απορρίπτει μεγάλη ποσότητα στείρου (26,26%), δυστυχώς όμως με μεγάλη ανάλυση σε Ni (0,91%).

Στην πρώτη δοκιμή από ένα μετάλλευμα με 1,37% σε Ni, πήραμε ένα συμπύκνωμα με 1,51% σε Ni. Αντίστοιχα, στη δεύτερη δοκιμή από ένα μετάλλευμα με 1,28% σε Ni πήραμε ένα συμπύκνωμα με 1,52% σε Ni. Από τις παραπάνω τιμές φαίνεται ότι κατά την δεύτερη δοκιμή είχαμε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την χημική ανάλυση νικελίου.

Επίσης, από άποψη κόστους, η δεύτερη δοκιμή είναι οικονομικότερη και πιο απλή από την πρώτη.

Από όσα προαναφέρθηκαν, η πρώτη δοκιμή είναι αυτή που δίνει ποιοτικά καλύτερα αποτελέσματα, εντούτοις σαν σύνολο ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος δεν φαίνεται αρκετά ικανοποιητικός, λόγω ότι η απόρριψη στείρου είναι πολύ μικρή και η διαδικασία πολύπλοκη με μεγάλο κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Συμπεράσματα - Προτάσεις

10.1 Συμπεράσματα

10.1.1 Ανακεφαλαίωση

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση εμπλουτισμού αυτόχθονου λατερίτη από το κοίτασμα της περιοχής Καστοριάς. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι:

- ◆ Θραύση
- ◆ Υγρή αυτολειοτριβήση, λειοτριβήση σε ραδβόμυλο
- ◆ Κοσκίνηση
- ◆ Υδροταξινόμηση
- ◆ Διαχωρισμός με βαρέα υγρά
- ◆ Μαγνητικός διαχωρισμός
- ◆ Επίπλευση

Η θραύση και η λειοτριβήση έγινε για την ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων του μεταλλεύματος, σε μεγέθη κατάλληλα προς εμπλουτισμό. Η κατάτμηση του μεταλλεύματος εφαρμόστηκε σε όλες τις μεθόδους εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν, ως πρωταρχική διεργασία, για να επιτευχθεί η αποδέσμευση του μεταλλεύματος από τα στείρα, και η δημιουργία κατάλληλων κοκκομετρικών κλασμάτων.

Η κοσκίνηση έγινε για τον κατά μέγεθος διαχωρισμό του θραυσθέντος μεταλλεύματος, σε ομάδες ισοδιάστατων ή περίπου ισοδιάστατων τεμαχίων. Πολλές φορές χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό ενός «πλούσιου» σε Ni λεπτόκοκκου υλικού από ένα άλλο χονδρόκοκκο και «πτωχότερο» σε Ni.

Η υδροταξινόμηση έγινε σε υδροκυκλώνα για τον διαχωρισμό του πολύ λεπτόκοκκου υλικού (μεγέθους μερικών μm) από το μετάλλευμα. Αυτό έγινε γιατί το ψιλό υλικό, εκτός το ότι είναι αρκετά πλούσιο σε Ni, δυσχεραίνει την εφαρμογή άλλων μεθόδων στο μετάλλευμα.

Η μέθοδος των βαρέων υγρών χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη. Εκμεταλλευόμενοι την διαφορά των ειδικών βαρών των ορυκτών, διαχωρίστηκαν τα ορυκτά του μεταλλεύματος ανάλογα με τα ειδικά τους βάρη.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος ανάλογα με τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Έτσι, ανάλογα με την συμπεριφορά των διαφόρων ορυκτών μέσα στο μαγνητικό πεδίο του μαγνητικού διαχωριστή, διαχωρίστηκε το υλικό σε μαγνητικό και μη μαγνητικό.

Με την μέθοδο της επίπλευσης έγινε προσπάθεια απομάκρυνσης κυρίως του ανθρακικού ασβεστίου και του χαλαζία, καθιστώντας την επιφάνειά τους υδρόφοβη, με την χρήση των κατάλληλων αντιδραστηρίων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε, διότι με την επίπλευση μπορούμε να επεξεργασθούμε μεταλλεύματα σε πολύ μικρά μεγέθη, όπου έχουμε ικανοποιητική αποδέσμευση μεταξύ των ορυκτών.

Τέλος, αξιολογώντας τα αποτελέσματα που έδωσε η κάθε μέθοδος εμπλουτισμού, έγιναν δύο δοκιμές εμπλουτισμού λατερίτη που συνδυάζουν τις παραπάνω μεθόδους, ώστε να πετύχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ανάκτησης νικελίου.

10.1.2 Συμπεράσματα δοκιμών εμπλουτισμού

Από το σύνολο των δοκιμών εμπλουτισμού που πραγματοποιήθηκαν προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

⇒ Από την κοκκομετρική ανάλυση της αυτολειοτριβήσης παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα νικελίου αυξάνει συνεχώς όσο μικραίνει το μέγεθος των κόκκων. Το κοκκομετρικό κλάσμα -1mm που αποτελεί το 37% του αρχικού βάρους, με ανάλυση 1,5% σε Ni μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει στην μεταλλουργία νικελίου, αφού πρώτα γίνει η συσσωμάτωση του σε pellets. Αντίθετα, το $+1\text{mm}$ με χημική ανάλυση 1,22% σε Ni χρειάζεται περαιτέρω εμπλουτισμό.

- ⇒ Από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής εξέτασης διαπιστώθηκε ότι ο εμπλουτισμός με τα βαρέα υγρά δεν είναι ικανοποιητικός και αυτό λόγω της ανεπαρκούς αποδέσμευσης μεταξύ πυριτικών και σιδηρούχων ορυκτών. Αξιόλογη είναι η συγκέντρωση του Ni στο κλάσμα $-2,85 + 2,65 \text{gr/cm}^3$, αλλά με μικρή ανάκτηση του υπάρχοντος νικελίου. Η αδυναμία της μεθόδου να αποδώσει ένα καλό συμπύκνωμα, είναι αυτό που χαρακτηρίζει τον διαχωρισμό με τα βαρέα υγρά μη ικανοποιητικό.
- ⇒ Από τα αποτελέσματα των δοκιμών του μαγνητικού διαχωρισμού παρατηρούμε, ότι η περιεκτικότητα του Ni μειώνεται καθώς παίρνονται τα λιγότερο μαγνητικά προϊόντα και παίρνει τις μικρότερες τιμές στο μη μαγνητικό προϊόν. Καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού παρουσιάζουν τα μικρότερα κοκκομετρικά μεγέθη και αυτό οφείλεται στο ότι σε αυτά έχουμε καλύτερη αποδέσμευση των υπάρχοντων ορυκτών. Ικανοποιητική παρουσιάζεται η συγκέντρωση του νικελίου στο μαγνητικό 1 και 2 με αρκετά καλή ανάκτηση. Αντίθετα, το μη μαγνητικό 2 χρειάζεται περαιτέρω εμπλουτισμό. Η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από την μέθοδο των βαρέων υγρών. Ωστόσο αν υπήρχε καλύτερη αποδέσμευση μεταξύ των ορυκτών, την οποία μπορούμε να πετύχουμε σε μικρότερα μεγέθη κόκκων, θα είχαμε καλύτερα αποτελέσματα.
- ⇒ Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δοκιμή της επίπλευσης συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο ως προς την απομάκρυνση του ανθρακικού ασβεστίου. Χρησιμοποιώντας ως αντιδραστήριο της επίπλευσης, ελαϊκό οξύ, απομακρύνθηκε περίπου το 90% του CaO που υπήρχε στο δείγμα. Παρ' όλα αυτά έδωσε ένα αρκετά ικανοποιητικό συμπύκνωμα που αποτελεί το 80% του αρχικού βάρους, με 1,57% σε Ni και ανακτούμε το 90% του υπάρχοντος νικελίου. Όμως η μέθοδος της επίπλευσης απαιτεί μεγάλο λειτουργικό κόστος, αφού το μέταλλευμα πρέπει να λειοτριβηθεί σε πολύ μικρό μέγεθος.
- ⇒ Η πρώτη δοκιμή που έγινε ώστε να εμπλουτιστεί μέταλλευμα λατερίτη με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πήραμε ένα συμπύκνωμα που αποτελεί το 85% του αρχικού βάρους, με 1,51% σε Ni και ανακτούμε το 94% του νικελίου. Το απόρριμμα περιέχει ελάχιστη

ποσότητα νικελίου, μόλις 0,19% και χάνεται μόνο το 1% του υπάρχοντος νικελίου. Το πρόβλημα είναι ότι το βάρος του συμπύκνωματος αποτελεί το 85,52% του αρχικού, το οποίο είναι μεγάλο, και αυτό οφείλεται στο ότι απορρίπτεται μικρή ποσότητα στείρου (7%).

⇒ Στην δεύτερη δοκιμή εμπλουτισμού λατερίτη, από ένα μετάλλευμα με ανάλυση 1,28% σε Ni, πήραμε ένα συμπύκνωμα με 1,52% σε Ni το οποίο αποτελεί το 58% του αρχικού βάρους. Όμως, η ανάκτηση που πετυχαίνουμε είναι μόνο το 68,81% του υπάρχοντος νικελίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το απόρριμμα της δοκιμής περιέχει ακόμη αρκετό νικέλιο (0,91%).

10.2 Προτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με τον εμπλουτισμό αυτόχθονου λατερίτη από την περιοχή Καστοριάς και αποτέλεσε ένα πρώτο βήμα στο να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του συγκεκριμένου μεταλλεύματος, κατά την προσπάθεια εμπλουτισμού του με την χρήση διάφορων μεθόδων εμπλουτισμού. Έτσι, σε επόμενο στάδιο προτείνεται:

- ♦ **Περαιτέρω διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού λατερίτη της περιοχής Καστοριάς.** Έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να διερευνηθεί ο εμπλουτισμός λατερίτη με τις βέλτιστες συνθήκες εμπλουτισμού καθώς και με την χρήση και άλλων μεθόδων εμπλουτισμού που δεν χρησιμοποιήθηκαν. Προτείνεται, να εντατικοποιηθεί η λειοτρίβηση, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη αποδέσμευση των ορυκτών σε μικρότερα μεγέθη κόκκων.
- ♦ **Ανάκτηση του νικελίου με υδρομεταλλουργικές μεθόδους.** Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα εμπλουτισμού του λατερίτη σε νικέλιο με φυσικές μεθόδους. Θα μπορούσε να δοκιμαστεί η ανάκτηση του νικελίου μέσω υδρομεταλλουργικής μεθόδου που να περιλαμβάνει την διαλυτοποίηση του μεταλλεύματος σε οξύ και ανάκτηση του νικελίου από το διάλυμα.
- ♦ **Εξαγωγή μεταλλικού νικελίου από το συμπύκνωμα.** Από το συμπύκνωμα νικελίου που προκύπτει από τον προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος, να εξαχθεί καθαρό Ni ή FeNi, με την χρήση πυρομεταλλουργικών μεθόδων, και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Augustithis, S. (1962), “*Mineralogical and Geochemical Changes in the Diagenetic and Post-Diagenetic Phases of the Ni-Cr-Iron Oolitic Deposit of Larymna/Locris, Greece*”. Chem. Erde. 22, pp. 5-17.

Canadian Mining Journal, (Febr. 1996), “*Spending on nickel*”. pp. 14-15.

Encyclopedia of Materials Science and Engineering, (1986), Pergamon Press.

Mountrakis, D. (1982), “*Emplacement of Kastoria ophiolite on western edge of the Internal Hellenides, Greece*”, Ofioliti, 7, 2/3, Special Issue, pp. 397-406.

Plastiras, V. (1979), “*The conglomerates and the underlying nickeliferous iron-ores of Ieropigi village, Kastoria*”, I.G.M.E., Unpubl. Internal Report, p.12, Kozani.

Skarpelis N., Laskou M., Alevisos G. (1993), “*Mineralogy and Geochemistry of the Nickeliferous Lateritic Iron-ores of Kastoria, N.W. Greece*”. Chem. Erde 53, pp. 331-339.

The Economics of Nickel, (1996), Eighth Edition, Roskill Information Services Ltd. www.roskill.co.uk/nickel.html.

US Geological Survey (January, 1996), “*Mineral Commodity Summaries*”.

Ακρίβης, Κ. (1997), “*Διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Εύβοιας*”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Αλεβίζος, Γ. (1997), “*Ορυκτολογία, γεωχημεία και γένεση ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Λοκρίδας (Κεντρική Ελλάδα)*”, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ζευγώλης, Μ. & Γ. Γαιτάνος (1984), “*Νικέλιο μια γενική θεώρηση*”, Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά 59.

Κατσίκατσος, Γ. (1992), “*Γεωλογία της Ελλάδας*”, Αθήνα.

- Κωστάκης, Γ. (1988), *“Κεφάλαια Ακτινοσκοπίας των Κρυστάλλων”*, Σημειώσεις του Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Κωστάκης, Γ. (1992), *“Ορυκτοδιαγνωστική”*, Σημειώσεις του Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Μαράτος, Γ. (1972), *“Γεωλογία της Ελλάδος”*. Γεωτεχνικό Γραφείο ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΡ., Αθήνα.
- Μιχαηλίδης, Κ. (1988), *“Γενική Κοιτασματολογία”*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μουντράκης, Δ. (1983), *“Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωλογική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων”*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μούσουλός, Λ. (1973), *“Μεταλλουργία του νικελίου”*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Παπαμαντέλλος, Δ. (1990), *“Η αναγκαιότητα ίδρυσης βιομηχανίας ανοξείδωτου χάλυβα στην Ελλάδα”*. Ορυκτός Πλούτος 65, σ. 13-24.
- Σαπουντζής, Η. & Γ. Χριστοφίδης, (1985), *“Ορυκτοδιαγνωστική”*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σκαρπέλης, Ν. (1994), *“Κοιτασματολογία”*. Σημειώσεις του μαθήματος. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σκλαβούνος, Μ. (1999), *“Διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Εύβοιας”*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σταμπολιάδης, Η. & Β. Τζαχρήστα (1996), *“Μελέτη Εμπλουτισμού Σιδηρονικελιούχου Λατεριτικού Μεταλλεύματος του Κοιτάσματος Κωπαΐδος”*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σταμπολιάδης, Η. (1984), *“Μέτρο Διαχωρισμού”*, Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά, Τεύχος 55.

Σταμπολιάδης, Η. (1993), “*Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων Ι*”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Σταμπολιάδης, Η. (1993), “*Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων ΙΙ*”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης, (1993), Σημειώσεις Εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας και Χημείας Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Φραγκίσκος, Α & Σ. Κατράκης (1979). “*Εισαγωγή εις τον Εμπλουτισμόν των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών*”. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα.

Άλλες αναφορές μέσω INTERNET

Daily LME Prices & Stocks, (2000), www.metal price.com

Nickel, British Columbia Institute of Technology.
<http://nobel.scas.bcit.bc.ca/resource/ptable/ni.htm>.

NiPERA, (1998), “*The Nickel Page*”. www.nipera.org/.

Yip, S & M. Kirves, (1999), “*Nickel Newsletter*”, Falconbridge Limited’s Quarterly Commentary on the Nickel Market, Issue 3. www.falconbridge.com.

Yip, S & M. Kirves, (1999), “*Nickel Newsletter*”, Falconbridge Limited’s Quarterly Commentary on the Nickel Market, Issue 4. www.falconbridge.com.

Yip, S & M. Kirves, (2000), “*Nickel Newsletter*”, Falconbridge Limited’s Quarterly Commentary on the Nickel Market, Issue 1. www.falconbridge.com.

<http://www.nidi.org>

<http://web.wt.net/~daba/Mineral/chem/chem-Ni.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας Α.Ι.1: Παραγωγή νικελίου ανά χώρα (Economics of Nickel, 1996)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
<u>Ευρώπη</u>								
Φιλανδία	11,7	10,5	11,5	9,9	9,2	8,3	6,8	3,5
Ελλάδα	15,4	16	16,2	16	15,4	10,9	16,1	17,2
Π.Δ.Τ.Μ	*	*	*	*	*	3	4,6	1,5
Δανία	0,3	1,3	2,2	2,3	3,4	3,6	3,3	3,6
Γιουγκοσλαβία	5,6	6,3	4,9	3,2	3	0,6	0,8	1,2
Σύνολο	33	34,1	34,8	31,4	31	26,4	31,6	27
<u>Β. Αμερική</u>								
Η.Π.Α.	*	*	0,3	5,5	6,7	2,5	2,5	2,5
Καναδάς	216,6	202,5	196,2	192,3	186,4	188,1	149,9	181
Σύνολο	216,6	202,5	196,5	197,8	193,1	190,6	152,4	183,5
<u>Ν. Αμερική</u>								
Βραζιλία	13,1	13,7	13,2	13,8	14,7	15,2	16,5	15,7
Κολομβία	16,9	16,9	18,4	20,1	20,2	20,2	20,8	25,7
Αγ. Δομίνικος	29,3	31,3	28,7	29,1	27,5	23,9	30,9	31,2
Σύνολο	59,3	61,9	60,3	63	62,4	59,3	68,2	72,6
<u>Αφρική</u>								
Μποντσουάνα	22,5	19,8	19	20,4	18,9	19,7	19	18,1
Ν. Αφρική	34,8	34	30	29	28,4	28,9	30,1	29,8
Ζιμπάμπουε	12,1	12,7	12,6	12,4	11,4	12,8	13,8	11,7
Σύνολο	69,4	66,5	61,6	61,8	58,7	61,4	62,9	59,6
<u>Ασία</u>								
Ινδονησία	59,8	64,2	68,6	66,1	78,1	65,8	81,2	86,6
Φιλιππίνες	10,3	15,4	15,8	13,7	14	7,7	14,6	17,2
Σύνολο	70,1	79,6	84,4	79,8	92,1	73,5	95,8	103,8
<u>Ωκεανία</u>								
Αυστραλία	62,4	65	67	69	57	64,7	79	101,3
Νέα Καληδονία	71,2	96,2	85	99,8	99,6	97,1	96	133
Σύνολο	133,6	161,2	152	168,8	156,6	161,8	175	234,3
<u>Άλλες χώρες</u>								
Αλβανία	8,4	8,8	8,5	4	0,2	*	*	*
Κίνα	26	34,3	33,2	30,4	32,8	30,7	36,9	31
Κούβα	43,9	46,5	40,8	33,3	32,2	28,8	31	31
Ε.Σ.Σ.Δ.	205	205	212	200	*	*	*	*
Ρωσία	*	*	*	*	275	209	212	224
Σύνολο	283,3	294,6	294,5	267,7	340,2	268,5	279,9	286
<u>Παγκ. Σύνολο</u>	865,3	900,4	884,1	870,3	934,1	841,5	865,8	966,8

A.1.1 Μηχανισμός λατεριτικής αποσάθρωσης

Κάτω από συνθήκες που ευνοούν τη λατεριτική αποσάθρωση το νερό της βροχής είναι πλούσιο σε οξυγόνο, όξινο ($\text{pH}=5,5-6$) και μπορεί να γίνει ακόμη πιο όξινο ($\text{pH}=3,5$) στο έδαφος, από το CO_2 και τα χουμικά οξέα της βλάστησης στη ζώνη των ριζών. Έτσι όλα τα στοιχεία με ιοντικό Δυναμικό μέχρι 3 μπαίνουν στο νερό διαλύσεως και κατεβαίνουν σε βαθύτερα σημεία ή απομακρύνονται από την περιοχή (Μιχαηλίδης, 1988).

Η κινητικότητα του SiO_2 , εξαρτάται περισσότερο από την υδάτωση της περιοχής. Μια περιορισμένη υδάτωση ευνοεί τη σύνθεση αργιλούχων ορυκτών που δεσμεύουν το SiO_2 , ενώ έντονη υδάτωση οδηγεί σε παραπέρα διάσπαση και των αργιλούχων ορυκτών, άρα μετακινείται το SiO_2 . Επίσης, έχει βρεθεί ότι η διαλυτότητα του πυριτίου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Κάτω λοιπόν από τις συνθήκες τροπικού κλίματος (μεγάλη βροχόπτωση, υψηλή θερμοκρασία) το πυρίτιο θα μετακινείται γρήγορα σε ιοντική μορφή και μάλιστα σε κολλοειδή μορφή.

Η κινητικότητα του Fe εξαρτάται τόσο από το pH όσο και το Eh του διαλύματος. Ο Fe^{3+} μπορεί να μετακινηθεί μόνο όταν το pH είναι κάτω από την τιμή 3, ενώ σε $\text{pH}=3-8$ καταβυθίζεται εύκολα ως $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Πρακτικά λοιπόν ο Fe^{3+} δεν μπορεί να μετακινηθεί, παρά μόνο σε πολύ αναγωγικές όταν μετατραπεί σε Fe^{2+} . Ο Fe^{2+} μετακινείται σε τιμές $\text{pH}=5-7$ και κάτω από αναγωγικές συνθήκες που δημιουργούνται από την παρουσία οργανικής ύλης. Η μετακίνηση γίνεται με την μορφή $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Με την αύξηση του Eh μετατρέπεται σε Fe^{3+} που δίνει κολλοειδές $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Η οξειδωση γίνεται καλύτερα σε αλκαλικό περιβάλλον παρά σε όξινο, γιατί το Eh μειώνεται με την αύξηση του pH .

Το Al^{3+} παραμένει σε διάλυση σε όξινο ($\text{pH}<4$) ή πολύ βασικό ($\text{pH}>9$) περιβάλλον. Σε ενδιάμεσες τιμές, επειδή έχει ιοντικό Δυναμικό 6, σχηματίζει κολλοειδές $\text{Al}(\text{OH})_3$ που καταβυθίζεται. Αν η καταβύθιση του Al γίνει ταυτόχρονα με του πυριτίου τότε δημιουργείται ένα Al-Si-κολλοειδές. Κάτω από συνθήκες εύκρατου κλίματος, δεν έχουμε διαχωρισμό των δύο και σχηματίζονται αργιλοπυριτικά ορυκτά. Αντίθετα, κάτω από συνθήκες τροπικού κλίματος απομακρύνεται το πυρίτιο και δημιουργούνται από πλούσια σε Al_2O_3 μητρικά πετρώματα, βωξίτες.

Το Ni^{2+} σε σχέση με τον Fe^{2+} , παρουσιάζει σε αραιά όξινα διαλύματα, μεγάλη διαλυτότητα και απομακρύνεται με τη μορφή $\text{Ni}(\text{HCO}_3)_2$ στα νερά της διαλύσεως προς βαθύτερα σημεία μέχρι να συναντήσει τιμές pH ουδέτερες ή αλκαλικές όπου και αποβάλλεται. Κάποια ποσότητα του Ni προσροφάτε στα κolloειδή συστατικά κυρίως του σιδήρου.

Έτσι, στη ζώνη των ριζών, όπου το pH είναι όξινο, παραμένουν σε αρκετή ποσότητα Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} και λίγο SiO_2 .

Κάτω από την ζώνη των ριζών, όπου δεν υπάρχει χούμος, το pH αλλάζει και σταδιακά γίνεται αλκαλικό. Έτσι μέχρι τιμές $\text{pH}=6$ όλα τα κolloειδή υδροξείδια των Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{3+} , Ti^{4+} καταβυθίζονται και εμπλουτίζεται η ζώνη στα στοιχεία αυτά.

Στα βαθύτερα σημεία όπου επικρατούν ουδέτερες συνθήκες ή ελαφρά αλκαλικές (βάση του λατερίτη και διασπασμένο πέτρωμα) αποβάλλονται σταδιακά τα ευδιάλυτα στοιχεία. Το Ni και το Co αρχίζουν να αποβάλλονται από τιμές $\text{pH}=6,6$. Ένα μέρος του Ni προσροφάτε στην επιφάνεια των κolloειδών του πυριτίου. Το μεγαλύτερο όμως μέρος του νικελίου μπαίνει ως υποκαταστάτης του Mg στο πλέγμα των ορυκτών του μητρικού πετρώματος ή στα ορυκτά που προκύπτουν από την διάσπασή τους (μοντομοριλλονίτης, χλωρίτης, σαπωνίτης κ.α) γιατί το Mg μένει σε διάλυση μέχρι $\text{pH}=10$. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται τα ορυκτά της ομάδας των γαρνιεριτών (νικελιούχος αντιγορίτης, σεπιόλιθος, χλωρίτης, τάλκης κ.α). το ποιο ορυκτό θα σχηματισθεί εξαρτάται από τα διαθέσιμα στοιχεία Mg, Fe, Al, Si και την τιμή του pH.

Όλα τα ανθεκτικά στη λατεριτίωση ορυκτά βρίσκονται σαν επουσιώδη μέσα στο αρχικό πέτρωμα και μπορεί να παραμείνουν τελείως αναλλοίωτα στο λατεριτικό κάλυμμα (π.χ. χρωμίτης, μαγνητίτης).

A.1.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Με την μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων X μετράται τόσο οι γωνίες όσο και οι εντάσεις των ανακλάσεων των ακτίνων -X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Οι βασικές μονάδες που αποτελούν ένα περιθλασίμετρο ακτίνων X είναι η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία των ακτίνων X, το γωνιόμετρο, ο

απαριθμητής των ακτίνων X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τέλος η μονάδα μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από εξέταση του δείγματος.

Το προς ανάλυση δείγμα ευρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα σε ένα πλαστικό πλακίδιο με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το πλακίδιο τοποθετείται στον δειγματοφορέα του γωνιομέτρου, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X με το επίπεδο του να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου. Ταυτόχρονα περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και το επίπεδο του δείγματος με την μισή τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή. Η ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και η περιστροφή του δείγματος έχει σαν αποτέλεσμα ο πρώτος να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων X, που προέρχονται από τη λυχνία (Κωστάκης, 1988).

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

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \cos \theta \quad \text{όπου:}$$

n: τάξη ανάκλασης, λ: μήκος κύματος, θ: γωνία πρόσπτωσης και d: η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

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

A.1.3 Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης

Η μέθοδος της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό σχεδόν όλων των μετάλλων και επαμφοτεριζόντων στοιχείων καθώς και των P, As, B, Te, Se από τα αμέταλλα (Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης, 1993).

Οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

a) Όλα τα άτομα μπορούν να απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Όταν τα άτομα απορροφούν ακτινοβολία, τα ηλεκτρόνια τους που στην θεμελιώδη κατάσταση βρίσκονται σε κανονικές τροχιές, προσλαμβάνουν ενέργεια και διεγείρονται σε υψηλότερης ενέργειας τροχιές.

b) Τα μήκη κύματος στα οποία απορροφάται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι χαρακτηριστικό για κάθε χημικό στοιχείο. Δηλαδή εάν ένα δείγμα που περιέχει χαλκό, μόλυβδο και μαγγάνιο εκτεθεί σε χαρακτηριστική ακτινοβολία που εκπέμπεται από πηγή χαλκού τότε μόνο τα άτομα χαλκού θα απορροφήσουν αυτήν την ακτινοβολία.

c) Το ποσό της ακτινοβολίας που απορροφάται είναι ανάλογο της συγκέντρωσης των απορροφούντων ατόμων στο δείγμα. Δηλαδή και για την περίπτωση της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης ισχύει ο θεμελιώδης νόμος της απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των Beer και Lambert:

$$\log \frac{I_0}{I} = ebc = A$$

Για την ποσοτική ανάλυση με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης, μετρείται πρώτα η απορρόφηση μιας σειράς προτύπων διαλυμάτων των οποίων είναι γνωστή η συγκέντρωση, κατασκευάζεται καμπύλη αναφοράς και κατόπιν μετρώνται οι απορροφήσεις των αγνώστων δειγμάτων και συγκρίνονται με εκείνες των προτύπων.

Ένα φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:

- 1.Μια πηγή εκπομπής χαρακτηριστικής ακτινοβολίας
- 2.Ένα ατμοποιητή για την δημιουργία ελευθέρων ατόμων συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας
- 3.Ένα μονοχρώματα για την επιλογή και απομόνωση μιας στενής περιοχής από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία
- 4.Ένα ανιχνευτή για την μέτρηση του ποσοστού της ακτινοβολίας
- 5.Ηλεκτρονικό όργανο επεξεργασίας του σήματος

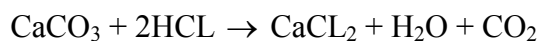
A.I.4 Διαλυτοποίηση δειγμάτων

Η διαλυτοποίηση των δειγμάτων έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες των υπευθύνων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ. Η διαδικασία της διαλυτοποίησης έχει ως εξής:

- Προετοιμασία δείγματος στα -200mesh (-0,075mm)
- Ζυγίζουμε 0,2gr από το δείγμα σε κωνική φιάλη 250ml ευρύλαιμη και διαβρέχεται με 2-4ml H₂O
- Προστίθενται 10ml πυκνό HNO₃ και 20ml πυκνό HCL και θερμαίνεται σε θερμομαντική πλάκα μέχρι να εκλυθούν λευκοί ατμοί
- Διηθείται σε φιάλη 250ml (θερμά)
- Αραιώνεται σε ογκομετρική φιάλη και μετρούνται σε ατομική απορρόφηση το Fe, Ca, Mg, Ni
- Τα αδιάλυτα του ηθμού καίγονται στους 950 °C για 2 ώρες. Με συντελεστή 0,85 βρίσκεται αρκετά καλά το περιεχόμενο SiO₂

A.I.5 Προσδιορισμός του CaCO₃ με την συσκευή «Karbonatbombe»

Ο προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου πραγματοποιήθηκε με την συσκευή «Karbonatbombe» (Μυστακίδου, 1994). Το πλεονέκτημα της συσκευής είναι ότι πρόκειται για μία εύχρηστη μικρή συσκευή που απαιτεί ελάχιστη ποσότητα δείγματος για να γίνουν οι μετρήσεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων βασίζονται στο εκλυόμενο CO₂ που λαμβάνει χώρα βάσει της αντίδρασης:



Τα βήματα που ακολουθούνται για τις μετρήσεις είναι τα εξής:

- Βαθμονόμηση της συσκευής με πρότυπο δείγμα CaCO₃
- Μέτρηση άγνωστων δειγμάτων

Η προετοιμασία των δειγμάτων έχει ως εξής: τα δείγματα λειοτριβούνται σε μέγεθος -75μm και ξηραίνονται στους 100 °C. Ετοιμάζεται διάλυμα HCL 10%. Ζυγίζεται ποσότητα 0,6gr από το πρότυπο και μετρείται η ένδειξη του μανόμετρου της

συσκευής. Το ίδιο επαναλαμβάνουμε για όλα τα δείγματα. Οι μετρήσεις δίνουν τον όγκο του εκλυόμενου CO₂ της αντίδρασης, από τον οποίο υπολογίζεται η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου στο δείγμα μας.

A.I.6 Υδροταξινόμηση με υδροκυκλώνα

Ο υδροκυκλώνας χρησιμοποιήθηκε για να ταξινομηθεί το προϊόν της υγρής αυτολειοτρίβησης με μέγεθος -0,063mm.

Ένας τυπικός κυκλώνας παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2. αποτελείται από ένα κυλινδρικό τμήμα, στο πάνω μέρος του οποίου εισάγεται ο πολφός τροφοδοσίας. Στο άνω μέρος του κυλίνδρου υπάρχει ένας σωλήνας εξόδου που ονομάζεται οδηγός υπερχειλίσης. Στο κάτω μέρος του κυλίνδρου του κυκλώνα υπάρχει ένας ανεστραμμένος κώνος με άνοιγμα στο κάτω μέρος για την απορροή του υλικού.

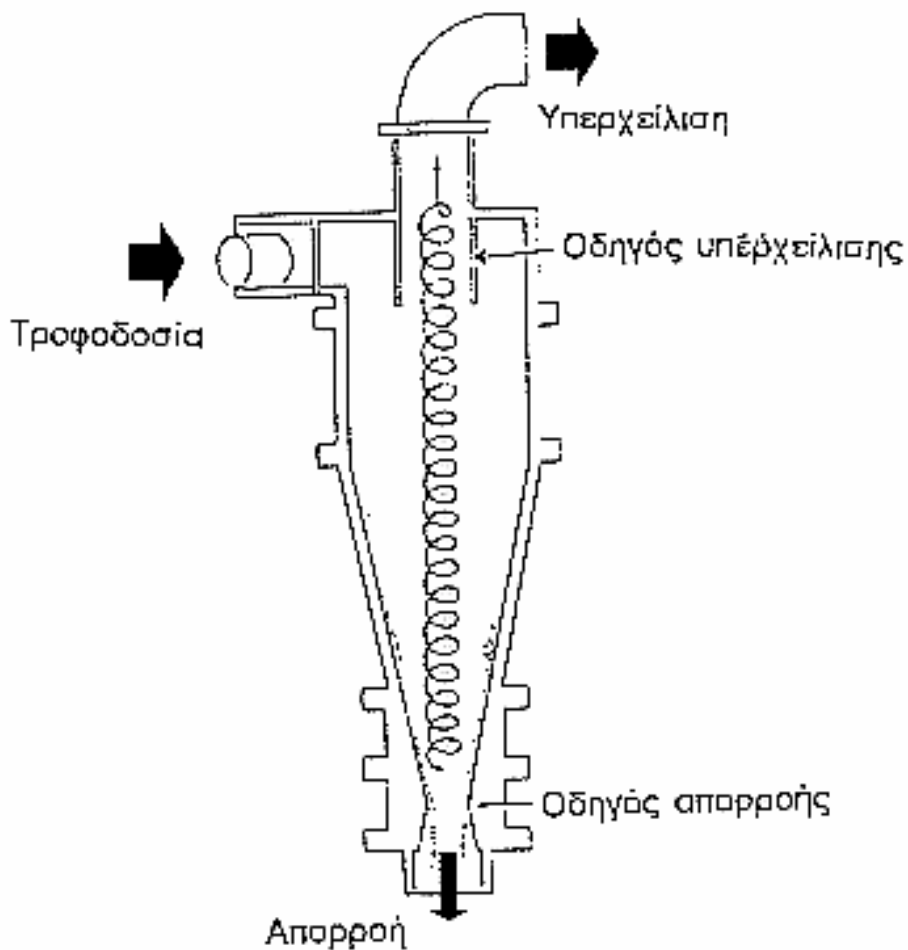
Ο πολφός τροφοδοσίας εισέρχεται στον κυκλώνα εφαπτομενικά ως προς τον κύλινδρο και εξέρχεται αξονικά παράλληλα προς τον άξονα είτε προς την απορροή είτε προς την υπερχειλίση.

Μέσα στον κύλινδρο τα σωματίδια κινούνται σε μία κυκλική τροχιά, με αποτέλεσμα να εξασκείται πάνω τους μία φυγόκεντρος δύναμη. Στα μεγαλύτερα σωματίδια με την μεγαλύτερη μάζα εξασκείται μεγαλύτερη φυγόκεντρος δύναμη και έτσι οδεύουν προς την περιφέρεια. Με τη συνεχή εισροή πολφού στον κυκλώνα δημιουργείται και μία οριζόντια κίνηση του νερού από την περιφέρεια προς το κέντρο του άξονα. Η οριζόντια κίνηση του νερού παρασύρει τους μικρούς κόκκους προς το κέντρο υπερνικώντας την φυγόκεντρο δύναμη. Αντίθετα, στους μεγάλους κόκκους υπερισχύει η φυγόκεντρος δύναμη και οδεύουν προς την περιφέρεια.

Εκτός από την περιφερειακή και την οριζόντια κίνηση δημιουργούνται δευτερογενείς κινήσεις του νερού. Η μία, στο άνω μέρος του κυλινδρικού τμήματος του κυκλώνα, μεταξύ του κελύφους του κυλίνδρου και του σωλήνα της υπερχειλίσης βοηθάει την ταξινόμηση των χονδρών κόκκων προς την περιφέρεια και των ψιλών προς το κέντρο. Η άλλη δευτερογενής κίνηση του νερού δημιουργείται στο κωνικό τμήμα του κυκλώνα. Η ροή είναι καθοδική, προς την απορροή από την πλευρά του κελύφους του κώνου. Όλη αυτή η ροή δεν χωράει να διαφύγει από την απορροή, με αποτέλεσμα να αλλάζει φορά και να κατευθύνεται προς τα άνω από την μεριά του άξονα.

Η προς τα κάτω ροή στην περιφέρεια παρασύρει του χονδρούς κόκκους προς την απορροή, ενώ η προς τα άνω ροή στο εσωτερικό παρασύρει τους ψιλούς κόκκους προς την υπερχείλιση.

Η δοκιμή της υδροταξινόμησης με υδροκυκλώνα έγινε σε πίεση 3,5bar και με οδηγούς υπερχείλισης και απορροής 14,4cm και 3,2cm αντίστοιχα. Στα προϊόντα του κυκλώνα έγινε κοκκομετρική ανάλυση σε κοκκομετρικό αναλυτή Laiser από την οποία φαίνεται ότι ο διαχωρισμός έγινε στα 9 μ m



Σχήμα Α.Ι.1: Υδροκυκλώνας

A.I.7 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι η εργασία που γίνεται για τον διαχωρισμό κατά μέγεθος οποιωνδήποτε θραυσμένων μεταλλευμάτων ή ορυκτών σε ομάδες ισοδιάστατων ή περίπου ισοδιάστατων τεμαχίων (Φραγκίσκος, 1979).

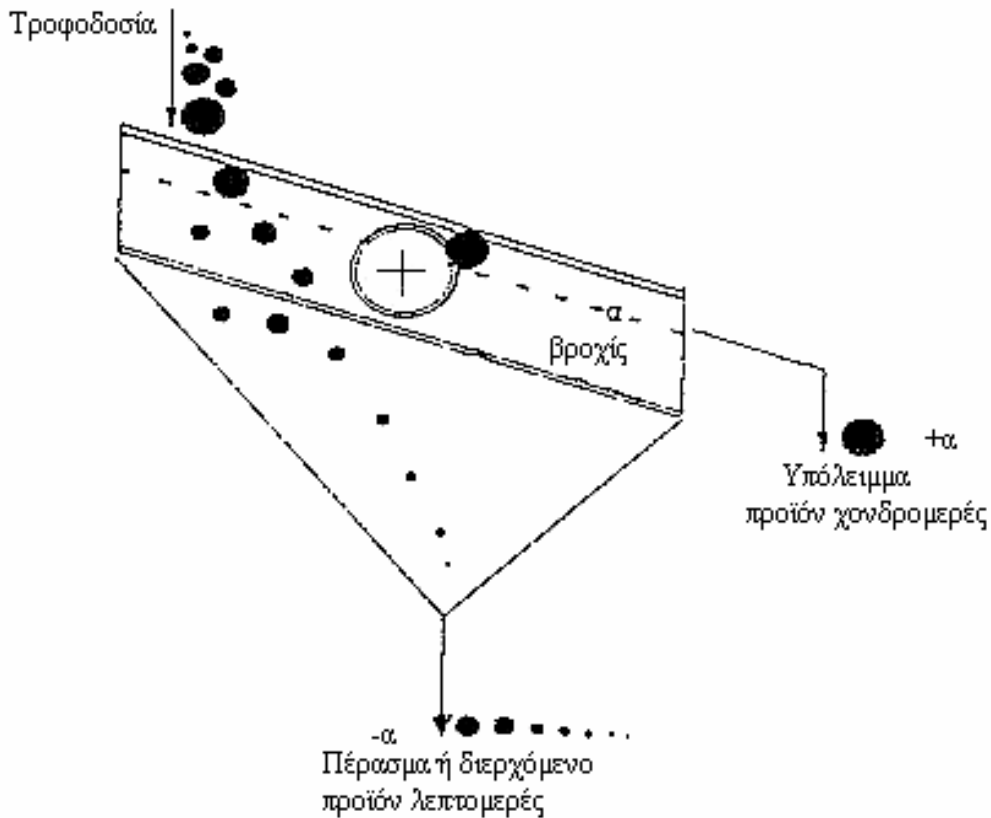
Η κοκκομετρική ανάλυση μπορεί να γίνει εν ξηρό ή με την βοήθεια ύδατος πάνω σε κόσκινα.

Η κοσκίνηση επιτυγχάνεται με την διοχέτευση του υλικού πάνω σε κόσκινο, το οποίο από το μέγεθος των βροχίδων του, καθορίζεται και το μέγεθος των διερχόμενων και μη διερχόμενων τεμαχίων. Η διάσταση της βροχίδας καθορίζει το ελάχιστο μέγεθος του μη διερχόμενου το οποίο ονομάζεται υπόλειμμα, και το μέγιστο του διερχόμενου που ονομάζεται πέρασμα.

Η διοχέτευση του περάσματος από ένα κόσκινο ορισμένης βροχίδας σε άλλο μικρότερης δημιουργεί αμέσως δύο νέες ομάδες τεμαχίων (σχήμα A.5.1).

Με την επανάληψη της εργασίας αυτής λαμβάνονται διάφορες ομάδες τεμαχίων, τα κοκκομετρικά κλάσματα, με όρια μεγέθους καθοριζόμενα από τις διαστάσεις των βροχίδων του κάθε κόσκινου.

Έτσι το πρώτο υπόλειμμα (παραμένον) συμβολίζεται με +α, ενώ το πρώτο πέρασμα (διερχόμενο) με -α. το δεύτερο παραμένον θα συμβολίζεται με -α+β ενώ το τελικώς διερχόμενο με -β, όπου α και β οι διαστάσεις των βροχίδων του πρώτου και δεύτερου κόσκινου αντίστοιχα.



Σχήμα Α.Ι.2: Μηχανισμός κοσκινήσεως σε διάφορα κοκκομετρικά μεγέθη

Α.Ι.8 Ρύθμιση πυκνότητας βαρέος υγρού

Έστω ότι έχουμε μία ποσότητα βαρέος υγρού όγκου V_1 και πυκνότητας ρ_1 και θέλουμε να μεταβάλλουμε την πυκνότητα σε ρ .

Εάν $\rho > \rho_1$ θα προσθέσουμε ένα βαρύτερο υγρό, εάν $\rho < \rho_1$ θα προσθέσουμε ένα ελαφρύτερο υγρό. Έστω ρ_2 η πυκνότητα του άλλου υγρού που θέλουμε να προσθέσουμε. Τότε μας ενδιαφέρει να βρούμε τον όγκο x του υγρού αυτού.

Το βάρος του τελικού υγρού πυκνότητας ρ που θα παράγουμε θα ισούται με το βάρος των δύο υγρών (αυτό που έχουμε συν αυτό που θα προσθέσουμε). Επομένως ισχύει η εξίσωση:

$$V_1 \rho_1 + x \rho_2 = \rho \cdot (V_1 + x) \Rightarrow x = (\rho_1 - \rho) \cdot (\rho - \rho_2)^{-1} \cdot V$$

A.I.9 Μαγνητικοί διαχωριστές

Οι μαγνητικοί διαχωριστές χωρίζονται σε χαμηλής και υψηλής έντασης ανάλογα με το μαγνητικό τους πεδίο, το οποίο μπορεί να δημιουργείται από ηλεκτρομαγνήτες ή από μόνιμους μαγνήτες. Επίσης χωρίζονται σε υγρούς και ξηρούς διαχωριστές, ανάλογα με τη μορφή που έχει το μέταλλευμα τροφοδοσίας. Ανεξάρτητα από τον τύπο των μαγνητικών διαχωριστών πρέπει να δημιουργείται σε αυτούς ένα μαγνητικό πεδίο στο χώρο που διέρχεται το υλικό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος αυτός τόσο δυσκολότερη είναι η δημιουργία πεδίου υψηλής έντασης.

Το γεγονός αυτό εμποδίζει την εφαρμογή του μαγνητικού διαχωρισμού σε μεγάλο μέγεθος τεμαχίων. Η δύναμη που ασκείται σε ένα σωματίδιο όταν βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο δίνεται από την εξίσωση:

$$F = \mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot H \cdot \frac{dH}{dl}$$

όπου:

μ_0 : μαγνητική διαπερατότητα του κενού

χ : μαγνητική επιδεκτικότητα του υλικού

V : όγκος σωματιδίου

$\frac{dH}{dl}$: μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου ανά μονάδα μήκους

Για να είναι ένα πεδίο κατάλληλο για μαγνητικό διαχωρισμό πρέπει η κλίση dH/dl να έχει τιμή διαφορετική από το μηδέν. Αυτό συμβαίνει όταν το μαγνητικό πεδίο είναι συγκλίνον και όχι ομογενές (Σταμπολιάδης, 1993).

A.I.10 Αρχή λειτουργίας ξηρού μαγνητικού διαχωριστή

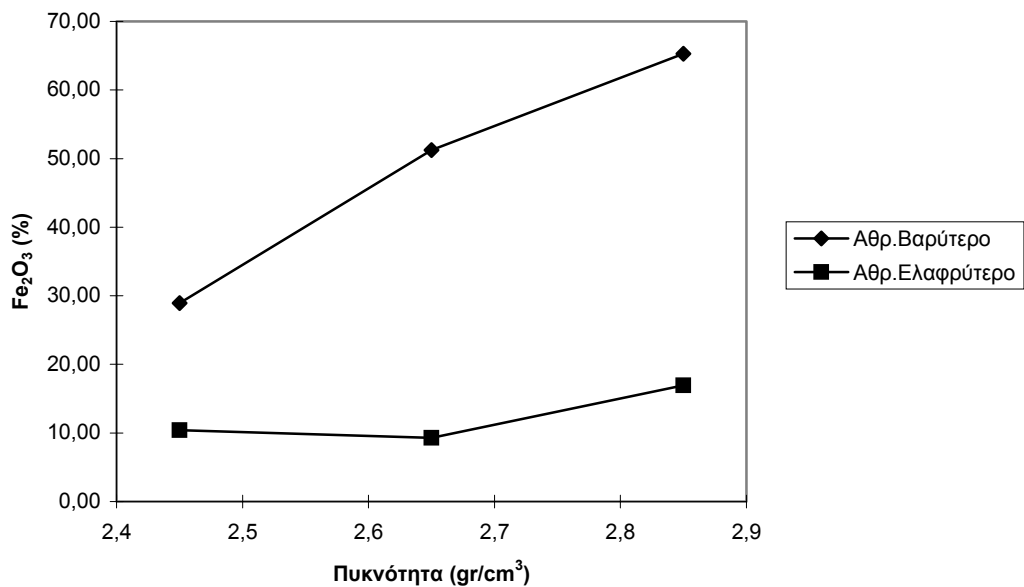
Ο μαγνητικός διαχωριστής που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από δονούμενο τροφοδότη, ηλεκτρομαγνήτη, μαγνητικό τύμπανο, λεπίδες διαχωρισμού και οχετούς των προϊόντων. Η τροφοδότηση γίνεται με θυρίδα αποκένωσης στο δονούμενο τροφοδότη. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται σε περιορισμένο σε μέγεθος χώρο μεταξύ του πυρήνα του ηλεκτρομαγνήτη και του περιστρεφόμενου τύμπανου.

Τα μαγνητικά υλικά έλκονται από το περιστρεφόμενο τύμπανο λόγω των ραβδώσεων που έχει στην επιφάνειά του, οι οποίες δημιουργούν συγκλίνον μαγνητικό πεδίο. Τα μη μαγνητικά ακολουθούν πορεία ελεύθερης πτώσης και απομακρύνονται.

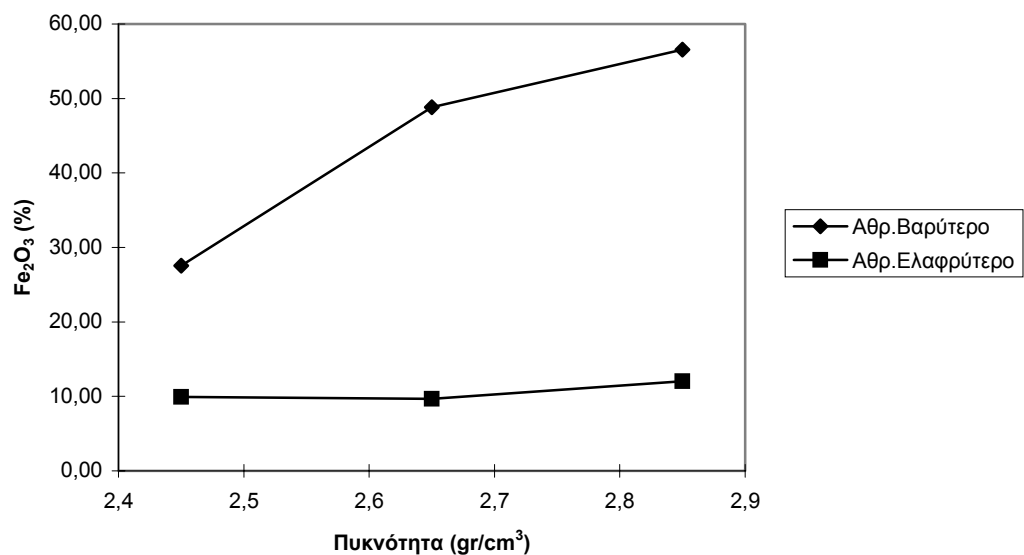
Οι μεταβλητές δοκιμής για τον ξηρό μαγνητικό διαχωριστή είναι:

- Ο ρυθμός τροφοδοσίας
- Η ένταση μαγνητικού πεδίου
- Η ταχύτητα περιστροφής τύμπανου
- Θέση λεπίδων διαχωρισμού των προϊόντων
- Κοκκομετρικά κλάσματα τροφοδοσίας

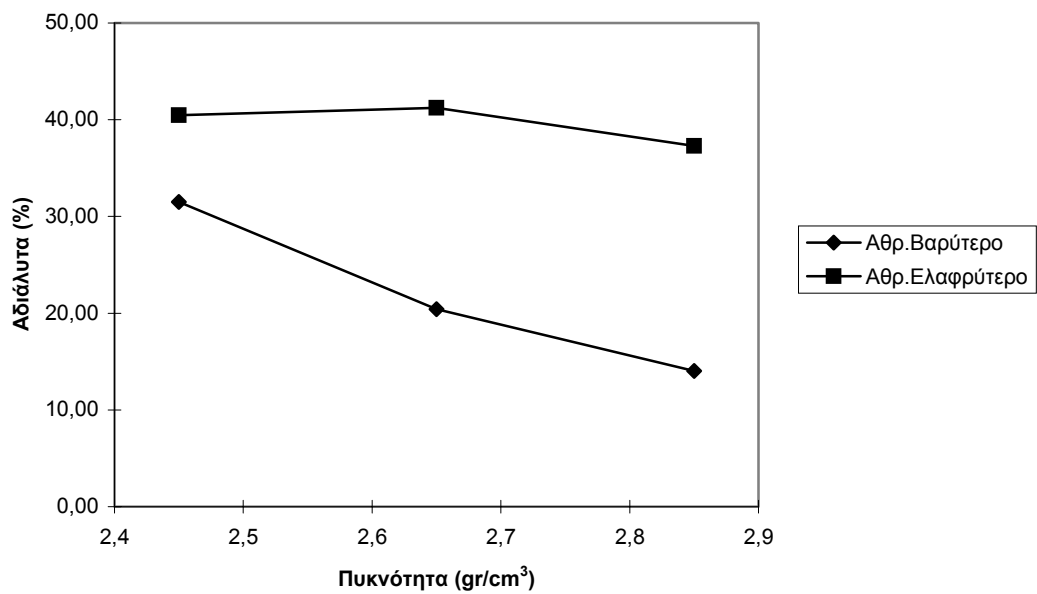
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ



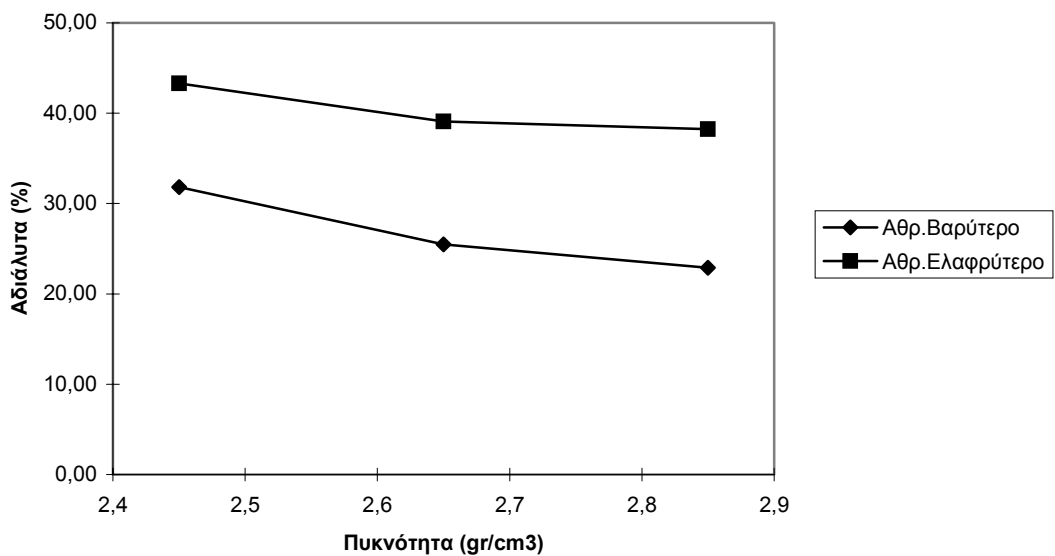
Διάγραμμα Α.ΙΙ.1: Περιεκτικότητα Fe_2O_3 στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm



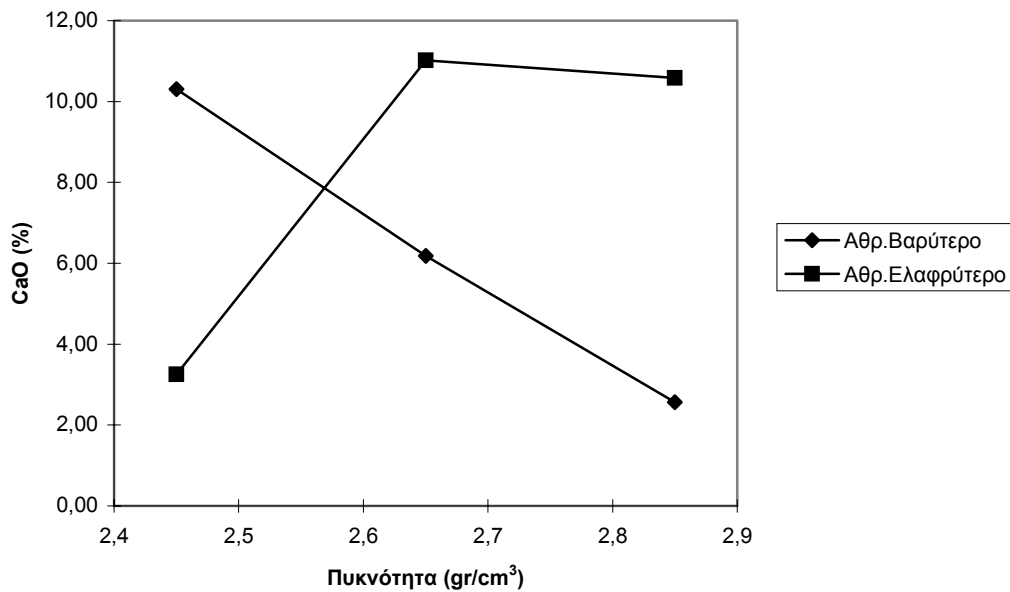
Διάγραμμα Α.ΙΙ.2: Περιεκτικότητα Fe_2O_3 στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1+0,250mm



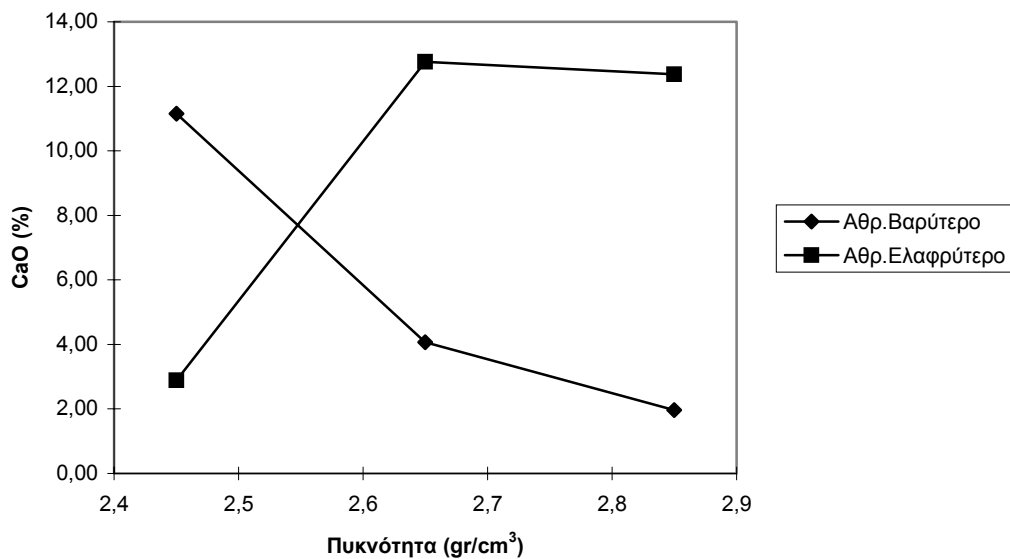
Διάγραμμα Α.Π.3: Περιεκτικότητα Αδιάλυτων στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm



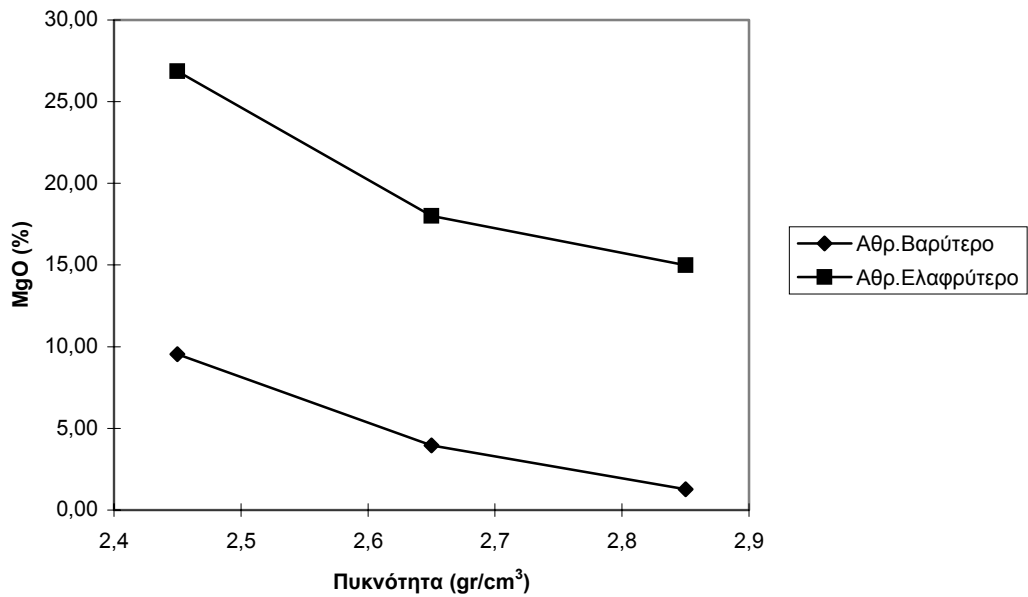
Διάγραμμα Α.Π.4: Περιεκτικότητα Αδιάλυτα στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1+0,250mm



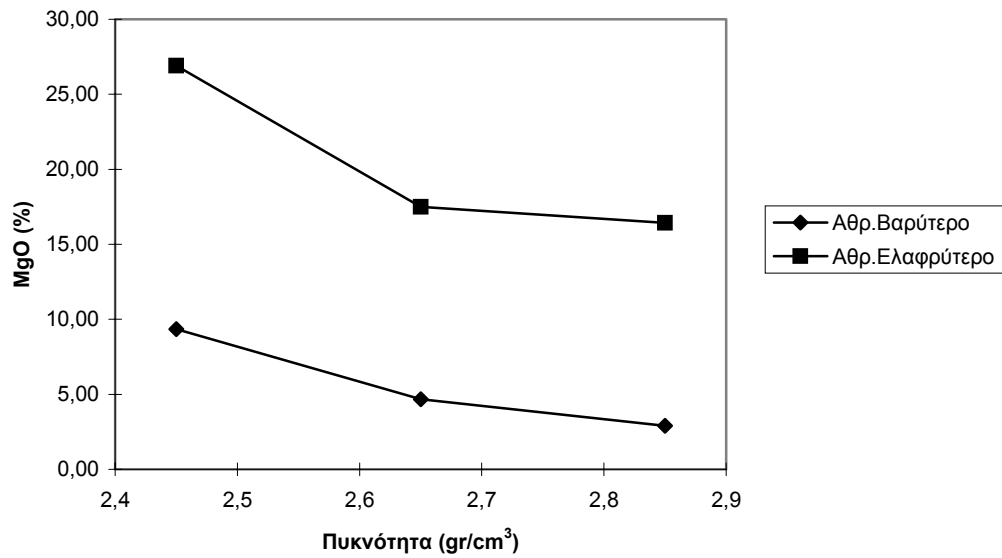
Διάγραμμα Α.Π.5: Περιεκτικότητα CaO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm



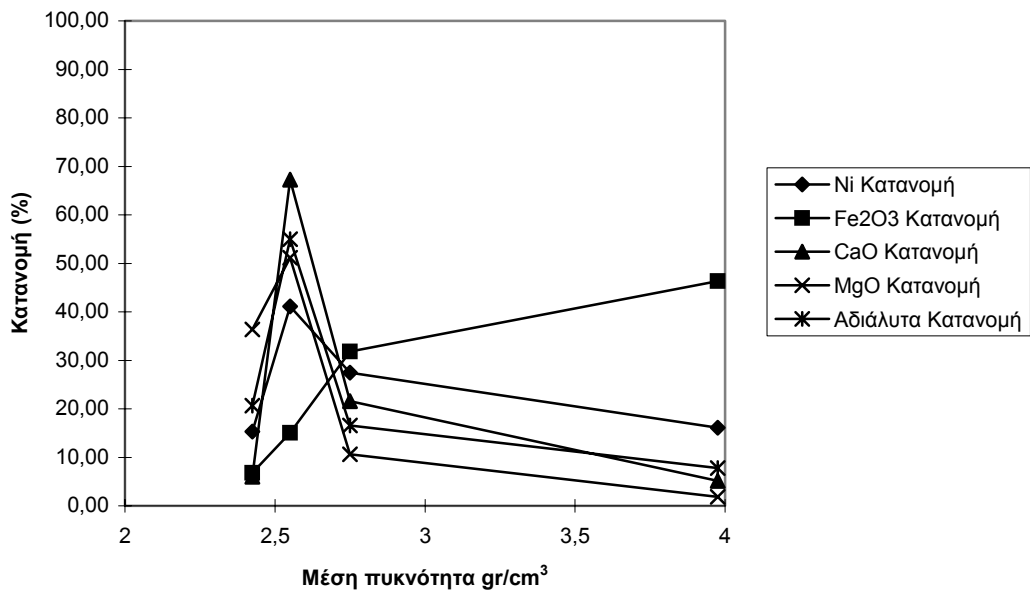
Διάγραμμα Α.Π.6: Περιεκτικότητα CaO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1+0,250mm



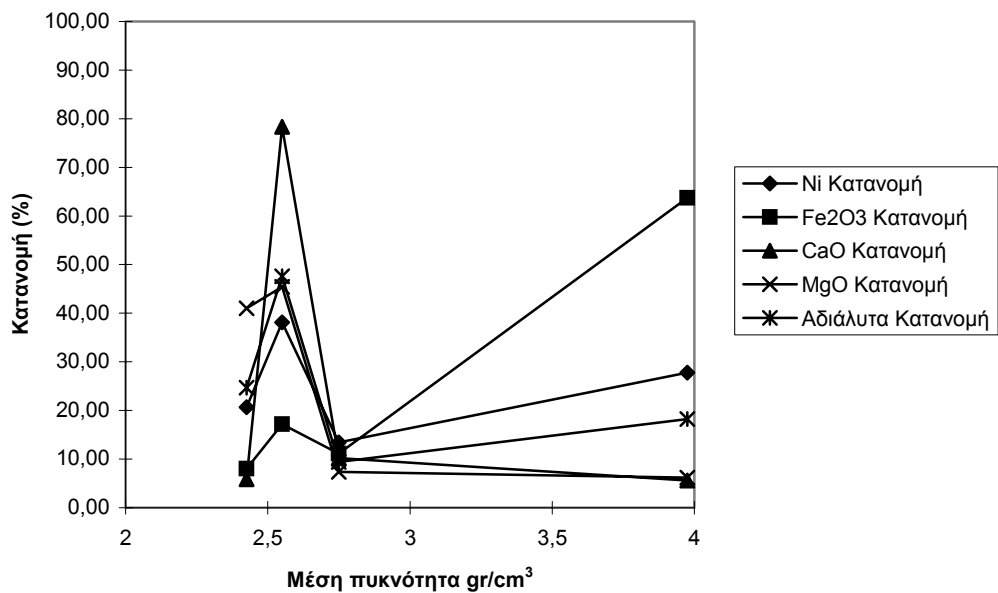
Διάγραμμα Α.Π.7: Περιεκτικότητα MgO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm



Διάγραμμα Α.Π.8: Περιεκτικότητα MgO στο αθροιστικώς βαρύτερο και ελαφρύτερο συναρτήσει της πυκνότητας των βαρέων υγρών για το κοκκομετρικό κλάσμα -1+0,250mm



Διάγραμμα Α.Π.9: Κατανομή των στοιχείων συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για το κοκκομετρικό κλάσμα -16+4mm



Διάγραμμα Α.Π.10: Κατανομή των στοιχείων συναρτήσει της μέσης πυκνότητας για το κοκκομετρικό κλάσμα -1+0,250mm

